

BIOFERTILIZANTES: EL FUTURO LIMPIO Y SUSTENTABLE PARA POTENCIAR EL DESARROLLO DE LA AGRICULTURA

¹Pablo Galindo-Martorell, ²Fidel Landeros Jaime, ³Edgardo Ulises Esquivel Naranjo, ⁴José Antonio Cervantes Chávez. ¹pagalmar@gmail.com, ²landeros@uaq.mx, ³ulises.esquivel@uaq.mx, ⁴jose.antonio.cervantes@uaq.mx.

Unidad de Microbiología Básica y Aplicada, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. Campus Aeropuerto | Carretera a Chichimequillas, Ejido Bolaños, Querétaro, Qro. C.P. 76140.

RESUMEN

Los biofertilizantes, son una mezcla de microorganismos vivos, como bacterias, hongos o algas; los cuales mejoran la disponibilidad de nutrientes y promueven el crecimiento de las plantas, éstos representan un potencial avance en la sustentabilidad de los cultivos y el bienestar de los suelos. Los resultados obtenidos en los cultivos probados en los años recientes demuestran que el aprovechamiento de los nutrientes es mayor mediante la aplicación de los biofertilizantes en comparación con los fertilizantes químicos. A diferencia de los fertilizantes químicos, su importancia radica en la nula contaminación inherente debido a que están formulados a base de metabolitos y/o microorganismos benéficos para las plantas, además del mantenimiento natural de los suelos; así como el bajo impacto económico que representan al sector agrícola. El mercado global de los biofertilizantes se ha abierto camino entre los agricultores, lenta pero seguramente, hasta representar varios millones de dólares anuales dado su beneficio y aceptación por del sector agrícola.

Palabras clave: Biofertilizantes, microorganismos benéficos, rizósfera, inoculantes.

ABSTRACT

The biofertilizers are a mixture of microorganisms like bacteria, fungi, algae which improve nutrient availability and promote the growth of the plant, nowadays represent a breakthrough in crop sustainability and soil well-being. Recently, the results obtained in several crops tested demonstrated that nutrient utilization is better when biofertilizers are supplied as compared with chemical fertilizers. In contrast to the contamination produced by chemical fertilizers, its importance lies in the zero pollution, since they are formulated from beneficial plant's microorganisms or their metabolites, in addition to the natural maintenance of the soil; as well as the low economical impact they represent on the agricultural sector. The global biofertilizer market has made its way among farmers, slowly but surely, to represent several million dollars annually considering its benefits and acceptance by the agricultural sector.

Keywords: Biofertilizers, beneficial microorganisms, rhizosphere, inoculants.

1. INTRODUCCIÓN

Durante siglos, la agricultura ha sido la fuente principal para obtener alimentos y sustento para la conformación de sociedades, desde que se abandonó el nomadismo por el sedentarismo. Los vestigios más antiguos que se han encontrado de esta transición datan de hace 12,000 años (Reed 2011). Existen hipótesis centrales que intentan explicar

esta serie de eventos según Corrales (2022), la primera es que se debió a un crecimiento demográfico descontrolado, en el que no hubo una separación de grupos, sino que la población se concentró en una región geográfica favorecida por las condiciones ambientales. La segunda hipótesis es que algunas poblaciones lograron un entendimiento y dominio tal de las técnicas de caza, pesca y recolección que les permitió no depender del entorno, sino transformar las primeras aldeas para que soportasen el desarrollo de la flora y fauna que posteriormente domesticaron. Con el paso del tiempo, los humanos nos dimos cuenta de que ciertos sustratos, nutrientes o moléculas promueven el desarrollo de las plantas en sus diversas etapas de crecimiento; ya sea como precursores de hormonas, azúcares o iniciadores de diversos procesos anabólicos y catabólicos. El conjunto de estas moléculas se les llama fertilizantes, los cuales son principalmente absorbidos mediante las raíces de las plantas, por lo que son fundamentales los mecanismos de acción que permiten la internalización de los nutrientes hacia la planta (Adesemoye y Kloepper 2009). Estos fertilizantes son denominados edáficos, ya que están presentes en el suelo y mediante él se movilizan entre organismos y tejidos (Salazar Hidalgo, K. N. 2022).

