

IMPLICACIONES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS EN EL SUELO DERIVADAS DEL MANEJO AGRÍCOLA CONVENCIONAL Y ORGÁNICO

PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL IMPLICATIONS IN THE SOIL DERIVED FROM CONVENTIONAL AND ORGANIC AGRICULTURAL MANAGEMENT

Silvia Janeth Bejar Pulido¹, §Erik Orlando Luna Robles²

Instituto Tecnológico de El Salto. El Salto, Durango. México. §Autor de correspondencia: (erikluna979@gmail.com).

RESUMEN

La condición del suelo es fundamental para la agricultura y su productividad, sin embargo, las prácticas de manejo pueden modificar su naturaleza lo cual repercute directamente en la seguridad alimentaria. Por lo anterior, se planteó como objetivo determinar las implicaciones físicas, químicas y biológicas del suelo, derivadas del manejo agrícola orgánico y convencional, en áreas agrícolas, en un contexto internacional, a partir de la discusión y análisis de los resultados de diversas investigaciones nacionales e internacionales. Los suelos se encuentran diferenciados por sus propiedades físicas, químicas y biológicas, las cuales definen su uso, la conducta de sus integradores y condicionan la presencia de materia orgánica y vida de macro y microorganismos que lo componen. Sin embargo, existen otros factores que diversifican su caracterización como: tipo de suelos, origen y antigüedad, clima, geografía y vegetación presente. Se estima que entre el 95 % y 98 % de los alimentos resultan directa e indirectamente del suelo. La agricultura como toda actividad antropogénica implica modificaciones en las condiciones naturales del recurso suelo. El manejo convencional ha provocado la degradación de la calidad de suelos y con ello alteraciones en las distintas funciones y servicios que este ofrece, a diferencia del orgánico que mejora la condición del suelo, proporciona un manejo sostenible y contribuye a protección de los recursos naturales y la calidad de alimentos. Una alternativa para mitigar el impacto de la agricultura sobre el suelo, es la combinación de manejo orgánico y

convencional, proporcionando una base para la sustentabilidad de los cultivos y el recurso suelo, asegurando la obtención de alimentos saludables y satisfaciendo la demanda alimentaria a nivel mundial. Con base a ello se optimizan los rendimientos de producción y se mejoran sustancialmente los ingresos.

Palabras clave: agricultura, alimentos, alternativa, impacto, propiedades.

ABSTRACT

The condition of the soil is fundamental for agriculture and its productivity, however, management practices can modify its nature, which has a direct impact on food security. Therefore, the objective was to determine the physical, chemical and biological implications of the soil, derived from organic and conventional agricultural management, in agricultural areas, in an international context, based on the discussion and analysis of the results of various national and international research. Soils are differentiated by their physical, chemical and biological properties, which define their use, the behavior of their integrators and condition the presence of organic matter and life of macro and microorganisms that compose them. However, there are other factors that diversify its characterization, such as: soil variability, climatic and geographical conditions, origin and age. Between 95 % and 98% of food comes both directly and indirectly from the soil. Agriculture, like any anthropogenic activity, involves modifications in the natural conditions of the soil resource. Conventional management has

caused the degradation of soil quality and with it alterations in the different functions and services that it offers, unlike organic management that improves the condition of the soil, provides sustainable management and contributes to the protection of the environment and food quality. An alternative to mitigate the impact of agriculture on the soil is the combination of organic and conventional management, providing a basis for the sustainability of crops and soil resources, ensuring healthy food and satisfying the world's food demand. Based on this, production yields are optimized and incomes are substantially improved.

Index words: agriculture, food, alternative, impact, properties.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la agricultura ha optado por implementar prácticas más intensivas; que ha llevado a maximizar la producción y rendimiento de los cultivos en periodos de tiempo más cortos, dejando de lado la sustentabilidad con el fin de que lograr la satisfacción de una población creciente que actualmente ronda entre los 7,700 millones de personas (Giller et al., 2021). En este sentido, escenarios para el año 2050 calculan que la población mundial excederá los 9 mil millones de habitantes, lo que implicaría incrementar la producción agrícola en un 70 % para no poner en riesgo la seguridad alimentaria mundial (FAO, 2009); donde América Latina y el Caribe desempeñarían un papel clave ya que gran parte de la demanda estaría cubierta por esta región del mundo (Montiel y Muhammad, 2015).

No obstante, la implementación de la agricultura intensiva (convencional) ha repercutido negativamente en la salud del suelo, por el uso indiscriminado de agroquímicos (herbicidas, fungicidas, fertilizantes), falta de rotaciones de cultivos y arado intensivo causando la degradación del suelo (Babin et al., 2019). Además, la agricultura también produce emisiones de gases de efecto invernadero tales como el CO₂, el cual se estima en 5,300 millones de toneladas de CO₂ eq, de las cuales el 13 % (725 millones de

toneladas de CO₂ eq) corresponden a la fabricación y uso de fertilizantes químicos; cabe mencionar que alrededor del 10 % de las emisiones de metano a nivel mundial se producen por el cultivo de arroz, lo cual contribuye significativamente al calentamiento global (Veni et al., 2020; FAO, 2019). Por lo anterior es necesario desarrollar un sistema con una capacidad esencial para reducir las afectaciones en el suelo y aborde los problemas de inseguridad alimentaria. En este sentido hay abundante información disponible sobre los avances recientes en el cambio climático y los impactos en la agricultura y suelo que pueden ser base para abordar los desafíos de la inseguridad alimentaria global (Farooq et al., 2022; Etchevers et al., 2016).

Actualmente se ha reconocido a la agricultura orgánica como una herramienta económica, social y ecológica para mitigar los impactos negativos causados por la agricultura convencional y con ello satisfacer la demanda de productos alimenticios seguros, saludables y accesibles (Das et al., 2023; Sumberg y Giller, 2022; Choque y Castro, 2020; Soto, 2020; Babin et al., 2019). No obstante, los bajos rendimientos de los cultivos, costos de adquisición y mercado son de las fuertes críticas a las que se enfrenta esta modalidad agrícola, en consecuencia, sería necesaria mayor extensión de áreas para satisfacer la demanda agrícola. Lo que se traduce como deforestación y pérdida de biodiversidad (Timsina, 2018; Seufert et al., 2012).

La sustentabilidad de la agricultura depende directamente de la condición del suelo ya que esta define directamente el estatus de la seguridad alimentaria actual y futura. En este sentido, la degradación del suelo se está incrementando de manera acelerada por el empleo de prácticas agrícolas inadecuadas (Kopittke et al., 2019; Papendick y Parr, 1992), lo cual disminuye la materia orgánica y nutrientes del suelo, fertilidad del suelo y diversidad genética (Bejar et al., 2020; Avilés et al., 2018); mientras que las emisiones de gases de efecto invernadero se incrementan considerablemente así como las áreas con

problemas de contaminación, erosión, desertificación, salinización y acidificación (Luna et al., 2022). El objetivo de este análisis documental es determinar las implicaciones físicas, químicas y biológicas del suelo, derivado del manejo agrícola orgánico y convencional, a partir del análisis, discusión y resultados de diferentes investigaciones internacionales.

