

Ecointensificación de sistemas agrícolas como potencial de los microorganismos del suelo. Un metaanálisis

Francisco González Breijo¹
Joel Pérez Nieto^{1,§}
Diana Ayala Montejo²
Joel Velasco Velasco³

1 Programa de Posgrado en Agricultura Multifuncional para el Desarrollo Sostenible-Departamento de Fitotecnia-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Federal México-Texcoco km 38.5, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230.

2 Colegio de la Frontera Sur-Unidad Villahermosa. Carretera a Reforma km 15.5 s/n Ra, Guineo 2da. Sección, Villahermosa, Tabasco. CP. 86280.

3 Colegio de Postgraduados-Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348. Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. CP. 94953.

Autor para correspondencia: jperez14@hotmail.mx

Resumen

La ecointensificación agrícola se basa en el manejo óptimo de todos los componentes del agroecosistema. Uno de los componentes más sensibles a los cambios es el suelo, donde el rol de los microorganismos presentes en la rizosfera es fundamental. Es por ello que el objetivo de este trabajo es analizar el potencial del uso de microorganismos como base para una ecointensificación en los sistemas agrícolas. Este potencial se analizó con un metaanálisis de 203 publicaciones en el periodo de 2015 al 2022, cuyo acervo fue sometido a un análisis de frecuencias de palabras clave, ejes temáticos y de conglomerados (nivel 3) de los nodos identificados mediante el software Nvivo. Los resultados indican que solo el 5.9% analizado destacan la importancia de la microbiología del suelo en la ecointensificación agrícola. Se concluye que la ecointensificación agrícola promueve menos insumos, bajos costos de producción e ingresos óptimos, a la vez que se conserva el suelo, mejora el contenido y la calidad del agua, restablece la salud del suelo y del hábitat y disminuye la emisión de gases de efecto invernadero en el agroecosistema. El fortalecimiento de los microorganismos del suelo como elemento de ecointensificación, representa un nicho para mejorar la ecología, productividad y rentabilidad de los agroecosistemas, aprovechando y maximizando los servicios ecosistémicos que ofrecen. Esto implica profundizar investigaciones en estas interacciones para alentar su adopción por los agricultores.

Palabras clave:

agricultura, ambiental, ecología, sostenibilidad.

Introducción

Los efectos derivados de la intensificación convencional de la agricultura basada en el alto uso de insumos químicos son claramente insostenibles. Esta intensificación ofrece un conjunto de prácticas basadas en el uso de insumos sintéticos para grandes extensiones de monocultivo. El modelo productivista basado en el alto uso de insumos tuvo su origen en la revolución industrial; es decir, en un momento en el cual el volumen de la población humana representaba menos de 15% del actual y en el que la insostenibilidad de los sistemas productivos no era tan evidente (Montoya *et al.*, 2022).

Actualmente, el gran desafío de la agricultura mundial es elevar su nivel de sostenibilidad económica, social y ambiental. Entre las metas propuestas en la Agenda de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para 2030, se pueden destacar los propósitos de 'acabar con el hambre, lograr la seguridad alimentaria, mejorar la nutrición y promover la agricultura sostenible' (UN, 2022). Esas metas han determinado cambios en el modo de implementar los procesos de intensificación, de manera que se cumpla con las prioridades del sector, sin una sobreexplotación de la tierra (Creus, 2017).

Al respecto, Lal (2019) plantea que es precisamente en este contexto donde se puede insistir en la importancia de la eointensificación, para un cambio de paradigma tan necesario, entendiendo que las prácticas que mejoran la calidad y funcionalidad del suelo impactarán de manera positiva la actividad y la diversidad de especies de la biota, donde los microorganismos juegan un papel fundamental; gracias a sus servicios ecosistémicos son parte esencial para una transición exitosa hacia sistemas agrícolas sostenibles.

Este enfoque fue desarrollado desde comienzos del siglo XX en el norte de Europa, bajo el concepto de agricultura ecológica, donde ya se distanciaban de las tendencias encaminadas a incrementar los rendimientos en la agricultura convencional (Calderón, 2004).