2. FERTILIZANTES QUÍMICOS

Originalmente, los fertilizantes eran las excretas de los animales porque estas se reducen a sus compuestos básicos por degradación biológica (Prasad y Shivay, 2021). Tras identificar que los elementos, tales como: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), y sus complejos, son los responsables de favorecer el desarrollo, se idearon reactores químicos que imitan las reacciones biológicas que realizan los insectos y los microorganismos para la producción de esos elementos. Con estos procesos se pretende refinar las porciones fundamentales que las plantas absorben para su desarrollo.

Además de los edáficos, existen los de aplicación foliar, es decir, los fertilizantes rociados sobre las hojas de la planta. Este sistema se usa como complemento al fertilizante edáfico y permite superar los límites de los nutrientes del suelo, relacionados con el ataque de nematodos, y los efectos de lixiviación, que reduce la captación de nutrientes por las raíces (Niu et al. 2021). Sin embargo, el fertilizante foliar debe atravesar las barreras propias de las hojas, entre otras, la capa hidrofóbica de cera, que es superada debido a las cargas iónicas de los nutrientes. Por lo tanto, deben estar solvatados en su totalidad, siendo así una penetración pasiva (Martínez-Gutiérrez et al. 2022).

Actualmente, se han desarrollado fertilizantes foliares en base a la quelación de nutrientes en moléculas solubles en agua y no tóxicas (Peralta 2018). Sin embargo, David

(2017) describió que la relación costo/beneficio de los fertilizantes foliares no era favorable. En este estudio, se reporta que por cada dólar invertido se generan 1.19 dólares en ventas, hasta un 50% menos que en fertilización únicamente edáfica (Martínez-Gutiérrez et al. 2022). Sin embargo, diferentes autores han descrito que ninguno de los dos métodos anteriores son los más eficientes, puesto que el porcentaje del rendimiento para los fertilizantes de desecho y los químicos rondan el 30% al 40%, dependiendo del cultivo (Aguilar Carpio et al. 2019; Rodríguez-Herrera et al. 2020). Por lo anterior, es necesario considerar el ciclo fotosintético de la planta, en el que se observa que los desechos depositados dentro de las áreas rizoides llegan a constituir hasta un 50% (Jiménez Ortiz et al. 2019)

2.1.- Problemática generada debido al uso de fertilizantes químicos

Los fertilizantes químicos son los más usados en la industria agrícola y provocan contaminación de los suelos al no aprovecharse el 100% de los elementos liberados al ecosistema. Debido a la erosión del suelo por sobreexplotación, los microorganismos en él ven superada su capacidad de procesamiento y los suelos captan el agua ineficientemente, lo que a su vez perjudica el desarrollo de las plantas. Los problemas más comunes por el uso de fertilizantes químicos están relacionados con la sobrefertilización, que incrementa los costos, contaminando los suelos y mantos acuíferos (Bhatt et al. 2019).

2.2.- Sobreexplotación del suelo

La degradación del suelo es una de las consecuencias más importantes respecto al mal uso que se le pueda dar a este ecosistema. La erosión química representa uno de los problemas más impactantes para la economía y la ecología de las regiones agrícolas y es ocasionada naturalmente por el viento o lluvias regulares. Sin embargo, el manejo agrícola de los suelos y cultivos también juega un factor crítico. En Europa se estima que 68.3% del territorio continental perdido debido a la erosión ha sido consecuencia de la sobreexplotación agrícola. Este impacto se puede medir en los campos agrícolas mediante la aplicación de la ecoeficiencia, definida como la tasa entre los resultados deseados y los efectos negativos al ambiente durante el uso del suelo, incluyendo parámetros complejos como el comportamiento del agricultor y la relación hortaliza/erosión (Eder et al. 2021).