DESARROLLO

A continuación, se presenta el análisis de las condiciones del suelo bajo diferentes escenarios de manejo agrícola. Los estudios consultados se identificaron utilizando palabras o frases clave como agricultura, orgánica, convencional, alimentos y características del suelo en diferentes bases de datos electrónicas; una vez que se obtuvo el total de investigaciones se procedió a leerlos identificando que estudios cumplían con la pregunta de investigación; posteriormente se efectuó un análisis crítico donde se consideró la calidad de las metodologías empleadas así como de la interpretación de los resultados y fundamento de las conclusiones; finalmente lo antepuesto permitió generar comparaciones y discusiones sobre los efectos de la agricultura sobre el suelo bajo múltiples escenarios y con ello tener referencias que permitan definir estrategias clave para un manejo sostenible del suelo.

Origen de la agricultura

La agricultura surge en Asia occidental hace aproximadamente 10 mil años, a partir del asentamiento de las primeras poblaciones humanas con la domesticación de plantas y animales (Ayala, 2021; Mazoyer y Roudart, 2006). Al paso del tiempo la agricultura evolucionó por la creación de mecanismos como arados y yuntas que mejoraron los rendimientos de producción. Con la llegada de revolución industrial (1760-1840), hubo un desarrollo económico, tecnológico y social exponencial, donde la agricultura sufrió una transformación de subsistente y tradicional a una comercial e industrial, aumentando los rendimientos y producción del sector (Djenderedjian, 2020).

El manejo orgánico nace entre 1930 y 1940 en Europa, pero no es hasta 1970 que toma mayor relevancia por las consecuencias (degradación del suelo, mala calidad de alimentos y una decadente calidad de vida) del desarrollo de las guerras mundiales (Osanai et al., 2020; Reganold y Wachter, 2016; Lockeretz, 2007). Mientras tanto, el manejo convencional inicia entre 1960 y 1980 con la revolución verde, cuyo objetivo fue aumentar el rendimiento agrícola con ayuda de la mecanización, fertilización química y el empleo de material genético modificado (John y Babu, 2021). En México la agricultura orgánica se introduce por primera vez en 1980 por la demanda de productos de los países europeos, iniciando la producción en los estados de Chiapas y Oaxaca (García et al., 2010).

La agricultura industrializada también conocida como convencional se rige principalmente en aumentar la productividad y rentabilidad de los cultivos a partir del uso excesivo de productos químicos y sintéticos, mecanización y el uso de material genético modificado. Sin embargo, su origen ha provocado la degradación de la calidad de suelos y con ello alteraciones en las distintas funciones y servicios que este ofrece (Choque y Castro, 2020; Busari et al., 2015). A diferencia, de la agricultura orgánica que emplea métodos tradicionales con tecnologías modernas, además, se basa en mejorar la calidad del suelo a partir de la rotación y diversidad de cultivos, saneamiento de forma natural y el empleo de compostas; lo anterior proporciona un manejo sostenible y contribuye a la protección del ecosistema además que, la calidad de alimentos se ve favorecida significativamente (Santos y Domínguez, 2020; Adhikari y Hartemink, 2016).

De acuerdo al IFOAM (2019) la agricultura orgánica puede ser definida como un sistema de producción que busca la sustentabilidad colectiva de los suelos, ecosistemas y las personas (productores y consumidores) a través de procesos ecológicos, biodiversidad y ciclos adaptados a las condiciones locales, en lugar de la implementación de insumos con efectos adversos. Existe una gran

variedad de materiales orgánicos que pueden ser empleados para el manejo de la agricultura orgánica, Timsina, (2018) menciona que los principales son: desechos agrícolas, desechos biodegradables, estiércol de granja, desechos de bosques y pastizales procedentes de actividades como la tala, la limpieza y el desbroce, así como desperdicios del proceso de aserrado de la madera el aserrín. Existen productos de origen orgánicos generados por la industria denominados biofertilizantes, y están formulados a base hongos y bacterias, que permite nutrir la planta mejorando la productividad, contienen principalmente nitrógeno y fósforo, uno de los microorganismos más empleado son del género *Azospirillum*, *Rhizobium* y *Sinorhizobium* (Santillán, 2016).

Situación de la agricultura a nivel mundial

La superficie mundial de tierras agrícolas para 2015 fue de 4,863 millones de hectáreas (WBG, 2019). De la superficie cultivada a nivel global, solo el 19 % cuenta con infraestructura de riego, con lo que se produce más del 40 % de los cultivos (CONAGUA, 2016). De acuerdo al FIBL (2019) y Willer y Lernour (2017) la superficie con manejo orgánico para 1999 fue de 11 millones de hectáreas, para 2015 alcanzó 50.9 millones de hectáreas (1.1 % de la superficie agrícola) con la participación de 87 países y 2.4 millones de productores, donde los principales países productores fueron Australia, Argentina y Estados Unidos con 22.7, 3.1 y 2 millones de hectáreas respectivamente. Para el 2017 la superficie agrícola orgánica superó el registro del 2015 alcanzando los 69.8 millones de hectáreas con la participación de 93 países y 2.9 millones de productores, siendo Australia, Argentina y China los principales países productores con 35.6, 3.4 y 3 millones de hectáreas respectivamente (Willer y Lernour, 2017).

La superficie agrícola sembrada en año de 2018 en México fue de 21.1 millones de hectáreas, de las cuales el 28.9 % corresponden a cultivos de riego (6.1 millones de hectáreas) y el 71.09 % a cultivos de temporal (14.9 millones de hectáreas) (SIAP, 2019a). Para el 2016 México contaba con una

disponibilidad de agua de 269 289 hm³ repartidos entre uso consuntivo (86 577 hm³) y no consuntivo (182 712 hm³), donde la producción agrícola consumió el 76 % (66 049 hm³) del agua de uso consuntivo para riego. Además, ocupa el séptimo lugar en infraestructura de riego en la producción agrícola (CONAGUA, 2017). Particularmente México figura como país productor y exportador de alimentos orgánicos a nivel mundial, siendo el principal productor de café orgánico, donde los estados de Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Chihuahua y Guerrero concentran 82.8 % de la superficie orgánica total, y en particular tan sólo Chiapas y Oaxaca cubren 70 % del total (Camarena et al., 2020; Gómez y Gómez, 2004). De acuerdo con el Atlas Agroalimentario 2018, México posee una superficie agrícola orgánica de 162 mil hectáreas sembradas. Los principales productos orgánicos son: café (27.2 %), cártamo (6.7 %), aguacate (6 %), maíz (5.7 %), agave (4.6 %), pastos (4.6 %), mango (4.6 %), ajonjolí (3.3 %), naranja (2.5 %), sorgo (2.1 %), frijol (1.8 %), damiana (1.4 %), chía (1.1 %), jitomate (1.1 %) y otros (27.3 %) (SIAP, 2019b).