En virtud de ello Ayan *et al.* (2021) argumentan que el uso de microorganismos benéficos constituye una estrategia para desarrollar sistemas agrícolas más sostenibles y reducir el impacto negativo de productos químicos para el manejo agronómico (nutrición, plagas y enfermedades). Además, las comunidades microbianas asociadas a las plantas mejoran la tolerancia de éstas al estrés ambiental, favorecen la absorción de nutrientes y contribuyen a su crecimiento (Santoyo *et al.*, 2021).

En función de estas consideraciones el objetivo de este trabajo fue analizar el potencial del uso de microorganismos como base para una eointensificación en los sistemas agrícolas. Para ello, se realizó un metaanálisis considerando el supuesto de que, en los sistemas agrícolas la eointensificación no pondera los benéficos del manejo de los microorganismos de forma consciente para maximizar la productividad.

Materiales y métodos

La compilación de la literatura científica se realizó durante los meses de enero a marzo de 2022 periodo de tiempo en la que se hizo la investigación, se usaron documentos publicados entre los años 2015 y 2022, para el caso de los conceptos de eointensificación se analizaron publicaciones que permitan comprender la construcción del concepto. Se utilizaron sitios webs especializados en buscadores académicos como Google Académico, ResearchGate, Science Direct, Scopus y Web of Science, que permitieron la búsqueda en: Agrosystems, Elsevier, Emerald, IOP, Nature, Oxford, Springer y en las revistas Mexicanas de Ciencia y Tecnología del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), de libre acceso.

Las búsquedas se realizaron en los idiomas español e inglés. Las principales palabras claves utilizadas en la búsqueda fueron: 1) intensificación/ intensification; 2) ecológica/ ecological; 3) microorganismos/microorganisms; 4) agroecología/ agroecology; y 5) agricultura/ agriculture.

Todas las publicaciones encontradas fueron gestionadas y almacenadas con el programa de acceso gratuito (Zotero, 2018). Los documentos se exportaron en formato RIS a una carpeta

Cuadro 1. Documentos que abordaron temáticas relacionadas con las palabras claves intensificación, ecológica y microorganismos.

Autores	Título
Gaba <i>et al.</i> (2014)	Manejo de interacciones bióticas para la intensificación ecológica de agroecosistemas
Giagnocavo <i>et al.</i> (2022)	Reconectar a los agricultores con la naturaleza a través de transiciones agroecológicas: nichos interactivos y experimentación y el papel del conocimiento agrícola y los sistemas de innovación
Altieri <i>et al.</i> (2017)	Enfoques tecnológicos para la agricultura sostenible en una encrucijada: una perspectiva agroecológica
Omotayo y Babalola (2021)	Dinámica ecológica y conservación del microbioma de la rizosfera residente: hacia el logro de los objetivos de desarrollo sostenible previstos, una revisión
Bajsa <i>et al.</i> (2013)	El efecto de las prácticas agrícolas en las comunidades microbianas residentes del suelo: enfoque en el biocontrol y la biofertilización
Bargaz <i>et al.</i> (2018)	Recursos microbianos del suelo para mejorar la eficiencia de los fertilizantes en un sistema integrado de gestión de nutrientes vegetales
Trivedi <i>et al.</i> (2016)	Respuesta de las propiedades del suelo y las comunidades microbianas a la agricultura: implicaciones para la productividad primaria y los indicadores de salud del suelo
Montoya <i>et al.</i> (2022)	Microorganismos beneficiosos en la agricultura sostenible: aprovechar el potencial de los microbios para ayudar a alimentar al mundo
Santoyo <i>et al.</i> (2021)	Estimulación del crecimiento vegetal por consorcios microbianos
García (2015)	Agricultura en el Cono Sur ¿qué se conoce, qué falta por conocer?
Lozano <i>et al.</i> (2015)	Hongos formadores de micorrizas arbusculares y su efecto sobre la estructura de los suelos en fincas con manejos agroecológicos e intensivos
Creus (2017)	Inoculantes microbianos: piezas de un rompecabezas que aún requiere ser ensamblado

En este sentido, se puede plantear que a pesar de la relación que existe entre los procesos ecológicos en la agricultura y los microorganismos del suelo se visualiza que de las 203 publicaciones sólo 5.9% relacionan procesos de intensificación ecológica con el empleo de los microorganismos del suelo. El resto tenían un enfoque mayoritario sobre la importancia para la salud del suelo, comparación con otras tecnologías (intensificación convencional y sostenible), asociación y rotación de cultivos, biodiversidad, secuestro de carbono, entre otros.