Bajo el mismo contexto, un índice negativo de ecoeficiencia refleja una mala decisión en la elección del cultivo, una nula o poca rotación de hortalizas, características que deterioran la calidad biológica y química del suelo fértil. Tal recurso es renovable hasta cierto punto, ya que depende del tiempo

de descanso que se le dé; sin embargo, los ritmos de cultivo actuales no son compatibles con la velocidad biológica de recuperación de los suelos (Pengue 2010).

3.- BIOFERTILIZANTES

En contraste con los fertilizantes químicos, se encuentran los denominados biofertilizantes o inóculos microbiológicos, que son obtenidos de fuentes naturales. Su función principal es la de mejorar la fertilidad del suelo y la salud de las plantas; teniendo como consecuencia la adición de nutrientes, promotores de crecimiento y la protección contra enfermedades (Nosheen et al. 2021). Por lo anterior, es importante conocer qué microorganismos están presentes, qué efectos tienen sobre las plantas y qué nutrientes requieren, puesto que, al liberarse sobre un cultivo agrícola, se consideran como biofertilizantes. Kumar et al. (2022) catalogan los diversos biofertilizantes de acuerdo con su aportación a los ciclos nutrimentales de la planta.

Según su función, encontramos a los biofertilizantes fijadores de nitrógeno de vida libre (*Azotobacter* sp., *Clostridium* sp.), de vida asociativa (*Azospirillum* sp.), o simbióticos (*Rhizobium* sp., *Trichodemium* sp.). Por otro lado, están los microorganismos movilizados de fosfato (*Bacillus circulas*, *B. subtilis*), solubilizadores de zinc (*Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp.), movilizados de potasio (*Aspergillus brasiliensis*, *Bacillus* sp.), oxidantes de azufre (*Thiobacillus* sp.), promotores del crecimiento de la planta (*Bacillus*, *Erwinia*, *Pseudomonas* sp., *Stenotrophomonas*, *Xanthomonas*), procesamiento de micronutrientes (*Thiobacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp.) (Kumar et al. 2022), (Figura 1).

La zona inmediata a las raíces tiende a presentar una gran cantidad de microorganismos relacionados con la misma, a esa región se le denomina rizosfera. Esta puede incluir microorganismos de vida libre o en estrecha relación con las células vegetales, que conforman sistemas complejos de comunicación y retroalimentación. Es tal la complejidad de la simbiosis que, en muchos casos, es imposible separar al microorganismo de la célula de la raíz, convirtiéndolo en un espécimen difícil de estudiar (Blackstone, N. W. 2020).

En cuanto a la movilización de fósforo, la función principal de los microorganismos es la de acidificar el suelo mediante la liberación de ácidos orgánicos, transformando el fósforo en una forma soluble y asimilable por las plantas (Adesemoye y Kloepper 2009). El efecto secundario de la acidificación del suelo es la liberación microbiológica de hierro y zinc. Los ejemplos más relevantes de este grupo son, dentro de las bacterias, los géneros de *Bacillus*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, y *Rhizobium* (Nosheen et al. 2021). Estos géneros de microorganismos también liberan enzimas que controlan las poblaciones de fitopatógenos.

