

Estudio bibliométrico sobre biofertilizantes en México durante el período 2015-2020 Bibliometric study on biofertilizers in Mexico during the period 2015-2020

Andrés Eduardo Coutiño-Puchuli^{1*} , Maida Daylin Peña-Borrego²  y
Zoe Tamar Infante-Jiménez¹ 

¹ Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Avenida Francisco J. Múgica s/n, Ciudad Universitaria. 58030 Morelia, Michoacán, México

* Autor para correspondencia (andres.puchuli@umich.mx)

² Departamento Ciencias de la Información, Universidad de Holguín. Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca. 80100 Piedra Blanca, Holguín, Cuba.
Editor de Sección: Dr. Luis Alfredo Rodríguez Larramendi

RESUMEN

Se caracteriza el comportamiento de la investigación científica sobre biofertilizantes en México, según publicaciones en revistas científicas nacionales y extranjeras, durante el período 2015-2020. La investigación se centró en la interpretación de estos artículos, en idioma inglés y en español, publicados en bases de datos científicas: Ebsco, Elsevier, Springer, Scielo, Willey y Redalyc, para el análisis de indicadores bibliométricos. Se determina la productividad por año, autores, revistas, instituciones, colaboraciones entre países y estados mexicanos, en temáticas relacionadas con el empleo de microorganismos por cultivo agrícola, marcas de biofertilizantes y variables e indicadores econométricos. Dentro del período se publicaron un total de 115 artículos, para un promedio anual de 19 artículos; destacándose el año 2020 como el más productivo con 40 artículos. Los autores con mayor liderazgo en las publicaciones fueron, Arturo Díaz Franco Santacruz y Cid Aguilar Carpio. Las revistas científicas, reservorio del mayor número de estos artículos, son Terra Latinoamericana y Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Las principales instituciones mexicanas que desarrollan estas investigaciones son el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y el Colegio de Posgraduados. Estados Unidos de América, es el país que más colabora estando representado en cinco estados mexicanos. Primaron las investigaciones en maíz, variedades de ají, tomate, trigo y sorgo, estando presentes en más de seis artículos. De 33 marcas de biofertilizantes analizadas durante el período, la marca Micorriza INIFAP® fue aplicada en más del 27% de los cultivos donde se emplearon biofertilizantes comerciales. Los microorganismos más empleados, pertenecieron a los géneros *Glomus*, *Pseudomonas*, *Bacillus* y *Azospirillum* sp. La mayoría de los trabajos de investigación sobre biofertilizantes, se desarrollan en áreas de la agronomía, la biología y ciencias ambientales, específicamente sobre estudios de casos en algún cultivo agrícola, encontrándose escasos trabajos en el área de la administración o comercialización.



Cita recomendada:

Coutiño-Puchuli, A. E., Peña-Borrego, M. D., & Infante-Jiménez, Z.T. (2023). Estudio bibliométrico sobre biofertilizantes en México durante el período 2015-2020. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-14. e1449. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1449>

Recibido: 11 de febrero de 2022.
Aceptado: 27 de septiembre de 2022.
Artículo. Volumen 41.
Enero de 2023.

Palabras clave: bioproductos, indicadores métricos, microorganismos, producción científica.

SUMMARY

We characterized the trend of scientific research on biofertilizers in Mexico based on publications of national and foreign scientific journals during the 2015-2020 period. Our study consisted on the interpretation of research articles (in English and Spanish) published in the following scientific databases: Ebsco, Elsevier, Springer,

Scielo, Wiley and Redalyc, for the analysis of bibliometric indicators. Productivity was determined by year, authors, journals, institutions, and collaborations between countries and Mexican states, on issues related to the use of microorganisms by agricultural crop, biofertilizer brands, and econometric variables and indicators. Within the evaluated period, a total of 115 research articles were published, with an annual average of 19 research articles. The most productive year was 2020, with 40 research articles. The authors with the greatest leadership in publications were Arturo Díaz Franco Santacruz and Cid Aguilar Carpio. The scientific journals that published the greatest number of these research articles were Terra Latinoamericana and Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. The main Mexican institutions performing the research were the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock Research (INIFAP) and the Postgraduate College. The United States of America is the country that collaborated the most with Mexican states (five states). Research in corn, varieties of chili, tomato, wheat and sorghum prevailed, being present in more than six research articles. Out of 33 brands of biofertilizers analyzed during the period, Micorriza INIFAP® was applied in more than 27% of the crops that used commercial biofertilizers. The most used microorganisms belonged to the genera *Glomus*, *Pseudomonas*, *Bacillus* and *Azospirillum* sp. Most of the research papers on biofertilizers are developed in the areas of agronomy, biology and environmental sciences, specifically in studies treating certain agricultural crop, while there are only few studies in the area of administration or marketing.

Index words: *bioproducts, metric indicators, microorganisms, scientific production.*

INTRODUCCIÓN

Una definición general de biofertilizantes, refiere que estos constituyen materiales orgánicos naturales productos del reciclaje biológico o preparados por el hombre, que aplicados al suelo permiten incrementar la fertilidad o capacidad productiva que sustituye, parcial o totalmente, la fertilización química (Vela-Coyotl, López, Sandoval, Tornero y Cobos, 2018). De ahí que, la interpretación del término biofertilizante es muy amplia, incluye desde microorganismos, abonos verdes y estiércoles, hasta extractos de plantas.

No obstante, una definición dominante entre académicos del tema, consideran a los biofertilizantes como productos que contienen microorganismos, que al ser inoculados pueden vivir asociados o en simbiosis con las plantas y les ayudan a su nutrición y protección (Vessey, 2003). Estos organismos se encuentran de forma natural en el suelo y abarcan diversos grupos; sin embargo, su población puede ser afectada por el manejo de suelo y uso excesivo de agroquímicos (Grageda-Cabrera, Vera, Castellanos y Peña, 2003).

De ahí que se pueda resumir que, los biofertilizantes son producidos a partir de la utilización de microorganismos vivos en biofábricas artesanales o industriales, los cuales son aplicados al suelo, semillas o sobre la superficie de las plantas, para optimizar su crecimiento a través de la mejora de la oferta de los elementos esenciales para los cultivos.