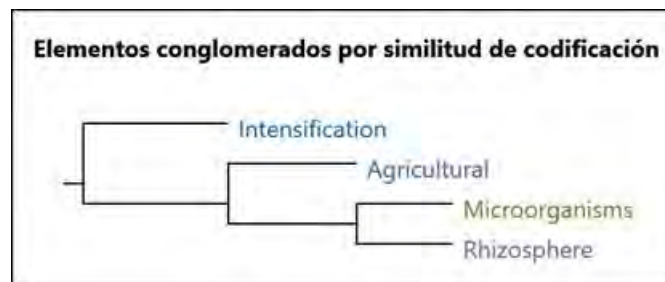
La agricultura ecológica según Trivedi *et al.* (2016), se basa en mejorar los servicios ecosistémicos proporcionados por la biodiversidad, estos dependen del grado de (agro)biodiversidad a nivel de campo, finca y paisaje y le llaman agricultura basada en la biodiversidad, mientras que otros autores la llaman ‘agricultura ecológicamente intensiva’. Sus principales objetivos son reducir los impactos ambientales negativos y elevar los límites de producción de la agricultura orientada a la producción y se conoce como ‘agricultura basada en la eficiencia/sustitución’, mientras que otros la llaman ‘intensificación ecológica’. En este metaanálisis se muestra la relación que existe entre la ecointensificación, como sinónimo de

'intensificación ecológica', con los procesos ecosistémicos de los agroecosistemas, en específico con los microorganismos del suelo.

En este estudio, a través del metaanálisis se muestra la relación que existe entre la eointensificación, como sinónimo de 'intensificación ecológica', con los procesos ecosistémicos de los agroecosistemas, en específico con los microorganismos del suelo.

La Figura 2 y el Cuadro 2 muestran resultados del análisis multivariado de conglomerados (mientras más alejados los elementos menos relación entre ellos) y coeficientes de correlación de Pearson (coeficientes cercanos a uno indican relación fuerte entre las variables y valores cercanos a cero no hay relación entre las dos variables; valores menores que 0 indica asociación negativa), estos indican que existe una relación no significativa entre las investigaciones que abordan la temática de la intensificación en la agricultura con componentes importantes en los agroecosistemas como los microorganismos presentes en la rizosfera, según los documentos analizados. Esto evidencia que existe un nicho de investigación y de producción agrícola intensiva basada en maximizar los procesos ecológicos con los microorganismos del suelo en los agroecosistemas.

Figura 2. Diagrama de análisis de conglomerados de los temas nivel 3.



La correlación según la prueba de Pearson (Cuadro 2) indica que la relación entre códigos no es significativa, con un grado de significancia de $p \leq 0.05$, para el caso de la relación del código Rizosfera con Intensificación existe una relación significativa; sin embargo, es negativa, lo cual permite comprender que las publicaciones abordan las temáticas con una relación inversamente proporcional.

Cuadro 2. Coeficiente de correlación de Pearson entre los temas analizados. Para analizar las relaciones que existen entre los nodos.

Código A	Código B	Coeficiente
Rizosfera	Microorganismos	0.58
Microorganismos	Intensificación	0.18
Microorganismos	Ecológica	0.16
Rizosfera	Intensificación	-0.005
Agricultura	Intensificación	0.17

Nivel de significancia ($p \leq 0.05$).

Estos resultados permiten separar las publicaciones en tres ejes temáticos: 1) intensificación ecológica o eointensificación (EI) de sistemas agrícolas; 2) potencial de los microorganismos del suelo en la eointensificación; y 3) servicios ecosistémicos que brindan los microorganismos en sistemas agrícolas eointensificados.

Ecointensificación (EI) de sistemas agrícolas

El término 'intensificación ecológica' es relativamente reciente y todavía no existe un significado generalmente aceptado (Gaba *et al.*, 2014). Como sinónimo, la ecointensificación (EI) se refiere al uso de procesos ecológicos para aumentar la productividad en sistemas de producción agropecuarios simultáneamente a los servicios ecosistémicos (García, 2015). En tal sentido Aubin *et al.* (2019); Giagnocavo *et al.* (2022), declaran que la EI es un nuevo concepto en la agricultura que aborda el doble desafío de mantener un nivel de producción suficiente para satisfacer las necesidades de las poblaciones humanas respetando el medio ambiente para conservar el mundo natural y la calidad de vida humana.