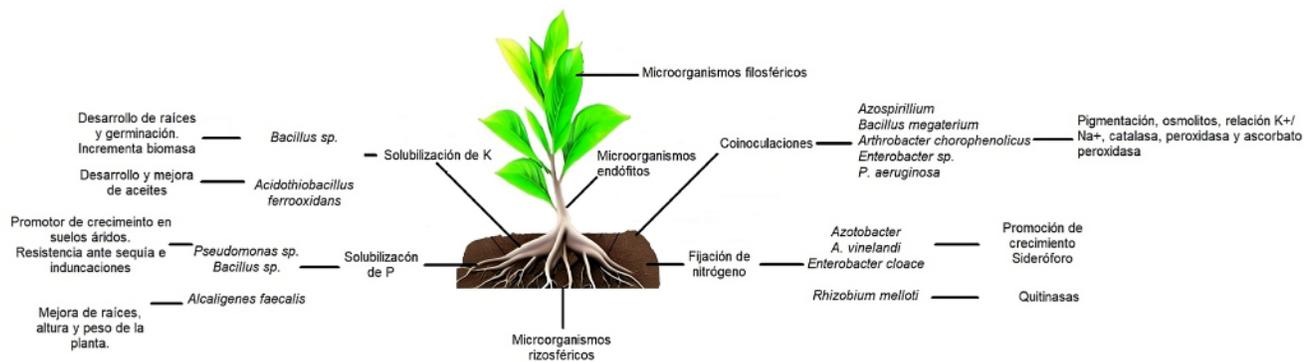


Figura 1. Nomenclatura de los microbiomas de la planta y ejemplos de simbiontes y sus funciones (Galindo Martorell, 2023).

Si bien la mayoría de los biofertilizantes descritos son bacterianos y fúngicos, también existen los basados en algas. Ese grupo se caracteriza por realizar la fotosíntesis, metabolizar el carbono y aportar oxígeno. La aplicación de algas macro y microscópicas, como biofertilizantes, dependiendo de la especie y la dosis aplicada, suele tener efectos que incluyen el aumento de la porosidad del suelo, la retención de agua, la producción de hormonas vegetales, vitaminas y aminoácidos (Collahuazo-Reinoso y Araujo-Abad 2019). Como ejemplo tenemos macroalgas marrones, que aportan nitrógeno, potasio, fósforo, carbohidratos, reguladores del crecimiento vegetal, resistencia al congelamiento, tolerancia a la salinidad, y resistencia ante hongos, bacterias y virus. Además, se encuentran las macroalgas rojas, que aportan elementos traza; así como la presencia de algas verdeazules (Sharma 2020), que fijan de 18 a 45 kg N / ha dentro de plantíos sumergidos de arroz, aunado a la producción de promotores del crecimiento.

3.1.- Interacción planta microorganismo

La interacción entre plantas y microorganismos puede ser muy específica y depende de los organismos y de los metabolitos que intervienen. A veces, esta regulación está guiada por los microorganismos, como en el caso de *Bacillus velezensis* que obliga a la interacción mediante moléculas de RNA (Fan et al. 2015). Las interacciones de microorganismos más estudiadas son dedicadas a la utilización del fósforo, nitrógeno, zinc y azufre (Nosheen et al. 2021). El proceso de solubilización que emplea los ácidos orgánicos se basa en la extrusión de protones, también conocido como el transporte activo o expulsión de iones de hidrógeno con carga positiva (Park et al. 2009), mientras que la quelación, que consiste en la captación de metales por parte de moléculas orgánicas o inorgánicas, se efectúa gracias a la secreción de moléculas que tienen en su estructura química grupos glucónicos o cetoglucónicos.

El azufre se procesa mediante su oxidación, forma en la que las plantas lo pueden metabolizar (Pourbabae et al. 2020). Por otra parte, el zinc se solubiliza al ser capturado por iones quelantes y procesado por los microorganismos oxido-reductores (Kamran et al. 2017).

3.2.- Situación actual del uso de biofertilizantes

La población moderna cada vez tiende a solicitar una mayor cantidad de productos orgánicos libres de fertilizantes químicos y sustancias sintéticas. Situación que conlleva al cambio sustancial en las formas en las que la agricultura se desarrolla. Lenta, pero firmemente, los biofertilizantes se han comenzado a popularizar entre los agricultores por la propia demanda de los consumidores y las normativas globales (Figura 2).

MERCADO DE BIOFERTILIZANTES POR REGIÓN (BILLONES DE DÓLARES)

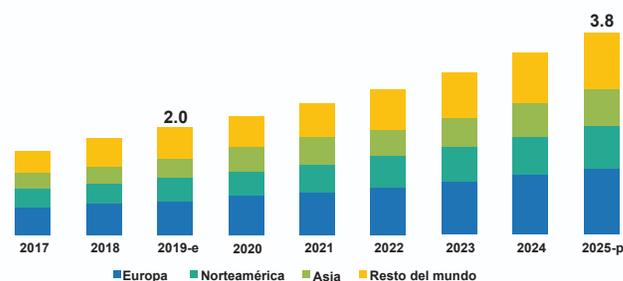


Figura 2. Valor global del mercado de biofertilizantes en años anteriores y proyección. (Editada de Research and markets. 2023).