Implicaciones físicas, químicas y biológicas en el manejo orgánico y convencional en el recurso suelo

De acuerdo con Nunes et al. (2020) el suelo está constituido por diferentes agentes bióticos y abióticos tales como minerales, materia orgánica, aire y agua, es el cual es considerado dinámico capaz de sustentar el crecimiento de organismos y microorganismos, no obstante, a corto plazo puede definirse como un medio natural finito y no renovable. Por otra parte, Kopittke et al. (2019) lo definen como el ecosistema más complejo y diverso del mundo. Una de sus importancias es su papel clave para la seguridad alimentaria global; ya que del suelo se obtienen de manera directa o indirecta entre el 95 % y 98 % de los alimentos, no obstante, esto lo hace más frágil a la degradación por el uso intensivo y extensivo principalmente ejercido por la agricultura; ya que por milenios esta actividad antropogénica ha sido considerada como el principal medio de producción de alimentos (Luna et al., 2022;

Tabla I. Indicadores edafológicos de la calidad del suelo agrícola

Físicas	Químicas	Biológicas
Infiltración	Carbono	Relación C/N
Porosidad	Nitrógeno	Biomasa microbiana
Conductividad hidráulica	Materia orgánica	Respiración del suelo
Resistencia a la penetración	Micronutrientes (Zn, Fe, Cu y Mn)	
Estabilidad de agregados	Macronutrientes (N, P, K, Mg y Ca)	
Densidad aparente	Capacidad de intercambio catiónico	
Retención de agua	Conductividad eléctrica	
	pH	

Elaboración propia.

Kopittke et al., 2019; Burbano-Orjuela, 2016). La evaluación de la propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo permiten dar un diagnóstico acerca de las funciones y procesos de los ecosistemas los cuales en mucho de los casos son difíciles de evaluar directamente (Nuñez et al., 2023). Dichas propiedades mantienen una relación intrínseca, por lo que un equilibrio en ellas manifiesta una alta calidad, sin embargo, este estatus depende de muchos factores naturales y antropogénicos tales como la variabilidad de suelos, condiciones climáticas y geográficas, el uso de suelo y prácticas que se implementen en su manejo (agrícola, pecuario o forestal) (Bünemann et al., 2018).

A partir de la revisión bibliográfica se idéntico y generó un listado de las características edáficas, que son consideradas indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo (Echeverría-Pérez et al., 2023; Luna et al., 2022; Bünemann et al., 2018; Hondebrink et al., 2017; Sihi et al., 2017) (**Tabla I**). Con base a ello se realizó un análisis sobre las implicaciones positivas y negativas del manejo agrícola orgánico y convencional sobre el suelo teniendo en cuenta que dichas variaciones dependen directamente de los sistemas y prácticas agrícolas utilizados.

Implicaciones físicas

A nivel mundial la agricultura se caracteriza por obtener la mayor cantidad de productos en el menor tiempo posible a partir del uso intensivo del medio suelo, repercutiendo directamente en su

salud, siendo en las propiedades físicas (claves para la productividad agrícola) donde se manifiestan los primeros efectos negativos, donde además su deterioro involucra a la química y biológica del suelo ya que todas las propiedades cuentan con una red y estrecha relación entre sí (Di Prima et al., 2018; Sihi et al., 2017; Larios-González et al., 2014). Acosta (2007) describe que la textura es un factor clave en la vocación de suelo, definiendo a un suelo ideal con la siguiente composición: material mineral (45 %), materia orgánica (5 %), aire (25 %) y agua (25 %) donde las proporciones equilibradas de arena, limo y arcilla provocan una alta fertilidad en el suelo. En general, define a las características físicas como responsables del comportamiento del agua ya que condición regula la entrada y movimiento de agua hacia y en el suelo y las químicas de la nutrición vegetal, siendo ambas responsables del comportamiento biológico del suelo.

La capacidad del suelo para mantener la vida y generar bienes y servicios, está fuertemente relacionada con su buen estado físico (Contreras et al., 2023; Di Prima et al., 2018; Crittenden et al., 2016). El manejo orgánico mejora las propiedades físicas del suelo, por ejemplo; reduce la densidad aparente lo que implica una mayor capacidad para infiltrar agua, incrementa la porosidad, también mejora la retención de humedad y disminuye la dureza. A diferencia del manejo convencional que disminuye la calidad de las propiedades físicas, incrementando la densidad aparente y reduciendo la porosidad principalmente y por ende alterando

drásticamente la hidrología del suelo (Bejar et al., 2021; Bejar et al., 2020; Williams et al., 2017; Sihi et al., 2017; Hondebrink et al., 2017). Por lo anterior, Bejar et al. (2020) y Jaurixje et al. (2013) encontraron mejoramientos en las condiciones físicas del suelo (conductividad hidráulica y porosidad) donde el tipo de manejo contempló enmiendas orgánicas, lo que llevó a aumentar la actividad de los microorganismos, a diferencia del manejo convencional, en que el empleo de maquinaria y la aplicación de fertilizantes químicos redujo drásticamente la biomasa microbiana.

Implicaciones químicas

La evaluación de las variables químicas es fundamental para la fertilidad del suelo, ya que los microorganismos determinan su función y la calidad, siendo muy sensibles y variantes ante los cambios provocados por el manejo del suelo y condiciones ambientales (Mondini et al., 2019; Chavarria et al., 2018). La implementación del manejo orgánico impacta positivamente a las propiedades químicas del suelo, en particular incrementa la cantidad de materia orgánica y por ende incrementa el carbono orgánico y nitrógeno total, asimismo mejora la capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica y disminuye el pH, aunque, sin embargo, las existencias de nutrientes no son tan significativa. Por otra parte, el manejo convencional disminuye la biomasa microbiana y contenido de materia orgánica, pero la aplicación de agroquímicos incrementa sustancialmente las reservas de los nutrientes (Osanai et al., 2020; Marín et al., 2017; Hondebrink et al., 2017; Crittenden et al., 2016; Larios-González et al., 2014).