Este concepto es usado por instituciones como la FAO (2011) desde ese año declaró la importancia del cambio de paradigma en los procesos de intensificación agrícola y autores como González *et al.* (2020) quienes confirmaron la importancia de la intensificación para promover la sustentabilidad en los sistemas agrícolas.

Otros autores, Gaba *et al.* (2014); Lal (2019) definen la EI como la intensificación de los procesos biológicos que sustentan los servicios ecosistémicos a medio plazo (eficiencia de las opciones de gestión) y a largo plazo (sostenibilidad de las opciones de gestión). Mientras que para Xie *et al.* (2019), la EI se entiende como un medio para aumentar la producción agrícola (alimentos, fibras, agrocombustibles y servicios ambientales), a la vez que se reduce el uso y la necesidad de insumos externos (agroquímicos, combustibles y plásticos), capitalizando los procesos ecológicos que sustentan y regulan la productividad primaria en los agroecosistemas agrícolas. Lal (2019) enfatiza que la EI fue diseñada para restaurar las reservas de carbono orgánico (SOC) y C inorgánico del suelo (SIC), de suelos degradados.

Cabe aclarar que se han estudiado otras formas de intensificación, como la intensificación sustentable (IS). (González *et al.*, 2020). Donde hay diferencias notables en los conceptos, la gestión, la productividad y el impacto ambiental, pero no es objetivo de este escrito destacar las diferencias entre estos términos y formas de producción (Lal, 2019).

Sin embargo, los agroecosistemas también deben ser pertinentes para la adaptación y mitigación del cambio climático, la mejora de la calidad y la capacidad de renovación del agua, la mejora de la biodiversidad y el avance en la consecución de los ODS de las Naciones Unidas (Lal, 2019). Las necesidades de maximizar la producción de alimentos por unidad de superficie y satisfacer otras demandas de la sociedad cada vez más próspera deben satisfacerse mediante la adopción de sistemas de uso de la tierra y gestión del suelo/cultivos/animales que también restablezcan la salud del suelo y otros recursos naturales.

La ecointensificación maneja el sistema agrícola, pero con prioridad en los procesos ecológicos en el agroecosistema y enfatiza el enfoque de sistemas, además de considerar fuertemente las perspectivas sociales y culturales. Antes que un objetivo *per se*, la ecointensificación busca constituirse en un proceso necesario para alcanzar los objetivos más amplios de la agroecología: la seguridad alimentaria y la sostenibilidad (Altieri *et al.*, 2017; Bargaz *et al.*, 2018).

En este punto, es oportuno definir que se considera que la ecointensificación agrícola se caracteriza por su enfoque de sistema, aborda los beneficios que derivan de los procesos ecológicos y considera en su manejo las relaciones socioeconómicas. Es pertinente mencionar, que permitirá el aumento de la eficiencia de los recursos naturales existentes según las características socioecológicas del sistema.

Como prácticas agrícolas comunes, se reciclan e incorporan al sistema los desechos orgánicos, se balancea el empleo de insumos químicos con los insumos orgánicos, se hace uso intensivo del suelo en tiempo y espacio (estrategias de rotación y asociaciones de cultivos), se identifican los cultivos y variedades más idóneas a fomentar según las características de consumo y edafoclimáticas de las regiones, a la vez que potencian las especies nativas; se optimizan el uso del agua (técnicas de riego eficientes), se fomentan las estrategias de manejo integrado de plagas y enfermedades y se alcanza diversidad productiva en los agroecosistemas.

Un componente importante de la mayoría de los sistemas de producción agrícolas son los microorganismos del suelo, por todos los beneficios (transformaciones bioquímicas, ciclos de nutrientes, producción de antibióticos y vitaminas, etc.) que éstos proporcionan, por lo que introducir este componente en los enfoques productivos de ecointensificación será un factor fundamental para alcanzar la sostenibilidad, dado que éstos brindan un cúmulo importante de beneficios en estos sistemas.