Se plantea que fueron descubiertos por el científico holandés David Salfeld en 1888; sin embargo, su uso comenzó después del lanzamiento de "Nitragin", un inoculante de leguminosas, descubierto por los alemanes Friedrich Nobbe y Lorenz Hiltner con cultivo de rizobios en laboratorio (Markets Reseach Reports, 2021). Un año más tarde, estos autores viajaron para patentar el Nitragin en Estados Unidos (Nobbe y Hiltner, 1896).

Los biofertilizantes mejoran la estructura y la porosidad del suelo, la capacidad de retención de agua y la biodisponibilidad de los nutrimentos (Priyadharsini y Muthukumar, 2014). Los biofertilizantes ofrecen servicios ecosistémicos vitales para la biósfera, como la transformación de la materia orgánica, el ciclo de los nutrientes,

la formación y la aireación de los agregados del suelo, el secuestro de carbono y la regulación del crecimiento de los cultivos y microorganismos fitopatógenos (De Los Santos-Villalobos, Parra, Herrera, Valenzuela y Estrada, 2018).

Los biofertilizantes, además, incrementan la fertilidad del suelo a través de procesos tales como solubilización del fósforo, la fijación de nitrógeno y síntesis de sustancias que ayudan al desarrollo del cultivo (Martínez y Dibut, 2012). Estos procesos son completamente naturales y no causan daño en el medioambiente. Constituyen una alternativa a los fertilizantes químicos, que además de costosos degradan la rizósfera y las características orgánicas y microbiológicas del suelo, merman el oxígeno disuelto y contaminan el ecosistema (Plante, 2007).

En términos de aplicación, los biofertilizantes se pueden aplicar a cereales y granos, frutas y verduras, semillas oleaginosas y legumbres y otros segmentos, incluidos los céspedes de vivero y las plantas ornamentales. El segmento de productos del mercado de biofertilizantes se clasifica como fertilizantes fijadores de nitrógeno, movilizadores de fosfato y movilizadores de potasio (Markets Reseach Reports, 2021).

La diversidad de biofertilizantes y de los cultivos en los cuales estos se aplican, dificultan determinar la producción científica sobre el tema a nivel de país; sin embargo, los estudios bibliométricos, permiten la toma de decisiones respecto al desarrollo de futuras investigaciones; a la par que brindan una noción del estado de las investigaciones para los que deseen introducirse en esta temática. Uno de los trabajos más recientes sobre el comportamiento de la investigación científica sobre biofertilizantes es la realizada en Cuba y comprende el período 2008-2012 (Peña-Borrego, de Zayas y Rodríguez, 2015); y en la cual, se reporta al sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) arroz (*Oryza sativa*, L.), col (*Brassica oleracea*, L.), tomate (*Solanum lycopersicum*, L.), caña (*Sacharum officinarum*, L.), maíz (*Zea mays*, L.), papaya (*Carica papaya*, L.) y canavalia (*Canavalia ensiformis*, (L.) D.C.) como los principales cultivos agrícolas en los cuales se evaluó el empleo de biofertilizantes. Posteriormente estos autores al evaluar el período de investigación 2000-2015 (Peña-Borrego, de Zayas y Rodríguez, 2017¹) informaron que los géneros de microorganismos utilizados como biofertilizantes en Cuba son *Glomus*, *Bradyrhizobium* y *Azospirillum*.

En México, Infante-Jiménez, Ortega y Coutiño (2020), realizaron un trabajo sobre los biofertilizantes como insumos innovadores y sostenibles elaborados en las biofábricas, determinando que la productividad, sostenibilidad y rentabilidad, son los factores más significativos en la producción y comercialización de biofertilizantes.

Más recientemente, Franco-Polo (2021) desde Perú realizó una revisión sistemática del periodo 2011-2021 en revistas científicas latinoamericanas y de España, en la cual analizó las definiciones dadas sobre biofertilizantes. Igualmente, en Colombia llevó a cabo una revisión bibliográfica sobre el tema, en el cual se identificaron los géneros de microorganismos fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fósforo (Beltrán y Bernal, 2022).

No obstante, en México no se encuentran reportes de estudios sobre las publicaciones científicas en biofertilizantes, que permita identificar la dinámica de estas investigaciones.

El presente estudio, tiene como objetivo caracterizar el comportamiento de la investigación científica sobre biofertilizantes en revistas científicas de México, durante el período 2015-2020, mediante el análisis de indicadores bibliométricos para determinar las particularidades de la actividad en el país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se escogieron como unidades de análisis, los artículos científicos publicados en revistas seriadas durante el período 2015-2020, en idioma español e inglés de

¹ Peña-Borrego, M. D., de Zayas-Pérez, M. R., & Rodríguez-Fernández, R. M. (2017). La producción científica sobre biofertilizantes en Cuba durante el período 2000-2015. En 8va. Conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín (pp. 1-9). Holguín, Cuba: Universidad de Holguín.

las bases de datos: Ebsco, Scielo, Redalyc, Elsevier, Springer y Willey. Las palabras claves y términos de búsqueda empleados fueron "biofertilizantes AND México"/ "biofertilizer AND Mexico". El texto de los documentos fue leído cuidadosamente y su lista de referencias bibliográficas examinada para identificar posibles artículos relevantes que no fueron identificados en la búsqueda inicial.

Se seleccionaron los artículos que abordaban explícitamente el tema de la aplicación de los biofertilizantes (a base de microorganismos) a los cultivos y se excluyeron los artículos que trataban aspectos metodológicos, control biológico, empleo de plaguicidas, elaboración de biocombustibles, fitohormonas o al análisis específico de los suelos inoculados. Tampoco, se consideraron los artículos sobre biofertilizantes elaborados a base de macroorganismos como macroalgas, macrohongos o restos de otros organismos. Se descartaron, además, los trabajos de investigadores de otras naciones donde no participaban investigadores mexicanos, y solo aparecía el nombre de México como nota o referencia; así como las revisiones generales sobre biométodos o revisiones de literatura.

A partir de los 115 artículos recuperados, se confeccionó una base de datos en Microsoft Excel conformada por los siguientes campos: título del artículo, autores (se incluyeron todos los autores de cada artículo), institución, estado o entidad federativa, colaboración internacional, revista, año de publicación, microorganismo benéfico, marca del biofertilizante, cultivo agrícola y variables para análisis económico. Para la compilación y procesamiento de los datos se utilizó el software ToolInf (Consultoría BioMundi, 2009); el cual se incorpora como un complemento macro del Excel, es una herramienta de análisis desarrollada por la consultoría BioMundi de Cuba, que permite la homogenización, conteo de datos y confección de matrices con cinco botones, cuatro para realizar diferentes operaciones como conteo de datos desde una misma celda, clasificación de registros y creación de matrices. Cada una de las operaciones trabaja con datos almacenados en una hoja de trabajo Excel y los resultados se muestran en nuevas hojas de cálculo que crea el sistema.