Si bien el mercado se está abriendo a la opción biológica de los fertilizantes, aún es complicado que una mayoría de agricultores acepte eliminar el uso de fertilizantes químicos. No obstante, hasta el 2014 la demanda de estos productos ha aumentado firmemente, se estima que para el año 2025 el mercado crecerá en un 13%, alcanzando un valor global en \$4.09 billones de dólares. Entre los organismos con mayor demanda

encontramos: *Agrobacterium radiobacter*, *Azospirillum sp.*, y *Bacillus subtilis*, según el reporte de Research and Markets del 2021. Actualmente, existen más de 50 productos exitosos a nivel continental (Tabla 1).

Tabla 1. Biofertilizantes de mayor relevancia aplicados y el producto comercial

Tipo de biofertilizante	epa P	roducto comercial
Fijación de nitrógeno	<i>Azotobacter chroococcum</i>	Bioazato, Bhoomi, Rakshka, Azonik
	<i>Azotobacter vinelandii</i>	
Solubilizador/ movilizador de fosfato	<i>Azospirillum lipoferum</i>	Green plus, Biospirillum
	<i>Glunooacetobacter diazotrophicus</i>	Sugar-plus
Solubilizador de potasio	<i>Pseudomonas striata</i>	P sol B
	<i>Bacillus megaterium</i>	
Solubilizador de zinc	<i>Bacillus mucilaginosus</i>	Bio-NPK, Biopotash
	<i>Thiobacillus thiooxidans</i>	Zn sol B
	<i>Delftia acidovorans</i>	S sol B
Promotor de crecimiento	<i>Pseudomonas chlorapsis</i>	Cedomon

Modificado de Kumar et al. (2022)

Por otra parte, el desarrollo de los biofertilizantes promueve el interés en el estudio de las interacciones entre las plantas y su microbioma, como la investigación mencionada sobre *B. velezensis* u otros como la tolerancia al estrés mediada por el metabolismo de *polihidroxitirato* por *M. extorquens* (Pirttilä et al. 2021). Estos dos casos ejemplifican que es necesario profundizar en el estudio de las interacciones entre las plantas y los microorganismos que rodean. Este conocimiento y el desarrollo de biofertilizantes mejorará la producción de alimentos, así como el bienestar del ecosistema.

3.3.- Perspectivas del uso de biofertilizantes

Actualmente, se están estudiando consorcios de microorganismos, combinaciones para replicar lo que sucede en la naturaleza entre los microorganismos de los suelos y las plantas. Respecto a esto, se han realizado avances significativos en el desarrollo de nanopartículas biofertilizantes (Singh 2015), que consiste en la liberación del biofertilizante en las cantidades mínimas necesarias. Los biofertilizantes se acoplan a nanopartículas de aluminio, oro o plata, y posteriormente son liberados en soluciones acuosas controladas en el suelo donde habitan las plantas. Esto hace que la internalización de los nutrientes y los simbiontes acoplados al metal sea más fácil y eficiente que de forma foliar (Zambrano-Mendoza et al. 2021).

Por otra parte, se ha estado trabajando en la inducción de tumores benignos en plantas no susceptibles a desarrollar nódulos simbióticos (Walker et al. 2013) y así favorecer la fijación de nitrógeno y la síntesis de floroglucinol. Esta metodología ha surgido a partir de estudios relacionados con cepas de *Agrobacterium* y *A. tumefaciens*. De los estudios se ha concluido que al aplicar esta tecnología se puede revertir un estado anómalo en la salud del cultivo al facilitar

la metabolización de ciertos nutrientes y el almacenamiento vegetal de agua.