Comprender los procesos biogeoquímicos que ocurren en el suelo especialmente en la rizosfera es fundamental para analizar las variaciones que existen en el suelo, como pueden ser las inducidas por los ciclos de nutrimentos, dinámicas biológicas, relaciones suelo-planta y así poder manejar los sistemas de cultivos para poder optimizar los recursos existentes y maximizar las salidas de los agroecosistemas.

Potencial de los microorganismos del suelo en la ecointensificación

La EI es un sistema basado en la producción agrícola y en el manejo sostenible de la calidad y funcionalidad del suelo. Pero, para lograrlo es vital entender las relaciones microorganismo-suelo-planta que cada día toma más relevancia, puesto que la funcionalidad de los agroecosistemas es indispensable para el bienestar humano, ya que existen relaciones de beneficio que pueden ser aprovechadas para optimizar la producción agrícola (Bajsa *et al.*, 2013; Omotayo y Babalola, 2021). A estos aportes que brinda la naturaleza a la sociedad humana se les conoce como servicios ecosistémicos (SE).

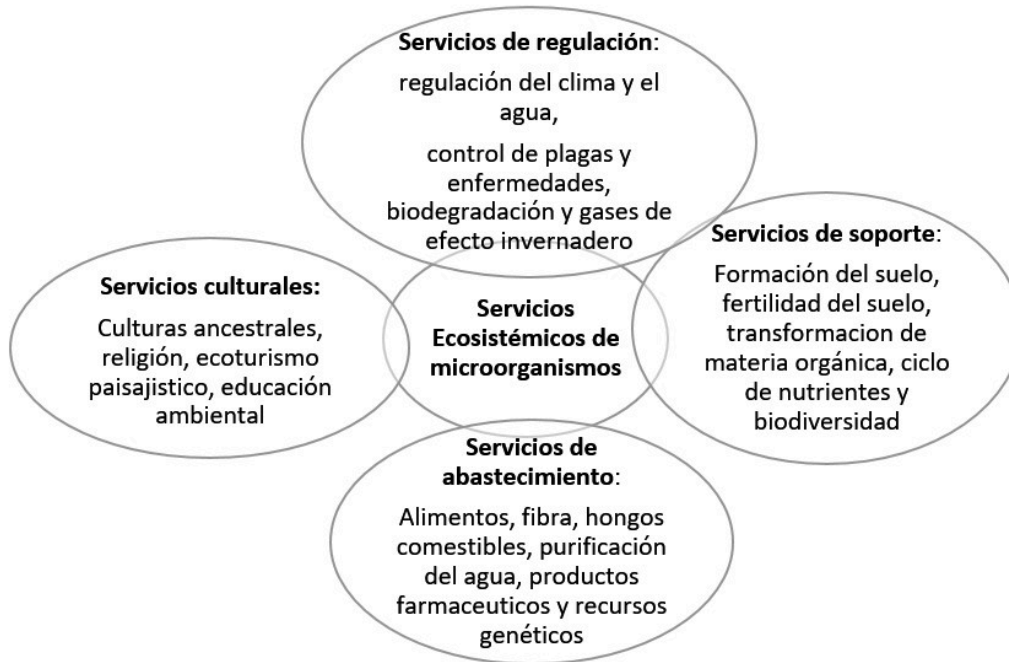
Según Rojas y Hernández (2021), los SE integran beneficios tangibles e intangibles que se derivan de la naturaleza para provecho del ser humano y que, de acuerdo con ciertos criterios, pueden ser valorados económicamente para su conservación y manejo. Saccá *et al.* (2017), establecieron que los SE surgen de la interacción de procesos bióticos y abióticos en el agroecosistema.

Por ello es importante entender los beneficios ecosistémicos que puede brindar la actividad microbiana del suelo en los agroecosistemas. Los microorganismos del suelo cumplen varias funciones claves de regulación en los ciclos biogeoquímicos, la fertilidad del suelo y la resiliencia. Incrementan la densidad de nutrientes, por descomposición de la materia orgánica o por la solubilización de elementos. Debido a ello, estos microorganismos se denominan grupos funcionales (Thiour *et al.*, 2019; Ayan *et al.*, 2021).