El suelo tiene un gran potencial de fertilidad, bajo escenarios favorables, pero la aplicación de prácticas agrícolas convencionales puede ocasionar la degradación química del suelo, causada, principalmente, por los productos químicos y sintéticos y problemas de degradación física como compactación, pérdida de la estructura, encostramiento y erosión provocando un déficit nutricional del suelo (Trigoso et al., 2023

Kopittke et al., 2019; Mogollón et al., 2014). Por otra parte, la salinidad y sodicidad no solo tienen efectos sobre el suelo, sino que afectan directamente las plantas, por ejemplo: reduce la actividad fotosintética, causando un retardo en el desarrollo, germinación y emergencia de la planta, además la capacidad de absorción de agua y nutrientes por las raíces se ve reducida drásticamente (Medina et al., 2023). En cambio, las prácticas orgánicas disminuyen los procesos erosivos, mejorando la física y química del suelo, lo cual impacta directamente en el rendimiento de los cultivos (Echeverría-Pérez et al., 2023; Rodríguez et al., 2015).

Cabe señalar que la agricultura es la principal fuente de contaminación del suelo, agua, aire y salud humana, por el uso excesivo de fertilizantes químicos y plaguicidas (Pozo y Beltrán, 2024). Los fertilizantes (N, P y K) generan en mayor medida daños ambientales como la salinización, eutrofización de cuerpos de agua y efectos nocivos para la salud humana. La mayor parte de los plaguicidas y herbicidas contaminan el aire y agua, solo el 1 % de estos se quedan en los cultivos (Mazari, 2014).

Actualmente las prácticas agrícolas han generado una alta toxicidad en suelos causado principalmente por actividades antrópicas como: el uso de fertilizantes inorgánicos y uso de pesticidas Etchevers et al. (2016). Jhon y Babu (2021) mencionan que la aplicación de pesticidas y fertilizantes puede conducir a la acumulación de metales pesados en el suelo (especialmente; Cadmio, Plomo y Arsénico); mientras que los herbicidas y herbicidas también tienen un fuerte impacto en la calidad ambiental lo cual afecta directamente la calidad de los cultivos, así como, la seguridad alimentaria en un futuro (Rivera et al., 2023; Wang et al., 2015).

Implicaciones biológicas

Los microorganismos son clave en el proceso de formación y estabilidad del suelo, en el flujo de energía y el reciclaje de nutrientes en los ecosistemas; ya que son responsables de la

transformación de la materia orgánica. Además, generan un panorama acerca de los efectos positivos y negativos del manejo agrícola sobre la calidad del suelo, permitiendo medir el nivel de desequilibrio o equilibrio que presente el suelo ante las prácticas orgánicas y convencionales implementadas (Rivero et al., 2016). El manejo convencional tiene graves efectos negativos sobre la comunidad y diversidad microbiana del suelo; incluyendo los grupos beneficiosos como los hongos micorrícicos, ocasionado por la aplicación de productos químicos (fungicidas, fertilizantes y pesticidas) y por la implementación de prácticas de labranza intensivas (Likar et al., 2017; Lazcano et al., 2012).

En contraste, el manejo orgánico genera un impacto positivo sobre la biota del suelo, aumentando la biomasa y diversidad microbiana, acelerando las tasas de descomposición de materia orgánica haciendo que la asimilación de nutrientes sea más efectiva, mejorando el rendimiento y producción de cultivos agrícolas (Chavarría et al., 2018; Orr et al., 2015; Lazcano et al., 2012). El manejo orgánico mejora las características físicas, químicas y biológicas del suelo, mejorando la diversidad de organismos en el suelo (hongos y bacterias), además de incrementar los rendimientos en la producción de sus cultivos (Bejar et al., 2021; Di Prima et al., 2018; Sihi et al., 2017).

La actividad microbiana en el suelo puede ser estimada a partir de la relación C/N el cual indica la estabilización de la descomposición de la materia orgánica. Específicamente los microorganismos requieren que la cantidad de nitrógeno (N) sea por lo menos 20 veces menor que la del carbono (C). Algunos estudios señalan que la variedad de suelos, vegetación, usos de suelo y prácticas de manejo intervienen en la dinámica del de C y N en el suelo (Bejar et al., 2024; Luna et al., 2022; Acevedo et al., 2019; Cantú y Yáñez, 2017).

Los contaminantes atmosféricos generados por la agricultura son un factor clave en la calidad del aire. Li et al. (2019) resaltan que las principales

actividades agrícolas que generan la contaminación del aire, la quema de residuos orgánicos, labranza de la tierra, cosecha, uso de fertilizantes, manejo de granos, maquinaria agrícola, entre otras fuentes.

Por otra parte, el manejo orgánico además de los microorganismos del suelo a escala local mejora la presencia de insectos. Inclán et al. (2015) evaluaron la diversidad parasitoides en el norte de Inglaterra, encontraron 12,954 individuos pertenecientes a 50 especies, de los cuales 62 % se colectaron en áreas bajo manejo orgánico, mientras que el manejo convencional lo redujo a más de un 38 %.

Generalidades

El manejo orgánico funciona como alternativa para mitigar los efectos negativos causado por el manejo convencional, mediante el uso sostenible del suelo (Sihi et al., 2017). Por ejemplo, Hathaway-Jenkins et al. (2011) evaluaron el comportamiento de las propiedades físicas en cultivos rotacionales y pastizales, en Inglaterra y encontraron que la agricultura orgánica no tiene ningún efecto negativo. A diferencia de Di Prima et al. (2018) que evaluaron la condición física de un Entisol en huertos de frutales (cítricos y caqui) en Valencia, España, indicando que el manejo orgánico genera un buen estado físico y estructural del suelo, mientras que el manejo convencional disminuyó significativamente la materia orgánica, aumentó la compactación y redujo la estabilidad estructural de suelo.

Larios-González et al. (2014) evaluaron la física, química y biológica de un Andosol, bajo cultivos de café en sistemas de agroforestales (Inga laurina (Sw.) Willd y Samanea saman (Jacq) Merr J. Wash) con ambas modalidades de manejo en Nicaragua, resaltando que el manejo orgánico mejora la física del suelo principalmente incrementando la porosidad del suelo y capacidad de retención de humedad; de igual forma se maximizaron las propiedades químicas del suelo (materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, carbono orgánico, nitrógeno total y pH) lo que se tradujo en aumentos del rendimiento de

la producción de café a diferencia del manejo convencional que altera drásticamente la naturaleza del suelo y para mantener un área productiva es necesario la aplicación constante de agroquímicos. Con base a lo anterior, Lin y Hülsbergen (2017) proponen la combinación de ambas prácticas convencionales y orgánicas, y destaca que el uso de la agroforestería como una alternativa para incrementar el rendimiento la eficiencia y sustentabilidad del suelo.

Sihi et al. (2017) midieron el impacto del manejo orgánico y convencional en cultivos de Arroz en temporada de lluvias del 2011 en Kaithal de Haryana, India, encontrando que el manejo orgánico incrementó el contenido de carbono en un 20 %, materia orgánica en un 60 %, así como aumentos de N, P y K en un 20 %, además redujo el pH y conductividad eléctrica a diferencia del manejo convencional que deterioro la calidad del suelo.