4. CONCLUSIONES

A pesar de que los biofertilizantes llevan ya muchos años siendo estudiados y aplicados, el impacto que tienen en la agricultura comercial a nivel mundial sigue siendo superado por los fertilizantes químicos. El mercado que se ha proyectado por los analistas económicos para estos productos se encuentra creciendo lentamente, pero al ser apoyados por legislaciones locales de cada país, estos tienen mayor relevancia año tras año. Con el paso del tiempo, se desarrollan mejores y diversas técnicas con la finalidad de fertilizar los campos de cultivo mediante el uso de microorganismos simbióticos. Cada una de estas técnicas surge como respuesta a necesidades específicas de cada suelo, entendiéndose que para determinar las carencias y beneficios del mismo es necesario ejecutar un estudio del suelo detallado, y así elegir qué biofertilizante es el que mejor se adecúa al ecosistema en cuestión. La técnica de aplicación debe ser elegida según la necesidad del campo, así como la capacidad económica del agricultor, ya que el propósito final de la aplicación del biofertilizante es el incremento de las ganancias económicas al mismo tiempo que se reduce el impacto ambiental.

5.- AGRADECIMIENTOS. P.G.M. Agradezco a mí esposa la Bióloga Ileana Zapata Jiménez que en todo momento me apoyó e incentivó a continuar con este y otros proyectos. Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Querétaro que aportó todos los recursos necesarios para lograr este documento, proyecto FNB202207. Agradecemos los comentarios y sugerencias de los dos revisores anónimos que enriquecieron este escrito.

6.- BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Carpio C, Alcantara Jiménez JA, Leyva Bautista S, Ayvar Serna S, Díaz Villanueva GE. 2019. Rendimiento y rentabilidad de genotipos de papaya en función de la fertilización química, orgánica y biológica. *Remexca*. 10(3):575-84
- Adesemoye, A. O., & Kloepper, J. W. (2009). Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(1), 1-12
- Bhatt, M. K., Labanya, R., & Joshi, H. C. (2019). Influence of long-term chemical fertilizers and organic manures on soil fertility a review. *Universal Journal of Agricultural Research*, 7(5), 177-188.
- Blackstone, N. W. (2020). Chemiosmosis, evolutionary conflict, and eukaryotic symbiosis. *Symbiosis: Cellular, Molecular, Medical and Evolutionary Aspects*, 237-251.