Se reconoce que la diversidad funcional de los microorganismos del suelo puede mejorar la estabilidad de los agroecosistemas y la prestación de servicios ecosistémicos, pero hay necesidad de vincular el conocimiento existente sobre la comprensión de la funcionalidad de estos en la rizosfera, para explicar completamente la conexión entre la diversidad, estabilidad y función en los sistemas agrícolas (Santoyo *et al.*, 2021). En sentido general, la Figura 3 especifica los principales servicios ecosistémicos a los que contribuyen los microorganismos del suelo.



Figura 3. Principales servicios ecosistémicos que prestan los microorganismos del suelo. Modificado de Saccá *et al.* (2017); Chen *et al.* (2019).



Servicios ecosistémicos que brindan los microorganismos en sistemas agrícolas eointensificados

El metaanálisis permitió identificar que 12 publicaciones que corresponde al 5.9% del total analizadas, las cuales profundizan la importancia de los microorganismos del suelo en los sistemas agrícolas eointensificados para brindar servicios ecosistémicos, a continuación, se muestra los principales servicios ecosistémicos con sus respectivos autores.

Servicios ecosistémicos de regulación

Regulación de clima

La regulación del clima es uno de los servicios ecosistémicos más importantes proporcionados por los microorganismos del suelo, ya que las bacterias y los hongos juegan un papel clave en el intercambio de carbono (C) entre la tierra y la atmósfera. Por otro lado, la aceleración inducida por la temperatura de las tasas de actividad microbiana heterótrofa genera una retroalimentación positiva sobre el cambio climático (Cavicchioli *et al.*, 2019).

Purificación del agua y biorremediación

El suelo actúa como filtro purificador del agua al pasar a través de la zona no saturada y almacenándola también para las plantas. Algunos microorganismos participan en la depuración del agua a su paso por el suelo, lo que se debe principalmente a su capacidad para degradar diversos contaminantes mediante biorremediación (Lin *et al.*, 2021).

Control de plagas y enfermedades

Los microorganismos que habitan ecosistemas terrestres juegan un rol primordial en mantener la salud ecosistémica. Entre esta microbiota, se encontraron un conjunto particular denominado microorganismos promotores de crecimiento vegetal (MPCV), los cuales directa o indirectamente favorecen el crecimiento vegetativo, generan tolerancia al estrés abiótico y biótico en la planta, facilitan la nutrición de la planta y antagonizan fitopatógenos en plantas hospederas. Entre los géneros microbianos más estudiados de este grupo destacan: *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Bacillus*, *Variovorax*, *Klebsiella*, *Burkholderia*, *Azospirillum*, *Serratia*, *Azotobacter* y *Trichoderma* (Valenzuela *et al.*, 2020).

Servicios ecosistémicos de soporte

Formación de suelo

Lozano *et al.* (2015); Heredia (2020) mencionan que los agregados de suelo son unidades estructurales entre partículas elementales que se forman mediante interacciones abióticas y bióticas. Entre los componentes bióticos que interactúan están las raíces, los hongos (saprófitos y micorrízicos), la mesofauna y las bacterias. Algunos de estos hongos no solo participan en este proceso, también intervienen en forma directa e indirecta en varios aspectos de la formación y estructura del suelo y en la conformación de hábitats para otras especies y en el ciclo de nutrientes.

Fertilidad del suelo

Los microorganismos son actores clave para muchos procesos de los ecosistemas incluida la mejora de la fertilidad del suelo. Median en los ciclos biogeoquímicos para la disponibilidad de nutrientes minerales del suelo, como nitrógeno, fósforo y azufre, que son los principales nutrientes que promueven el crecimiento de las plantas, utilizan el carbono orgánico como fuente de energía para impulsar el proceso de reciclaje y también descomponen la materia orgánica para mantener la fertilidad del suelo favoreciendo el crecimiento y la productividad sostenible de las plantas (Basu *et al.*, 2021).

El empleo de inoculantes microbianos, por lo general son prácticas rentables para el agricultor, lo cual se logra usando inoculantes de comprobada actividad y pureza, que aseguren un número específico adecuado por especie, dando garantía de calidad y por ende confianza. Por este potencial de los microorganismos del suelo, su manejo óptimo sería muy beneficioso en los procesos de El agrícola, lo que implica la necesidad de mayor investigación sobre los beneficios y costos del uso de inoculantes microbianos en la EI, para alentar su adopción.