Finalmente, los ficheros obtenidos se llevaron a Ucinet (Analytictech, 2010) y dentro de éste se utilizó el NetDraw (Analytictech, 2011), para la obtención de matrices de co-ocurrencia entre dos variables, lo cual, permitió mapear, editar y analizar matrices sociales y visualizarlas.

Partiendo de la frecuencia absoluta, se analizaron los siguientes indicadores bibliométricos antes empleados por Peña-Borrego *et al.* (2015): productividad por año; productividad por autores; productividad por revistas; productividad por instituciones; colaboraciones entre países y estados mexicanos; microorganismos por cultivo agrícola; principales marcas de biofertilizantes trabajadas en la temática y principales variables e indicadores econométricos empleadas por los investigadores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En México, se manifiesta un alza en la producción de artículos sobre biofertilizantes a base de microorganismos en el período 2015-2020 (Figura 1). En 2016 se registró el menor número de artículos publicados, sin embargo, a partir de ese momento comenzaron a incrementarse las publicaciones que alcanzaron un pico en 2018 (29 artículos) y que después de una recaída en 2019, comenzó a incrementarse nuevamente hasta alcanzar su punto máximo en el 2020 (40 artículos), con más de 30 artículos publicados.

El análisis de la productividad de artículos por años arroja resultados muy similares entre Cuba y México, según se puede revisar en Peña-Borrego *et al.* (2015); en Cuba no se superaron los 30 artículos por año. Estos resultados contrastan con los resultados obtenidos por Franco-Polo (2021), pues este autor reporta uno o dos artículos por año para los biofertilizantes a nivel mundial, cuando sólo para México se reportan siete en un año.

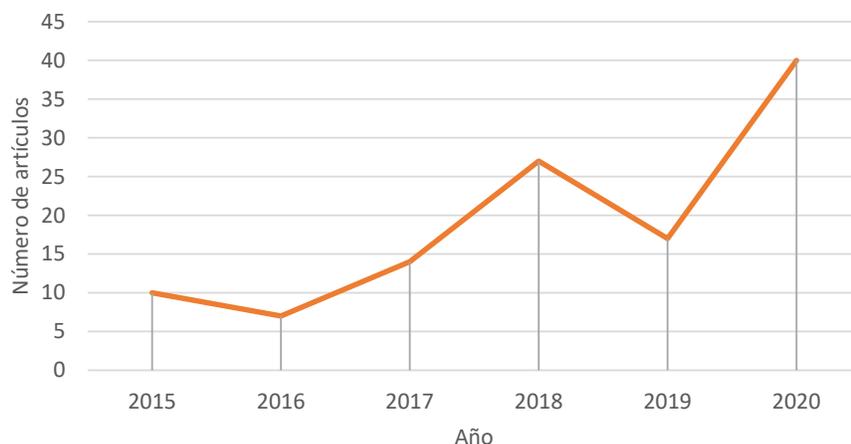


Figura 1. Productividad de artículos científicos mexicanos sobre biofertilizantes por años durante el período 2015-2020.

Figure 1. Productivity of Mexican scientific articles on biofertilizers by year during the 2015-2020 period.

Durante el período 2015-2020, un total de 519 autores, que colaboraron en los 115 artículos, publicaron investigaciones sobre biofertilizantes en México a base de microorganismos, de los cuales el 98.65% publicaron de uno a tres artículos, mientras que sólo el 1.36% editaron de cuatro a seis artículos. Es de significar que en Cuba en un período de cinco años participaron 268 investigadores, alrededor de la mitad del número de autores encontrados para México; aunque en ese país se supera a México en el número de autores con más de cinco publicaciones por año.

Los autores con mayor producción fueron Arturo Díaz Franco Santacruz (Alvarado-Carrillo, Díaz y Alejandro, 2018; Díaz-Franco, Gálvez y Ortiz, 2015; Díaz-Franco, Espinosa y Ortiz, 2016; Díaz-Franco, Ortiz, Grageda y Fernández, 2018a; Díaz-Franco, Aguado, Rosas, Vázquez y Gálvez, 2018b) y Esaú Ruíz Sánchez (consultar su obra en: Cauich, Pérez, Lozano, Garruña y Ruíz, 2018; Chan *et al.*, 2018; Chan *et al.*, 2019; Gamboa-Angulo *et al.*, 2020; Moreno *et al.*, 2020) con cinco publicaciones durante el período de análisis. Ambos autores no publican juntos, cada uno tiene su propia temática de investigación. Arturo Díaz Franco, del INIFAP, publicó principalmente como primer autor, en investigaciones para la biofertilización del sorgo y experimenta con varios microorganismos, en especial el hongo micorrízico *Rhizophagus intraradices*. Esaú Ruíz, del Tecnológico Nacional de México-Conkal, participó como co-autor, en la evaluación de una amplia diversidad de microorganismos, principalmente: *Bacillus*, *Trichoderma*, *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum*, entre otros, particularmente en *Capsicum spp.*

Si se realiza un análisis de la autoría como primer autor, prevalecen como líderes autorales, en el período: Arturo Díaz Franco Santacruz, con cinco artículos y Cid Aguilar Carpio (Aguilar-Carpio, Escalante y Aguilar, 2015a; Aguilar-Carpio *et al.*, 2015b; Aguilar-Carpio, Escalante, Aguilar y Pérez, 2017), del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, con tres artículos de su autoría, dirigidos al estudio del comportamiento en el maíz de *Rhizophagus intraradices* y *Azospirillum brasilense*.

El total de artículos se publicó en 57 revistas, de las cuales las principales revistas sobre la temática son Terra Latinoamericana y Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.

Participaron 67 instituciones mexicanas en las publicaciones de los artículos sobre biofertilizantes, siendo las primordiales el INIFAP, el Colegio de Postgraduados, el Instituto Politécnico Nacional (IPN), la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la Universidad Veracruzana.

En la Figura 2, priman y colaboran intensivamente con el resto de las instituciones el INIFAP y el Colegio de Postgraduados ambas con 23 y 22 artículos respectivamente, que representan en conjunto el 39.1%. Las relaciones más fuertes de colaboración se manifiestan entre el INIFAP y el Instituto Tecnológico de Sonora; y entre el Colegio de Posgraduados y la Universidad Veracruzana.