Meng et al. (2016) evaluaron un Solonchak bajo cultivos de maíz (*Zea mays* L.) con manejo orgánico (estiércol) y convencional (labranza profunda) y una combinación de estiércol con labranza profunda en el noreste de China, descubriendo que, en método combinado además de mejorar las propiedades del suelo, incrementa el rendimiento del maíz (38 % a 43 %). Mientras que, Wang et al. (2017) señalan que la implementación de la labranza cero y manejo orgánico aumenta la diversidad microbiana, y causa una estructura microbiana similar a la de una vegetación natural.

Rivero et al. (2016) estimaron la biomasa microbiana y la tasa de respiración en el suelo en cultivos de frijol en una zona tropical de Brasil, bajo prácticas agroecológicas en siembra directa, monocultivos y el método convencional, y encontraron un efecto negativo tanto en la microbiota como en la tasa de respiración disminuyendo un 28 % y 61 %, respectivamente. Coincidiendo con Likar et al. (2017) quienes estudiaron la dinámica de las comunidades microbianas en cultivos de vid (*Vitis vinifera*) en

Eslovenia, encontrando un efecto negativo entre la asociación de comunidades mostrando una alta separación en el sistema convencional, en contraste con el orgánico que genero una baja respuesta de separación en las comunidades microbianas.

Controversias

Existe una controversia en que los rendimientos del manejo orgánico pueden ser igual o mayor que los de manejo convencional, por ejemplo: Ponisio et al. (2015) resaltan que entre la diversificación de cultivos (leguminosas vs. no leguminosas, plantas anuales vs perennes) no genera un impacto en los rendimientos, al igual que para las prácticas agrícolas (cultivos múltiples vs. cultivos de rotación). Mientras que Timsina (2018) mencionan que los rendimientos disminuyen entre el 20 % y 50 %. Meier et al. (2015) que varían de entre 5 % y 34 %. Gomiero et al. (2018) del 20 % al 30 % y Ponisio et al. (2015) de 19.2 %. Aunque, depende fuertemente de los sistemas empleados, cultivos, prácticas agrícolas, así como, las características del sitio (Crittenden et al., 2016; Ponisio et al., 2015). Por otra parte, Wachter et al. (2019) también indican que el manejo y uso de prácticas genera distintas condiciones en los rendimientos, demostrando que un sistema mixto (orgánico y convencional) genera un mayor rendimiento en la producción de distintos cultivos.

Chen et al. (2017) evaluaron el impacto del manejo orgánico combinado con fertilizantes químicos a largo plazo (32 años) en cultivos de arroz en Ultisoles, en Jiangxi, China. En una proporción 70:30, el cual provocó rendimientos más elevados, incrementó la materia orgánica, microbiota y diversidad del suelo. Lo que coincide con lo reportado por Timsina (2018) que indica que los nutrientes orgánicos por sí solos no pueden aumentar los rendimientos para la demanda de alimentos y propone el uso de fuentes orgánicas e inorgánicas en una proporción 75:25.

Irisarri et al. (2012), Andrade et al. (2014), Locker et al. (2019) y Yuan et al. (2019) analizaron las emisiones de gases de efecto invernadero en cultivo de arroz (Uruguay,

Colombia y China) y maíz (EUA) los cuales llegaron a la conclusión de que el empleo de fertilizantes nitrogenados (65 %) duplica las emisiones de amoníaco, y que el dióxido de carbono se encuentra en función de la disponibilidad de agua.

Fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) del manejo orgánico y convencional

De acuerdo a la literatura analizada se realizó un análisis FODA para comparar la situación actual que enfrentan la agricultura orgánica y convencional (**Tabla 2 y 3**) (Das et al., 2023; Kopittke et al., 2019; Timsina, 2018; Montiel y Muhammad, 2015; Ponisio et al., 2015). Con base a ello se debe hacer hincapié en que ambas modalidades de producción agrícola son

indispensables para la humanidad; sin embargo, es obvio que la agricultura orgánica presenta una desventaja en función de productividad e ingresos ya que registra menores rendimientos en comparación con la convencional, pero al considerar aspectos ambientales la producción orgánica deja una menor huella ambiental lo cual mantiene la sostenibilidad de los recursos suelos y agua y salud del agricultor y consumidor. Asimismo, reconocer que a pesar de su amplia distribución la agricultura convencional exige que el agricultor cuente con la experiencia técnica y habilidad para adaptarse al uso de tecnologías que son empleadas para la maximización de la productividad (Luna et al., 2022; Bejar et al., 2021; Burbano-Orjuela, 2016).

Tabla 2. Análisis FODA (**fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas**) del manejo orgánico.

Fortalezas	Oportunidades
Diversificación de cultivos	Valor agregado al producto por su origen
Aplicación bajo condiciones locales	Mayor demanda de productos orgánicos.
Generación de empleos	
Regulador de servicios ambientales	
Incrementa la biodiversidad	
Fertilidad del suelo natural	
Productos más saludables libres de contaminantes	
Debilidades	Amenazas
Rendimientos 20 % más bajos	Costos de certificación
Desarrollo de la producción lento	Competencia internacional
Unidades de producción pequeñas	El costo del producto es elevado
Prácticas manuales	Susceptibilidad a plagas y enfermedades
Enfoque a ciertos productos con valor económico y no nutricional	
La mayor parte de los productos orgánicos son exportados a países desarrollados	

Elaboración propia.

Tabla 3. Análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas) del manejo convencional.

Fortalezas Mayor rendimiento en la producción Desarrollo de la producción a corto plazo	Oportunidades Satisface la demanda alimenticia a nivel local, regional y mundial Bajo costos de productos por el empleo de tecnología
Debilidades Baja base genética (monocultivos) Erosión y degradación del suelo Contaminación y eutrofización de cuerpos de agua Salinización y toxicidad a las plantas Pérdida de la biodiversidad Disminuye la disponibilidad de servicios ambientales Costos de adquisición de paquetes tecnológicos elevados	Amenazas El uso de intermediarios hace que los productores obtengan ganancias mínimas Pérdida de conocimientos tradicionales

Elaboración propia.

COMENTARIOS FINALES

La agricultura como toda actividad antropogénica implica modificaciones en las características físicas, químicas y biológicas del recurso suelo. Particularmente el manejo orgánico busca producir el mínimo impacto posible recurriendo a técnicas tradicionales y tecnologías de bajo impacto ambiental. Promoviendo la reducción de la contaminación del suelo y el agua, además mejora la salud del suelo; promueve la biodiversidad y por ende mantiene el equilibrio ecológico. Por otra parte, la agricultura convencional está orientada a conseguir el máximo rendimiento en menos tiempo y en menor cantidad de superficie, no obstante, enfrenta críticas debido a sus impactos ambientales y de sostenibilidad, ya que debido al uso intensivo de agroquímicos se favorece la degradación del suelo, contaminación de agua y en consecuencia puede causar pérdida de la biodiversidad.