Conclusiones

Solo 5.9% del total de publicaciones analizadas destacan la importancia de la microbiología del suelo en la ecointensificación agrícola, esto abre una nueva línea de investigación, que es el estudio del potencial de los microorganismos del suelo y el impacto de los servicios ecosistémicos en los sistemas agrícolas ecointensificados.

El fortalecimiento de los microorganismos del suelo como elemento de ecointensificación, sin duda representa un nicho para mejorar la ecología, la productividad y rentabilidad de los agroecosistemas, aprovechando y maximizando los servicios ecosistémicos que ofrecen.

Bibliografía

- 1 Altieri, M.; Nicholls, C. and Montalba, R. 2017. Technological approaches to sustainable agriculture at a crossroads: an agroecological perspective. *Sustainability*. 9(3):349-355.

- 2 Aubin, J.; Callier, M.; Rey#Valette, H.; Mathe, S.; Wilfart, A.; Legendre, M. and Fontaine, P. 2019. Implementing ecological intensification in fish farming: definition and principles from contrasting experiences. *Reviews in Aquaculture*. 11(1):149-167. <https://doi.org/10.1111/raq.12231>.
- 3 Ayan, L. R.; Coutiño, P. M.; González, M. M.; Vázquez, R. L. y Hernández, F. G. 2021. Microorganismos del suelo y sus usos potenciales en la agricultura frente al escenario del cambio climático. *Magna Scientia UCEVA*. 1(1):104-117.
- 4 Bajsa, N.; Morel, M. A.; Brañna, V. and Castro, S. S. 2013. The effect of agricultural practices on resident soil microbial communities: focus on biocontrol and biofertilization. *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*. 1:687-700.
- 5 Bargaz, A.; Lyamlouli, K.; Chtouki, M.; Zeroual, Y. and Dhiba, D. 2018. Soil Microbial resources for improving fertilizers efficiency in an integrated plant nutrient management system. *Front. Microbiol.* 9:1606. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01606>.
- 6 Basu, S.; Kumar, G.; Chhabra, S. and Prasad, R. 2021. Role of soil microbes in biogeochemical cycle for enhancing soil fertility. In *new and future developments in microbial biotechnology and bioengineering*. Elsevier. 149-157 pp.
- 7 Calderón, J. P. 2004. Agricultura ecológica: una alternativa al desarrollo sustentable en el campo mexicano. *El cotidiano*. 20(127):95-100.
- 8 Cavicchioli, R.; Ripple, W. J.; Timmis, K. N.; Azam, F.; Bakken, L. R.; Baylis, M. and Webster, N. S. 2019. Scientists' warning to humanity: microorganisms and climate change. *Nature Reviews Microbiology*. 17(9):569-586.
- 9 Chen, L.; Redmile, G. M.; Li, J.; Zhang, J.; Xin, X.; Zhang, C. and Zhou, Y. 2019. Linking cropland ecosystem services to microbiome taxonomic composition and functional composition in a sandy loam soil with 28-year organic and inorganic fertilizer regimes. *Applied Soil Ecology*. 139:1-9.
- 10 Creus, C. M. 2017. Inoculantes microbianos: piezas de un rompecabezas que aún requiere ser ensamblado. *Revista Argentina de Microbiología*. 49(3):207-209. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=213052686001>.
- 11 Gaba, S.; Bretagnolle, F.; Rigaud, T. and Philippot, L. 2014. Managing biotic interactions for ecological intensification of agroecosystems. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2 <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fevo.2014.00029>.
- 12 García, F. O. 2015. Agricultura en el Cono Sur ¿Qué se conoce, qué falta por conocer? *Siembra*. 2(1):103-115.
- 13 Giagnocavo, C.; Cara, G. M.; González, M.; Juan, M.; Marín, G. J. I.; Mehrabi, S. and Rodríguez, E. 2022. Reconnecting farmers with nature through agroecological transitions: interacting niches and experimentation and the role of agricultural knowledge and innovation systems. *Agriculture*. 12(2):137-144. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture12020137>.
- 14 González, Ch, M.; Wratten, S. D.; Shields, M. W.; Costanza, R.; Dainese, M.; Gurr, G. M. and Zhou, W. 2020. Understanding the pathways from biodiversity to agro-ecological outcomes: a new, interactive approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 301:107053.
- 15 Heredia, A. G. P. 2020. La importancia de los hongos (Fungi) en los servicios ecosistémicos. *Bioagrocencias*. 13(2):98-108.
- 16 Lal, R. 2019. Eco-intensification through soil carbon sequestration: Harnessing ecosystem services and advancing sustainable development goals. *Journal of Soil and water conservation*. 74(3):55A-61A.
- 17 Lin, H. Liu, C.; Li, B. and Dong, Y. 2021. *Trifolium repens* L. regulated phytoremediation of heavy metal contaminated soil by promoting soil enzyme activities and beneficial