Las instituciones mexicanas involucradas en estas investigaciones representan a 24 estados mexicanos, siendo el Estado de México y Veracruz las entidades federativas más representadas, con 12 y 10 % de las publicaciones respectivamente. Ocupan el tercer y cuarto puesto los estados Chiapas y Guerrero con 7 y 6 % de las publicaciones mexicanas.

Colaboraron con México en 31.6% de las publicaciones alrededor de 17 países (Figura 3), entre los principales se encuentran los Estados Unidos de América, Chile, Alemania, China y España.

El estado mexicano que más colaboró con otros países fue el Estado de México, ya que se unió con investigadores de instituciones de Estados Unidos de América, Brasil, Alemania, Estonia, China e India, pertenecientes a los continentes América, Europa y Asia. Dichos países, en su mayoría, son los más productivos en solicitud de patentes de biofertilizantes a excepción de Estonia.

En cuanto a Michoacán, tuvo colaboración en las publicaciones con Chile y España, este último país también colaboró con el estado de Chiapas durante el período de investigación. Estados Unidos de América fue el país que más colaboró, representado por cinco estados mexicanos, como fueron Ciudad de México (que es considerada una entidad de la república mexicana), Estado de México, Guanajuato, Guerrero y Oaxaca.

Resultaron objeto de investigación 85 géneros de microorganismos, entre los cuales se destacan por los géneros: *Glomus*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Acaulospora* y *Rhizophagus* (Figura 4), por encontrarse entre 17-36% de las publicaciones. Se puede plantear que en México se muestra un interés por la introducción de innovaciones en la temática de biofertilizantes; a partir de la diversidad de microorganismos objetos de estas investigaciones identificados como bacterias, cianobacterias y hongos.

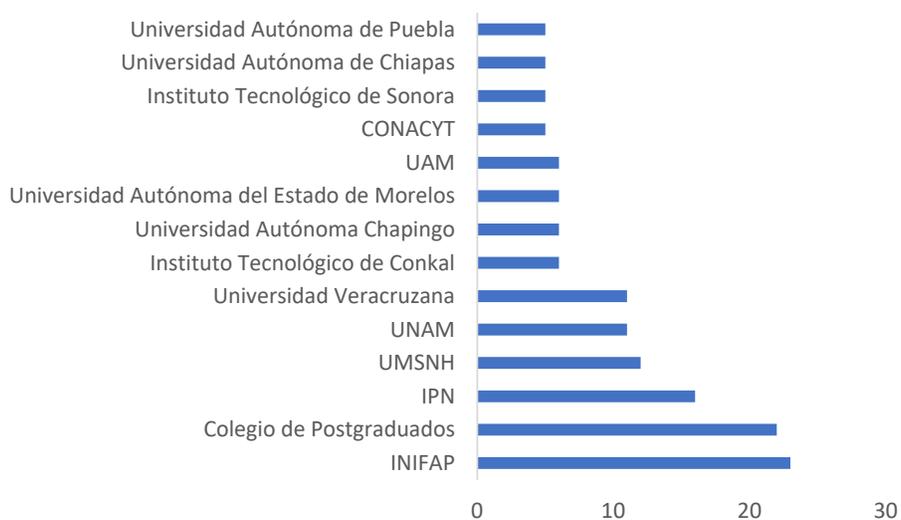


Figura 2. Principales instituciones que publican sobre biofertilizantes en México durante el período 2015-2020.

Figure 2. Main institutions that publish on biofertilizers in Mexico during the 2015-2020 period.

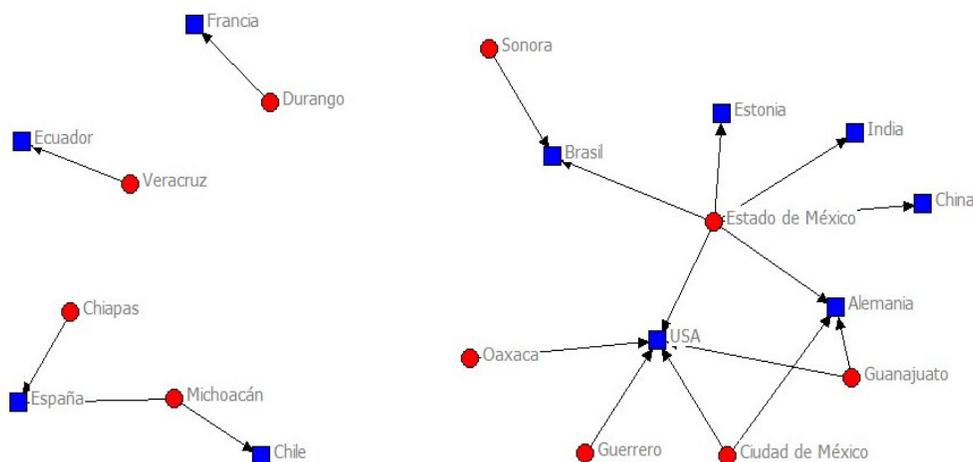


Figura 3. Redes de colaboración internacional con los estados mexicanos sobre biofertilizantes durante el período 2015-2020.
Figure 3. International collaboration networks with the Mexican states on biofertilizers during the 2015-2020 period.

Los microorganismos empleados como biofertilizantes se aplicaron como objeto de investigación en 51 cultivos en México, de ellos se encuentran como principales el maíz (*Zea mays*), tomate (*Solanum lycopersicum*), chile o pimiento (*Capsicum annuum* L.), trigo (*Triticum* spp.), sorgo (*Sorghum bicolor*), café (*Coffea* spp.), calabacita (*Cucurbita pepo* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) (Figura 5). El maíz resultó abordado en el 13.2% de las publicaciones, cuestión que reafirma a este cultivo como símbolo de la cultura agroalimentaria mexicana.

De 33 marcas de biofertilizantes analizadas durante el período de estudio, la marca Micorriza INIFAP® fue aplicada en más de 27% de los cultivos donde se emplearon biofertilizantes comerciales (en 32 artículos se emplearon fertilizantes de marca y en 82 biofertilizantes artesanales). Esto ratifica el movimiento de innovación en la materia más que la extensión de bioproductos ya existentes.