El manejo orgánico y convencional son necesarios para cubrir las demandas sociales, una transición intermedia podría cubrir las demandas

globales de alimentos para una población cada vez más urbana sin comprometer el ambiente; considerando diferentes prácticas como uso de policultivos, enmiendas orgánicas, labranza mínima, reducir el uso de herbicidas, pesticidas y fertilizantes, empleo de sistemas agroforestales, agricultura vertical, hidroponía, manejo integrado de plagas, entre otras.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen afectuosamente por todo al Doctor Israel Cantú Silva.

REFERENCIAS

- Acevedo, C., Tinoco, J. Á., Prado, J. V. & Hernández, E. (2019). Soil carbon and nitrogen in tropical montane cloud forest, agroforestry and coffee monoculture systems. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 25(2), 169-184.
<http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.09.070>

- Acosta, C. (2007). El suelo agrícola, un ser vivo. *Inventio*, 3(5), 55-60.
- Adhikari, K. & Hartemink, A. E. (2016). Linking soils to ecosystem services-A global review. *Geoderma*, 262, 101-111. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.009>
- Andrade, H. J., Campo, O. & Segura, M. (2014). Huella de carbono del sistema de producción de arroz (*Oryza sativa*) en el municipio de Campoalegre, Huila, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 25-31.
- Avilés, E.A., Mendoza, R. B., Aguirre, C., Van der Hoek, R., Mena, M. & Téllez, O. (2018). Evaluación de la calidad de suelo en sistemas de cultivo-arboles-pastos, micro cuenca Tecomapa, Somotillo-Nicaragua. *La Calera*, 18(31), 98-103. <https://doi.org/10.5377/calera.v18i31.7900>
- Ayala, D. C. (2021). La agricultura familiar en El Salvador: ¿Crónica de una muerte anunciada?. *Espiral Estudios Sobre Estado y Sociedad*, 28(80), 231-268.
- Babin, D., Deubel, A., Jacquiod, S., Sørensen, S. J., Geistlinger, J., Grosch, R. & Smalla, K. (2019). Impact of long-term agricultural management practices on soil prokaryotic communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 129, 17-28. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.11.002>
- Bejar, S. J., Cantú, I. & Luna, E. O. (2024). Respiración de un Andosol bajo diferentes usos de suelo: Respiration of an Andosol under different land uses. *e-CUCBA*, (22), 46-53. <https://doi.org/10.32870/e-cucba.vi22.346>
- Bejar, S. J., Cantú, I., González, H., Marmolejo, J. G., Yáñez, M. I. & Luna, E. O. (2020). Efecto del cambio de uso de suelo y manejo agrícola sobre las propiedades físicas e hidrológicas de un Andosol en Uruapan, Michoacán. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 27(2), 323-335. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.04.032>
- Bejar, S. J., Cantú, I. & Luna, E. O. (2021). Effect of different land use on chemical properties of an andosol in Michoacan, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(3), 21. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3629>
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R. & Pulleman, M. (2018). Soil quality—A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105-125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
- Busari, M.A., Kukal, S.S., Kaur, A. & Bhatt, R. (2015). Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(2), 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.05.002>
- Camarena, B. O., Romero, D. M. & Camarena, D. M. (2020). Alimentos orgánicos en Hermosillo, Sonora: disposición a pagar y preferencias del consumidor. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 30(55), e20877. <https://doi.org/10.24836/es.v30i55.877>
- Cantú, S. I. & Yáñez, D. M. (2017). Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), 122-151. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.138>
- Chavarría, D. N., Pérez-Brandan, C., Serri, D. L., Meriles, J. M., Restovich, S. B., Andriulo, A. E. & Vargas-Gil, S. (2018). Response of soil microbial communities to agroecological versus conventional systems of extensive agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 264, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.05.008>
- Chen, D., Yuan, L., Liu, Y., Ji, J., & Hou, H. (2017). Long-term application of manures plus chemical fertilizers sustained high rice yield and improved soil chemical and bacterial properties. *European Journal of Agronomy*, 90, 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.07.007>
- Choque, F. C. & Castro, J. D. R. S. (2020). Factores de adopción de agricultura orgánica en la región de Piura 2020. *Semestre Económico*, 9(1), 27-59. <https://doi.org/10.26867/se.2020.v09i1.97>
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2016). *Estadísticas del agua en México*.

- http://201.116.60.25/publicaciones/EAM_2016.pdf
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2017). *Estadísticas del agua en México*. http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2017.pdf
- Contreras, J. L., Martínez, J., Rodríguez, J. L., Barragán, W., Garrido, J. & Falla, C. K. (2023). Índice de Calidad del Suelo Bajo Sistemas Agropecuarios en el Bosque Seco Tropical-Colombia. *Terra Latinoamericana*, 41, e1694. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1694>
- Crittenden, S. J. & de Goede, R. G. M. (2016). Integrating soil physical and biological properties in contrasting tillage systems in organic and conventional farming. *European Journal of Soil Biology*, 77, 26e33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2016.09.003>
- Das, S., Ray, M. K., Panday, D. & Mishra, P. K. (2023). Role of biotechnology in creating sustainable agriculture. *PLOS Sustainability and Transformation*, 2(7), e0000069. <https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000069>
- Di Prima, S., Rodrigo-Comino, J., Novara, A., Iovino, M., Pirastru, M., Keesstra, S. & Cerdà, A. (2018). Soil physical quality of citrus orchards under tillage, herbicide, and organic managements. *Pedosphere*, 28(3), 463-477. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(18\)60025-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60025-6)
- Djenderedjian, J. (2020). Del arado criollo al granero del mundo. La transformación tecnológica de la agricultura pampeana argentina, 1840-1900. *Historia Mexicana*, 70(1), 99-149. <https://doi.org/10.24201/hm.v70i1.4077>
- Echeverría-Pérez, G., Castañeda-Hidalgo, E., Robles, P. C., Martínez-Gallegos, V., Santiago-Martínez, G. M. & Rodríguez-Ortiz, G. (2023). Indicadores de calidad como herramientas útiles para evaluar el estado de la fertilidad del suelo. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 10(1). <https://doi.org/10.60158/rma.v10i1.376>
- Etchevers, J., V. Saynes, M. Sánchez & F. Roosevelt. (2016). *Manejo sustentable del suelo para la producción agrícola*. pp, 63-79. En: Martínez-Carrera, D. y J. Ramírez-Juárez (Eds.). *Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México*. Editorial del Colegio de Postgraduados-AMC-CONACYT-UPAEP-IMINAP.
- FAO. (2009). *La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050*. FAO, 4. <http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/I>
- FAO. (2019). *Aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero de la agricultura*. <http://www.fao.org/news/story/es/item/218907/icode/>
- Farooq, M. S, Uzair, M., Raza, A., Habib, M., Xu, Y., Yousuf, M., Yang, S. H. & Ramzan Khan, M. (2022). Uncovering the research gaps to alleviate the negative impacts of climate change on food security: a review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 927535. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.927535>
- FIBL (Forschungsinstitut für Biologischen Landbau). (2019). *Area for selected crops*. <https://statistics.fibl.org/world/selected-crops-world.html>
- García, H. J., Salazar, S. E., Orona, C.I., Fortis, H. M. & Trejo, E.H. (2010). *Agricultura Orgánica (3ª ed.)*. Eds. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo y CONACYT.
- Giller, K. E., Delaune, T., Silva, J. V., Descheemaeker, K., van de Ven, G., Schut, A. G., ... & van Ittersum, M. K. (2021). The future of farming: Who will produce our food?. *Food Security*, 13(5), 1073-1099. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01184-6>
- Gómez T.L. y Gómez C. M. A. (2004). La agricultura orgánica en México y en el mundo. *Biodiversitas* 55, 13-15.
- Gomiero, T. (2018). Food quality assessment in organic vs. conventional agricultural produce: findings and issues. *Applied Soil Ecology*, 123, 714-728. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.014>
- Hathaway-Jenkins, L. J., Sakrabani, R., Pearce, B., Whitmore, A. P. & Godwin, R. J. (2011). A comparison of soil and water properties in organic and conventional farming systems in England. *Soil Use and Management*, 27(2), 133-142.