- Collahuazo-Reinoso Y, Araujo-Abad S. 2019. Producción de biofertilizantes a partir de microalgas. *CEDAMAZ*. 10(2):75–80
- David, W. O. P. (2017). Reducción de la fertilización edáfica con aplicación de fertilizantes foliares en cultivo de arroz. Universidad Agraria del Ecuador
- Eder, A., Salhofer, K., & Scheichel, E. (2021). Land tenure, soil conservation, and farm performance: An eco-efficiency analysis of Austrian crop farms. *Ecological Economics*, 180, 106861
- Fan B, Li L, Chao Y, Förstner K, Vogel J, et al. 2015. dRNA-Seq Reveals Genomewide TSSs and Noncoding RNAs of Plant Beneficial Rhizobacterium, *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. *PLoS ONE*. 10(11): e0142002
- Corrales, J. (2022). Gibaja, J. F.; Ibáñez, J. J. y Mozota, M. 2021: ¿Qué sabemos de? El Neolítico. CSIC y Catarata, Madrid. *Revista Atlántica-Mediterránea de Prehistoria y Arqueología Social*, 24, 140–143.
- Jiménez Ortiz MM, Gómez Álvarez R, Oliva Hernández J, Granados Zurita L, Pat Fernández JM, Aranda Ibañez EM. 2019. Influencia del estiércol composteado y micorriza arbuscular sobre la composición química del suelo y el rendimiento productivo de maíz forrajero (*Zea mays* L.). *NS*. 11(23):165–97
- Kamran S, Shahid I, Baig DN, Rizwan M, Malik KA, Mehnaz S. 2017. Contribution of zinc solubilizing bacteria in growth promotion and zinc content of wheat. *Front. Microbiol*. 8:2593
- Kumar S, Diksha, Sindhu SS, Kumar R. 2022. Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences*. 3:100094
- Martínez-Gutiérrez A, Zamudio-González B, Tadeo-Robledo M, Espinosa-Calderón A, Cardoso-Galvão JC, Vázquez-Carrillo MG. 2022. Rendimiento de híbridos de maíz en respuesta a la fertilización foliar con bioestimulantes. *Remexca*. 13(2):289–301
- Niu J, Liu C, Huang M, Liu K, Yan D. 2021. Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives. *J. Soil Sci. Plant Nutr*. 21(1):104–18
- Nosheen S, Ajmal I, Song Y. 2021. Microbes as biofertilizers, a potential approach for sustainable crop production. *Sustainability*. 13(4):1868
- Park KH, Lee CY, Son HJ. 2009. Mechanism of insoluble phosphate solubilization by *Pseudomonas fluorescens* RAF15 isolated from ginseng rhizosphere and its plant growth-promoting activities. *Lett. Appl. Microbiol*. 49(2):222–28
- Pengue, W. A. (2010). Agricultura mundial, suelo virtual y agrocombustibles. *Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible (CUIDES)*, (4), 125-158.
- Peralta DEA. 2018. Evaluación de tres dosis de fertilizante quelatado en tres híbridos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Undergraduate thesis
- Pirttilä AM, Mohammad Parast Tabas H, Baruah N, Koskimäki JJ. 2021. Biofertilizers and biocontrol agents for agriculture: how to identify and develop new potent microbial strains and traits. *Microorganisms*. 9, 817:
- Prasad R, and Shivay Y, S. (2021). Enhanced Efficiency Fertilizers or Slow-Release and NI/UI Blended Nitrogen Fertilizers. *Indian Journal Fertilisers* 17(4): 316-315.
- Pourbabae AA, Koohbori Dinekaboodi S, Seyed Hosseini HM, Alikhani HA, Emami S. 2020. Potential Application of Selected Sulfur-Oxidizing Bacteria and Different Sources of Sulfur in Plant Growth Promotion under Different Moisture Conditions. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*. 51(6):735–45
- Research and Markets 2021. <https://www.researchandmarkets.com/reports/5390494/global-biofertilizers-market-2021-2025-7>.
- Reed, C. A. (Ed.). (2011). *Origins of agriculture*. Walter de Gruyter
- Rodríguez-Herrera SA, Salgado-Ramírez O, García-Rodríguez JG, Cervantes-Ortiz F, Figueroa-Rivera MG, Mendoza Elos M. 2020. Fertilización química y orgánica en avena: rendimiento y calidad de la semilla. *Agron. Mesoam*. 567–79
- Salazar Hidalgo, K. N. (2022). La fertilización edáfica y su impacto en la agricultura moderna (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022).
- Sharma P. (2020). Role of biofertilizer (BGA) y nitrogenous fertilizer on grain yield, nitrogen content y nitrate reductase activity of two rice (*Oryza sativa*) varieties jaya y sarju-52. *G-Journal of Environmental Science and Technology*
- Singh, A., Singh, N. B., Hussain, I., Singh, H., & Singh, S. C. (2015). Plant-nanoparticle interaction: an approach to improve agricultural practices and plant productivity. *Int J Pharm Sci Invent*, 4(8), 25-40
- Zambrano-Mendoza, J. L., Sangoquiza-Caiza, C. A., Campaña-Cruz, D. F., & Yáñez-Guzmán, C. F. (2021). Use of biofertilizers in agricultural production. *Technology in Agriculture*, 193.
- Walker, V., Bruto, M., Bellvert, F., Bally, R., Muller, D., Prigent-Combaret, C. & Comte, G. (2013). Unexpected phytostimulatory behavior for *Escherichia coli* and *Agrobacterium tumefaciens* model strains. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 26(5), 495-502.