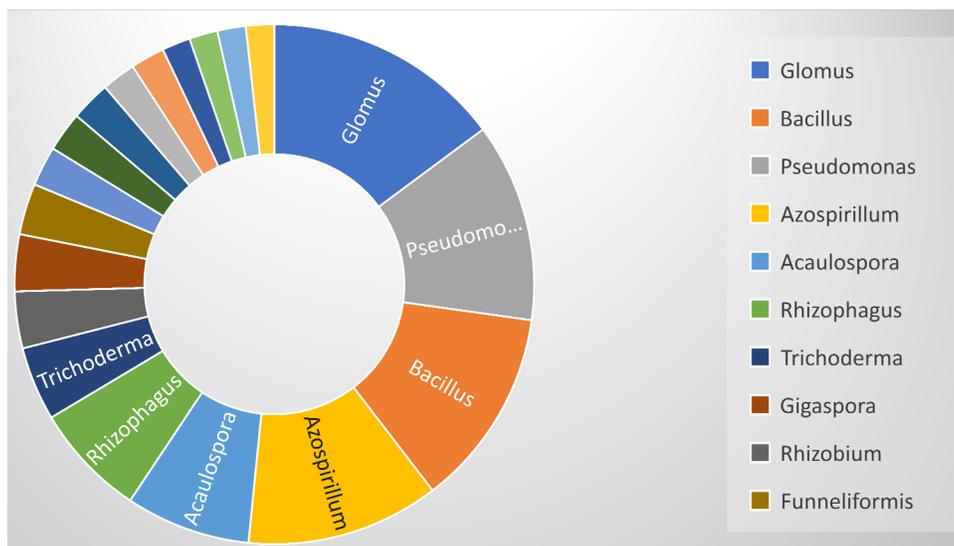


Figura 4. Géneros de microorganismos en biofertilizantes durante el período 2015-2020.
Figure 4. Genera of microorganisms in biofertilizers during the 2015-2020 period.

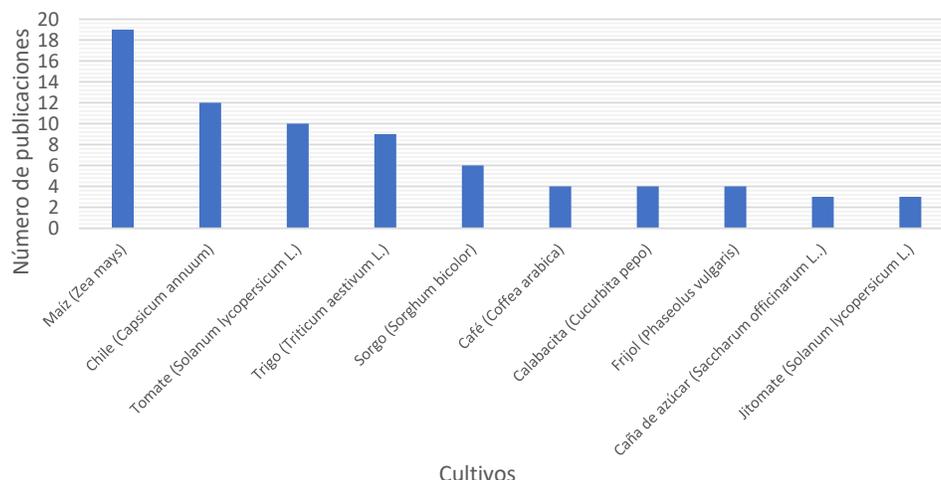


Figura 5. Principales cultivos agrícolas donde se experimentó con biofertilizantes durante el período 2015-2020.

Figure 5. Main agricultural crops with experiments on biofertilizers during the 2015-2020 period.

Las aplicaciones de hongos micorrízico-arbusculares en el campo mexicano tuvieron su mayor impulso a partir del programa masivo desarrollado a partir de 1999 por el INIFAP y la colaboración de la Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal A.C. (FUMIAF A.C.), a través del programa alianza para el campo por lo que se desarrolló un producto biológico Micorriza INIFAP® (Aguirre-Medina, Durán, Peña, Grageda y Irizar, 2012).

El biofertilizante Azofert® se registra en poco más de 9% de las publicaciones científicas. Este bioproducto es un inoculante a base de bacterias del género *Rhizobium*, que se fabricó hace más de 15 años en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas de Cuba.

Otras marcas de biofertilizantes como Trichobio, Biosustenta®, Biofertiup y Baktillis® aparecen en 6% de los estudios, respectivamente (Figura 6). Trichobio se produce por la empresa ecuatoriana Bioamecsa, como su nombre lo indica, está compuesta por el microorganismo *Trichoderma spp.* Biofertiup es producido por la Universidad Autónoma de Puebla, en México. Biosustenta® es una empresa dedicada a la producción de biofertilizantes localizada en Morelia, Michoacán, México que produce biofertilizantes mixtos como el Ferbiliq o a base de un solo microorganismo como el Endomaz, que se formula a partir del *Azospirillum brasilense*. Baktillis es un biofertilizante a base de *Bacillus subtilis* que se genera por la empresa mexicana Biokrone.

“A pesar de las ventajas aparentes que ofrece la inoculación se han comercializado muy pocas formulaciones mixtas, siendo los inóculos basados en un solo microorganismo los que más se producen” (Mendoza y Cruz, 2012). Lo anterior, se corrobora en la presente investigación, ya que sólo los biofertilizantes Halex, Ferbiliq, Bactocrop y Fito-Fertil fueron los biofertilizantes mixtos que se utilizaron en los trabajos del período de análisis.

En México, la producción actual de biofertilizantes se realiza por pequeñas empresas, instituciones de educación e investigación y por el INIFAP, apoyada por el gobierno federal y por gobiernos estatales. A pesar de este desarrollo, la distribución y aplicación a gran escala ha tenido serias dificultades, principalmente por problemas de promoción y distribución (Grageda-Cabrera, Díaz, Peña y Vera, 2012).