- <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2011.00335.x>
- Hondebrink, M. A., Cammeraat, L. H. & Cerdà, A. (2017). The impact of agricultural management on selected soil properties in citrus orchards in Eastern Spain: A comparison between conventional and organic citrus orchards with drip and flood irrigation. *Science of the Total Environment*, 581, 153-160. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.087>
- IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements) (2019). *Organic agriculture*. <https://www.ifoam.bio/es/organic-landmarks/definition-organic-agriculture>
- Inclán, D. J., Cerretti, P., Gabriel, D., Benton, T. G., Sait, S. M., Kunin, W. E. & Marini, L. (2015). Organic farming enhances parasitoid diversity at the local and landscape scales. *Journal of Applied Ecology*, 52(4), 1102-1109. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12457>
- Irisarri, P., Pereyra, V., Fernández, A., Terra, J. & Tarlera, S. (2012). Emisiones de CH₄ y N₂O en un arrozal: primeras medidas en el sistema productivo uruguayo. *Agrociencia Uruguay*, 16(2), 1-10.
- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M. & Contreras, J. (2013). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara. *Bioagro*, 25(1), 47-56.
- John, D. A. & Babu, G. R. (2021). Lessons from the aftermaths of green revolution on food system and health. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 644559. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.644559>
- Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A. & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132, e105078. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
- Larios-González, R. C., Salmerón-Miranda, F. & García-Centeno, L. (2016). Fertilidad del suelo con prácticas agroecológicas y manejo convencional en el cultivo de café. *La Calera*, 14(23), 67-75. <https://doi.org/10.5377/calera.v14i23.2660>
- Lazcano, C., Gómez-Brandon, M., Revilla, P. & Domínguez, J. (2012). Short-term effects of organic and inorganic fertilizers on soil microbial community structure and function. *Biology and Fertility of Soils*, 49, 723-733. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0761-7>
- Li, R., Chen, W., Xiu, A., Zhao, H., Zhang, X., Zhang, S. & Tong, D. Q. (2019). A comprehensive inventory of agricultural atmospheric particulate matters (PM10 and PM2.5) and gaseous pollutants (VOCs, SO₂, NH₃, CO, NO_x and HC) emissions in China. *Ecological Indicators*, 107, e105609. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105609>
- Likar, M., Stres, B., Rusjan, D., Potisek, M. & Regvar, M. (2017). Ecological and conventional viticulture gives rise to distinct fungal and bacterial microbial communities in vineyard soils. *Applied Soil Ecology*, 113, 86-95. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.02.007>
- Lin, H. & Hülsbergen, K. (2017). A new method for analyzing agricultural land-use efficiency, and its application in organic and conventional farming systems in southern Germany. *European Journal of Agronomy*, 83, 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.11.003>
- Locker, C. R., Torkamani, S., Laurenzi, I. J., Jin, V. L., Schmer, M. R. & Karlen, D. L. (2019). Field-to-farm gate greenhouse gas emissions from corn stover production in the Midwestern US. *Journal of Cleaner Production*, 226, 1116-1127. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.154>
- Lockeretz, W. (2007). *Organic farming: an international history*. CABI. 1.8. London. <https://doi.org/10.1079/9780851998336.0000>
- Luna, E. O., Cantú, I. & Bejar, S. J. (2022). Efectos del cambio climático en la gestión sostenible del recurso suelo. *Tecnociencia Chihuahua*, 16(3), 7-e1097. <https://doi.org/10.54167/tch.v16i3.1097>
- Marín, S., Bertsch, F. & Castro, L. (2017). Efecto del manejo orgánico y convencional sobre propiedades bioquímicas de un andisol y el cultivo de papa en