- rhizosphere associated microorganisms. *Journal of Hazardous Materials*. 402:123829. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123829>.
- 18 Lozano, S. J. D.; Armbrecht, I. y Montoya, L. J. 2015. Hongos formadores de micorrizas arbusculares y su efecto sobre la estructura de los suelos en fincas con manejos agroecológicos e intensivos. *Acta Agronómica*. 64(4):289-296. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.46045>.
 - 19 Montoya, M. A. C.; Parra, C. F. I. and de Los Santos, V. S. 2022. Beneficial Microorganisms in sustainable agriculture: harnessing microbes' potential to help feed the world. *Plants*. 11(3):372-379.
 - 20 Omotayo, O. P. and Babalola, O. O. 2021. Resident rhizosphere microbiome's ecological dynamics and conservation: towards achieving the envisioned sustainable development goals, a review. *International Soil and Water Conservation Research*. 9(1):127-142.
 - 21 Rojas, C. y Hernández, Y. 2021. Herramientas metodológicas utilizadas para estudiar servicios ecosistémicos que presta la flora. *BISTUA. Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*. 19(1):8-15.
 - 22 Saccá, M. L.; Barra, C. A.; Di, L. M. and Grenni, P. 2017. Ecosystem services provided by soil microorganisms. *In: Lukac, M.; Grenni, P.; Gamboni, M. Ed. Soil biological communities, and ecosystem resilience. Sustainability in plant and crop protection*. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-63336-7-2>.
 - 23 Santoyo, G.; Guzmán, G. P.; Parra, C. F. I.; Santos, V. S.; Orozco, M. Ma. del C. and Glick, B. R. 2021. Plant growth stimulation by microbial consortia. *Agronomy*. 11(2):219-225. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy11020219>.
 - 24 Thiour, M. C.; Martin, L. F.; Calvayrac, C. and Barthelmebs, L. 2019. Effects of herbicide on non-target microorganisms: towards a new class of biomarkers? *Science of the Total Environment*. 684:314-325. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.230>.
 - 25 Trivedi, P. Delgado, B. M.; Anderson, I. C and Singh, B. K. 2016. Response of soil properties and microbial communities to agriculture: implications for primary productivity and soil health indicators. *Front. Plant Sci*. 7:990-996. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2016.00990>.
 - 26 UN. 2022. United Nations. Alimentación/Naciones Unidas. United Nations. <https://www.un.org/es/global-issues/food>.
 - 27 Valenzuela, R. V.; Gálvez, G. G. T.; Villa, R. E.; Parra, C. F. I.; Gustavo, S. y De los Santos, V. S. 2020. Lipopéptidos producidos por agentes de control biológico del género *Bacillus*: revisión de herramientas analíticas utilizadas para su estudio. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11(2):419-432.
 - 28 Xie, H.; Huang, Y.; Chen, Q.; Zhang, Y. y Wu, Q. 2019. Prospects for sustainable agricultural intensification: a review of the research. *Land*. 8(11):157-163.



Ecointensificación de sistemas agrícolas como potencial de los microorganismos del suelo. Un metaanálisis

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 May 2023
Date accepted: 01 August 2023
Publication date: 07 November 2023
Publication date: November 2023
Volume: 14
Issue: 8
Electronic Location Identifier: e3322
DOI: 10.29312/remexca.v14i8.3322

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

agricultura
ambiental
ecología
sostenibilidad

Counts

Figures: 3
Tables: 4
Equations: 0
References: 28
Pages: 0