Si se analiza la relación entre los cultivos y los microorganismos empleados a partir del análisis bibliométrico (Figura 7), se obtuvo que el maíz es el cultivo en



Figura 6. Marcas de biofertilizantes aplicadas a los cultivos en México durante el período 2015-2020.
Figure 6. Brands of biofertilizers applied to crops in Mexico during the 2015-2020 period.

el cual fueron evaluados diversos géneros de microorganismos. Las líneas más gruesas muestran los microorganismos (respetando el nombre de la especie dado en cada artículo) más evaluados en determinados cultivos. En maíz resultaron *Glomus intraradices* (sinonimia: *Rhizophagus intraradices* o *Rhizophagus irregularis*), *Azospirillum brasilense* y *Azospirillum* sp. y en sorgo se registra al hongo micorrízico

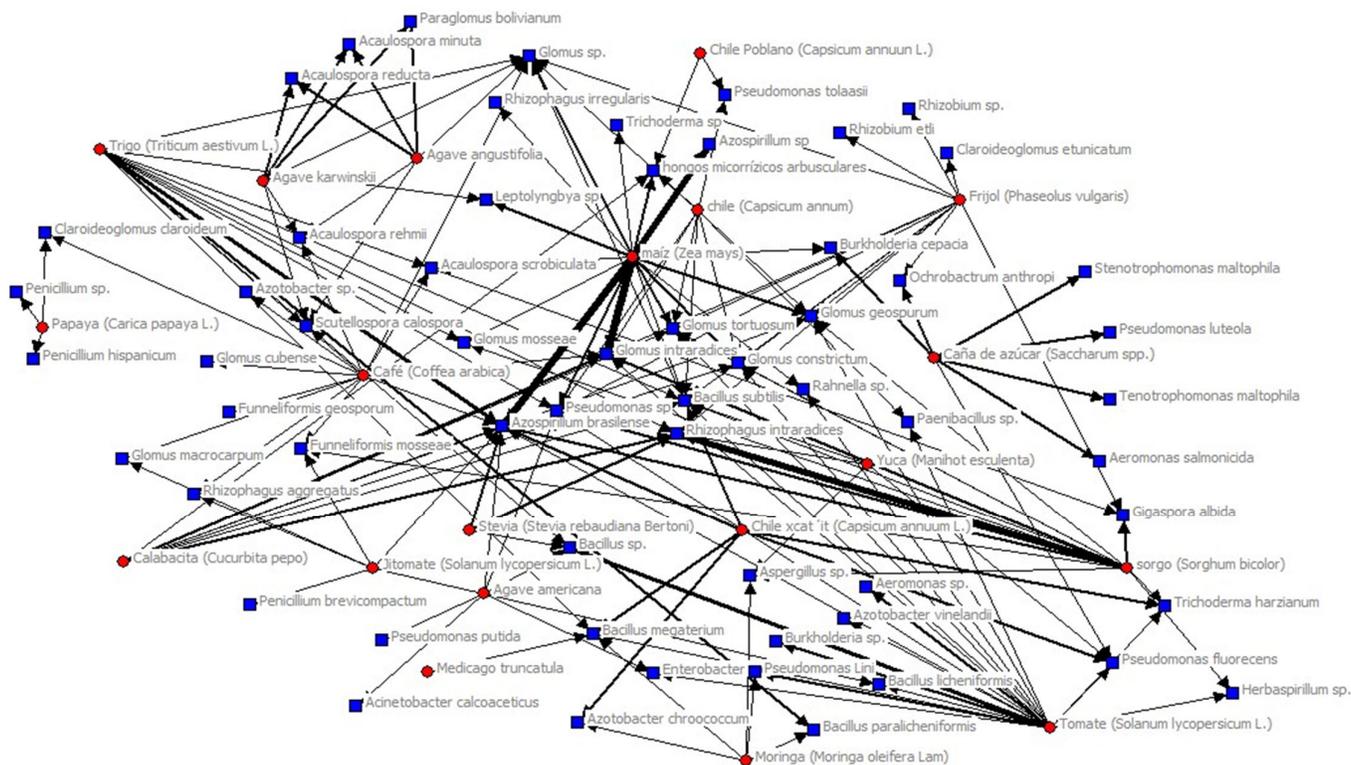


Figura 7. Microorganismos empleados como biofertilizantes por cultivos agrícolas en México durante el período 2015-2020.
Figure 7. Microorganisms used as biofertilizers by agricultural crops in Mexico during the 2015-2020 period.

R. *intraradices*; siendo utilizado igualmente, en diversos cultivos como el maíz, calabacita, yuca (*Manihot esculenta*, Crantz), frijol y café, principalmente.

Diversos géneros de microorganismos aún son potencialmente aprovechables como biofertilizantes y objeto de futuras investigaciones e innovaciones en México, al no aparecer estudio alguno en el país dentro del periodo 2015-2020, que trate muchos de los géneros de microorganismos biofertilizantes, dados por Beltrán y Bernal (2022). Cuando estos autores plantean que, lo que hace a un microorganismo un buen bioinoculante es que sea fácil de producir y formular, funcionalmente estable, seguro, competitivo en la rizósfera, y efectivo bajo un amplio rango de condiciones en campo. Otra cuestión relevante para ellos, es el soporte utilizado, pues debe tener dos propiedades fundamentales: soportar el crecimiento del organismo modelo (planta) y mantener viables las poblaciones microbianas deseables por un periodo.

En el caso de esos microorganismos biofertilizantes en los cuales se investiga muy poco o no se investiga y que consecuentemente implica el insuficiente empleo por parte de los agricultores de los mismos, aparejado al escaso conocimiento y mecanismos de extensión agraria eficientes, minimiza sus posibilidades de uso y explotación para la producción de alimentos. Sin embargo, el uso de la tierra para la agricultura se incrementará para satisfacer las demandas de alimento, cada día más crecientes, según las perspectivas de la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD) y la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO). Por lo tanto, ante la elevación de los precios de los fertilizantes de nitrógeno y fósforo, se deberán tomar acciones agronómicas para incrementar la toma de nutrientes por las plantas, y el uso de inoculantes microbianos es una de las alternativas, lo que estimula el desarrollo de los estudios sobre los microorganismos del suelo (Uribe-Vélez, Sánchez y Vanegas, 2010).

En la Figura 8, se relacionan las variables econométricas empleadas para evaluar los biofertilizantes; entre las cuales el rendimiento, la productividad y la sustentabilidad ocupan entre 19 y 33%, seguidas por la rentabilidad y la eficiencia.

Se puede inferir que, los estudios están enfocados en determinar si los biofertilizantes tienen mejores resultados agronómicos; así como a la conservación de los recursos naturales, como son: fertilidad del suelo, agua, atmósfera y calidad de vida de las personas involucradas en el proceso de producción y de comercialización. Son estudios más agronómicos que buscan el óptimo técnico, más que el óptimo económico. La evaluación económica de la aplicación de biofertilizantes implica considerar la factibilidad de su empleo por los productores o empresas agrícolas.