- invernadero. *Agronomía Costarricense*, 41(2), 27-46.
- Mazari, M. (2014). Agricultura y contaminación del agua. *Problemas del Desarrollo*, 45(177), 199-201.
- Mazoyer, M., & Roudart, L. (2006). *A history of world agriculture: from the neolithic age to the current crisis*. Editorial Routledge.
- Medina, R. C., García, S. J., Carrillo, M. D., Cobos, F. & Parismoreno, L. L. (2023). Sistema de producción del cultivo de arroz en zonas con alta salinidad en suelos y agua. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(2).
https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num2_art:2812
- Meier, M. S., Stoessel, F., Jungbluth, N., Juraske, R., Schader, C. & Stolze, M. (2015). Environmental impacts of organic and conventional agricultural products—Are the differences captured by life cycle assessment?. *Journal of Environmental Management*, 149, 193-208.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.006>
- Meng, Q. F., Li, D. W., Zhang, J., Zhou, L. R., Ma, X. F., Wang, H. Y. & Wang, G. C. (2016). Soil properties and corn (*Zea mays* L.) production under manure application combined with deep tillage management in solonchic soils of Songnen Plain, Northeast China. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(4), 879-890.
[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61196-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61196-0)
- Mogollón, J. P., Martínez, A. & Rivas, W. (2014). Degradación química de suelos agrícolas en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Suelos Ecuatoriales*, 44(1), 22-28.
- Mondini, C., Bigot, G., Sinicco, T. & Mosetti, D. (2019). Biochemical indicators of soil fertility in vineyards with different conservative management systems. *BIO Web of Conferences*, 13, e04009.
<https://doi.org/10.1051/bioconf/20191304009>
- Montiel, K. & Muhammad, I. (2016). *Manejo integrado de suelos para una agricultura resiliente al cambio climático*. Ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Nunes, F. C., L. Alves, C. Carvalho, Gross, E., Marchi, T. & Prasad, M. (2020). Chapter 9-Soil as a complex ecological system for meeting food and nutritional security. In: Vara Prasad, M. N. & M. Pietrzykowski (Eds). *Climate Change and Soil Interactions*. Elsevier, pp. 229-269.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00009-6>
- Nuñez, J. L., Pérez, J. & Prado, J. V. (2023). Análisis de indicadores e índices de calidad de suelos en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(6).
<https://doi.org/10.29312/remexca.v14i6.3148>
- Orr, C. H., Stewart, C. J., Leifert, C., Cooper, J. M. & Cummings, S. P. (2015). Effect of crop management and sample year on abundance of soil bacterial communities in organic and conventional cropping systems. *Journal of Applied Microbiology*, 119(1), 208-214.
<https://doi.org/10.1111/jam.12822>
- Osanaí, Y., Knox, O., Nachimuthu, G. & Wilson, B. (2020). Contrasting agricultural management effects on soil organic carbon dynamics between topsoil and subsoil. *Soil Research*, 59(1), 24-33.
<https://doi.org/10.1071/SR19379>
- Papendick, R. I. & Parr, J. F. (1992). Soil quality—the key to a sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7(1-2), 2-3.
<https://doi.org/10.1017/S0889189300004343>
- Ponisio, L. C., M'Gonigle, L. K., Mace, K. C., Palomino, J., de Valpine, P. & Kremen, C. (2015). Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1799).
<https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1396>
- Pozo, J. M. G. & Beltrán, Á. R. P. (2024). Impacto de los contaminantes atmosféricos en la salud ocupacional de los agricultores. *CIENCIAMATRIA*, 10(1), 33.
<https://doi.org/10.35381/cm.v10i1.1252>
- Reganold, J. P. & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2(2), 1-8.
<https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221>
- Rivera, Á. P. S., Carrero, D. A. S., Cardozo-Muñoz, J., Sánchez, F. R., Meléndez-Mazabel, J. & Borda-

- Chingate, L. S. (2023). Fitorremediación con Brassicaceae y Apiaceae en suelos contaminados con metales pesados. *Revista de Biología Tropical*, 71(1), 17. <http://dx.doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v71i1.51493>
- Rivero H. M.; Mozena L. W.; de Brito Ferreira, E. P. (2016). Carbono microbiano del suelo bajo manejo agroecológico en condiciones tropicales. *Avances*, 18(1), 57-65.
- Rodríguez, C. E. H., Carrazana, Y. B., Ríos, C., Medina, P. M. & González, O. (2015). Evaluación de manejo conservacionista en suelo Pardo Grisáceo. *Centro Agrícola*, 42(3), 25-33.
- Santillán, M.L. (2016). *Así funcionan los biofertilizantes*. UNAM. http://ciencia.unam.mx/leer/570/Asi_funcionan_los_biofertilizantes
- Santos, J. A. & Domingues, J. V. (2020). ¿Agroecología o agricultura orgánica?. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 15(5), 167-177. <https://doi.org/10.33240/rba.v15i5.23222>
- Seufert, V., Ramankutty, N. & Foley, J. A. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485(7397), 229. <https://doi.org/10.1038/nature11069>
- SIAP (Servicio de información agroalimentaria y pesquera) (2019a). *Inventario nacional de Infraestructura de Agricultura Protegida*. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- SIAP (Servicio de información agroalimentaria y pesquera) (2019b). *Atlas agroalimentario 2018*. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018
- Sih, D., Dari, B., Sharma, D. K., Pathak, H., Nain, L. & Sharma, O. P. (2017). Evaluation of soil health in organic vs. conventional farming of basmati rice in North India. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 180(3), 389-406. <https://doi.org/10.1002/jpln.201700128>
- Soto, G. (2020). El continuo crecimiento de la agricultura orgánica: Orgánico 3.0. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(1), 215-226. <http://dx.doi.org/10.15359/rca.54-1.13>
- Sumberg, J., & Giller, K. E. (2022). What is 'conventional' agriculture?. *Global Food Security*, 32, 100617. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100617>
- Timsina, J. (2018). Can organic sources of nutrients increase crop yields to meet global food demand? *Agronomy*, 8(10), 214. <https://doi.org/10.3390/agronomy8100214>
- Trigoso, D., Florida, N. & Rengifo, A. (2023). Indicadores fisicoquímicos del suelo con manejo convencional del arroz (*Oriza sativa* L.) bajo riego. La granja. *Revista de Ciencias de la Vida*, 37(1), 117-129. <https://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.09>
- Veni, V.G., C. Srinivasarao, K.S. Reddy, K.L. Sharma & A. Rai. 2020. Soil health and climate change. In *Climate Change and Soil Interactions*, pp. 751-767. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00026-6>
- Wachter, J. M., Painter, K. M., Carpenter-Boggs, L. A., Huggins, D. R. & Reganold, J. P. (2019). Productivity, economic performance, and soil quality of conventional, mixed, and organic dryland farming systems in eastern Washington State. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 286, e106665. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106665>
- Wang, Q., Xie, Z. & Li, F. (2015). Using ensemble models to identify and apportion heavy metal pollution sources in agricultural soils on a local scale. *Environmental Pollution*, 206, 227-235. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2015.06.040>
- Wang, Y., Li, C., Tu, C., Hoyt, G. D., DeForest, J. L. & Hu, S. (2017). Long-term no-tillage and organic input management enhanced the diversity and stability of soil microbial community. *Science of The Total Environment*, 609, 341-347. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.053>
- WBG (World Bank Group) (2019). *Agricultural land*. <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.AGRI.K2?end=2016&start=1961>
- Willer, H. & Lernoud, J. (2017). *The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends 2015*. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL); Frick; IFOAM-Organic International: Germany.

- Williams, D.M., Blanco-Canqui, H., Francis, C.A. & Galusha, T. D. (2017). Organic farming and soil physical properties: An assessment after 40 years. *Agronomy Journal*, 109(2), 600-609. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2016.06.0372>
- Yuan, Y., Dai, X. & Wang, H. (2019). Fertilization effects on CH₄, N₂O and CO₂ fluxes from a subtropical double rice cropping system. *Plant, Soil and Environment*, 65(4), 189-197. <https://doi.org/10.17221/453/2018-PSE>