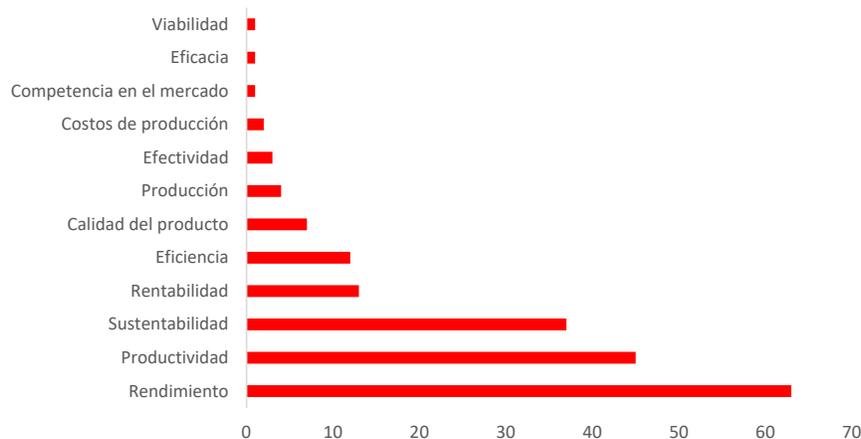


Figura 8. Variables econométricas empleadas en los artículos sobre biofertilizantes en México durante el periodo 2015-2020.

Figure 8. Econometric variables used in research articles on biofertilizers in Mexico during the 2015-2020 period.

Un total de 193 indicadores que tributan a estas variables econométricas fueron medidos por los autores en sus trabajos. Los indicadores econométricos más empleados están relacionados con las variables rendimiento y productividad. Otros indicadores recurrentes son: altura de la planta, diámetro del tallo, área foliar, longitud de la raíz, colonización por parte de los microorganismos, peso de grano, contenido de azúcares y de nutrientes, y como indicador relacionado con la rentabilidad aparece, principalmente, el costo de producción. Si se analiza la relación entre los indicadores empleados por los investigadores para evaluar diversas variables, partiendo de los indicadores presentes en más de cinco artículos científicos (Figura 9), se puede interpretar que el diámetro del tallo, el crecimiento o altura de la planta, el área foliar y el número de hojas, son variables que aparecen con una frecuencia en los artículos sobre biofertilizantes, de 10-20%. Igualmente, es recurrente el empleo de los indicadores como: la colonización micorrízica, en el caso de los biofertilizantes elaborados a partir de hongos micorrízicos arbusculares; el contenido de azúcares; la biomasa y el rendimiento biofertilizante-cultivo. Los indicadores econométricos que miden aspectos como ingresos, costos de producción, relación costo/beneficio; se considera, fueron indicadores aislados en comparación con los indicadores de productividad o rendimiento, encontrándose sólo entre 5-7% de las publicaciones.

CONCLUSIONES

Durante el período 2015-2020, se registró un aumento en la producción de artículos científicos sobre el empleo de biofertilizantes en diversas especies agrícolas en México, resultando el maíz el cultivo más recurrente para este tipo de experimentos. El 98.65% de los autores publicaron entre uno y tres artículos durante el periodo de análisis, debiéndose incrementar la productividad autoral hasta alcanzar una mayor frecuencia de publicación de artículos por año. Las revistas donde más artículos sobre el tema se publicaron fueron, en primer lugar, Terra Latinoamericana con 21 trabajos y la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas con 14.

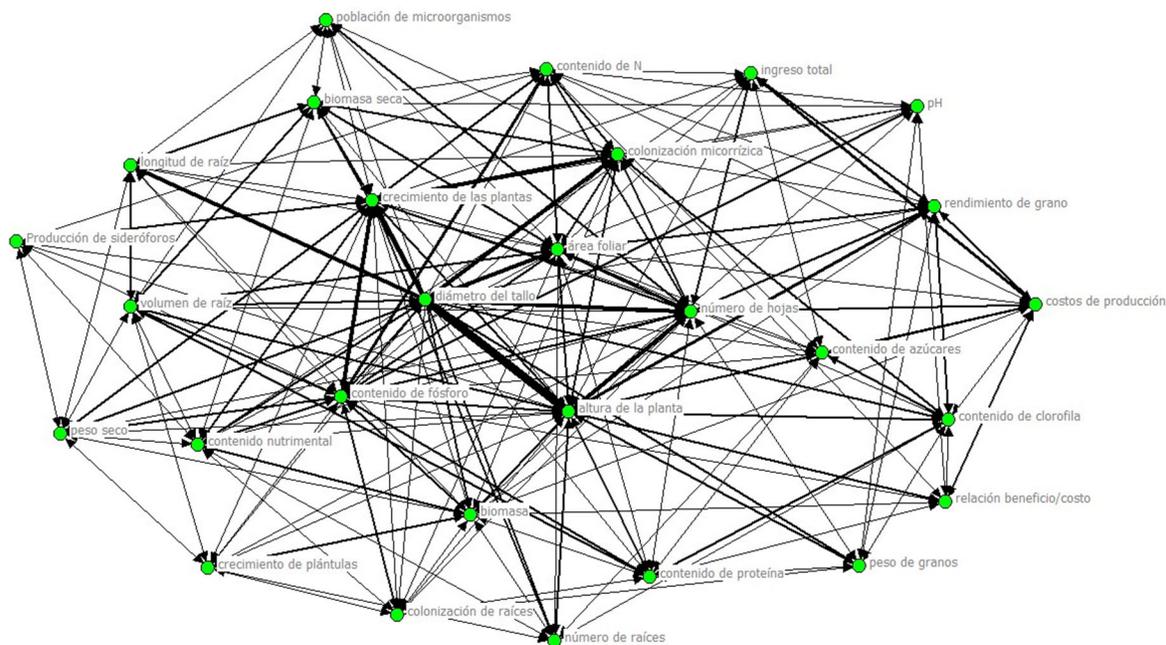


Figura 9. Principales indicadores empleados en los artículos científicos mexicanos sobre biofertilizantes durante el periodo 2015-2020.
Figure 9. Main indicators used in Mexican scientific articles on biofertilizers during the 2015-2020 period.

El INIFAP y el Colegio de Postgraduados publicaron 39.1% de las publicaciones totales del periodo, posicionándose como centros claves de investigación sobre biofertilizantes en México.

Durante el período 2015-2020, colaboraron con México en 31.6% de las publicaciones alrededor de 17 países, siendo los Estados Unidos de América el país que colaboró en más artículos y con más entidades federativas de México. El Estado de México y Veracruz, fueron los estados que más productividad demostraron en las publicaciones.

Es importante significar que en México se muestra un interés por la introducción de innovaciones en la temática de biofertilizantes, a partir de la diversidad de microorganismos objetos de estas investigaciones dirigidas en bacterias, cianobacterias y hongos en un período de seis años.

Resultaron objeto de investigación 85 géneros de microorganismos, entre los que se destacan: *Glomus*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Acaulospora* y *Rhizophagus*, por encontrarse entre 17-36% de las publicaciones. De 33 marcas de biofertilizantes analizadas durante el período de estudio, la marca Micorriza INIFAP® fue aplicada en más de 27% de los cultivos donde se emplearon biofertilizantes comerciales, aunque se conoce que la mayoría de los agricultores producen y emplean en el campo sus propios fertilizantes artesanales, por lo que se requiere una mayor extensión de estos bioproductos en el campo mexicano.

Las variables econométricas más evaluadas en las investigaciones sobre biofertilizantes fueron rendimiento, productividad y sustentabilidad, seguidas de la rentabilidad.

El aporte de la presente investigación es que es un análisis centrado en biofertilizantes a base de microorganismos aplicados a cultivos agrícolas en los estados de México durante un periodo específico, ya que no se encontró otro trabajo similar durante la búsqueda de la elaboración del presente documento. Una de las limitantes del presente estudio es que abarca un periodo de seis años, por lo que puede realizarse una investigación en un período superior a los 10-20 años y ampliarse a macroorganismos.

Recomendaciones. Considerar la factibilidad del uso de biofertilizantes por los productores o empresas agrícolas al realizar la evaluación económica de éstos bioproductos, que permitan obtener información práctica sobre indicadores micro y macroeconómicos sobre la producción, comercialización y empleo de biofertilizantes.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Todos los datos generados o analizados durante este estudio se incluyen en este artículo publicado [y sus archivos de información complementaria].

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FONDOS

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Búsqueda de información, construcción de la base de datos, análisis formal de los datos, investigación: A.E.C.P. Escritura: preparación del borrador, corrección y elaboración de gráficas para la visualización de los resultados: A.E.C.P. Conceptualización, metodología, software y revisión: M.D.P.B. Validación, supervisión y revisión: Z.T.I.J.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y al Departamento de Ciencias de la Información de la Universidad de Holguín, Cuba. Así también al apoyo brindado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

LITERATURA CITADA

- Analytictech. (2010). *UCINET User's Guide* Lexington, KY, USA: Analytictechnologies.
- Analytictech. (2011). *NETDRAW User's Guide, Versión 2.118*. Lexington, KY, USA: Analytictechnologies.
- Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., & Aguilar-Mariscal, I. (2015a). Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 33(1), 51-62.
- Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Mariscal, I., Mejía-Contreras, J. A., Conde-Martínez, V. F., & Trinidad-Santos, A. (2015b). Rendimiento y rentabilidad de maíz en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno, en clima cálido. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18(2), 151-163.
- Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Mariscal, I., & Pérez-Ramírez, A. (2017). Crecimiento, rendimiento y rentabilidad del maíz VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 475-483.
- Aguirre-Medina, J. F., Durán-Prado, A., Peña-del Río, A., Grageda-Cabrera, O., & Irizar-Garza, M. B. G. (2012). Micorriza INIFAP: Biofertilizante para el Campo Mexicano. En G. A. Aguado-Santacruz (Ed.). *Introducción al Uso y Manejo de los Biofertilizantes en la Agricultura* (pp. 219-240). México: INIFAP/SAGARPA. ISBN: 978-607-425-807-3
- Alvarado-Carrillo, M., Díaz-Franco, A., & Alejandro-Allende, F. (2018). Gallinaza, micorriza arbuscular y fertilización química reducida en la productividad de calabacita y pepino. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(2), 273-279.
- Beltrán-Pineda, M. E., & Bernal-Figueroa, A. A. (2022). Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Mutis*, 12(1), 1-18. <https://doi.org/10.21789/22561498.22561771>
- Cauich, R., Pérez-Gutiérrez, A., Lozano-Contreras, M. G., Garruña, R., & Ruiz-Sánchez, E. (2018). Productividad de *Stevia rebaudiana* Bertoni con diferentes láminas de riego e inoculantes microbianos. *Nova scientia*, 10(20), 30-46.
- Chan-Capul, W., Jiménez-Barrera, D. G., Lezama-Gutiérrez, R., Ruiz-Sánchez, E., Pérez-Zamora, O., Buenrostro-Nava, M. T., & Manzo-Sánchez, G. (2019). Screening of nutritional factors through a Packett-Burman experimental design during the solubilization of tricalcium phosphate by *Penicillium hispanicum*. *Acta agronomica*, 68(2), 151-159.
- Chan-capul, W., Juárez-González, M., Ruiz-Sánchez, E., Sánchez-Rangel, J. C., Molina-Ochoa, J., & Galindo-Velasco, E. (2018). Solubilización de fuentes inorgánicas de fósforo por micromicetos aislados de la rizosfera de papaya var. Maradol (*Carica papaya* L.) y su susceptibilidad a herbicidas convencionales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(2), 281-295.
- Consutoria BioMundi (2009). *TOOLINF User's Guide*. Habana, Cuba: Consutoria BioMundi.
- De los Santos-Villalobos, S., Parra-Cota, F. I., Herrera-Sepúlveda, A., Valenzuela-Aragón, B., & Estrada-Mora, J. C. (2018). Colección de Microorganismos Edáficos y Endófitos Nativos, para contribuir a la seguridad alimentaria nacional. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1), 191-202.
- Díaz-Franco, A., Gálvez-López, D., & Ortiz-Cháirez, F. E. (2015). Bioinoculación y fertilización química reducida asociadas con el crecimiento de planta y productividad de sorgo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(3), 245-252.
- Díaz-Franco, A. D., Espinosa-Ramírez, M., & Ortiz-Cháirez, F. E. (2016). Promoción de biomasa y contenido de azúcares en sorgo dulce mediante abonos orgánicos y micorriza arbuscular. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(3), 353-360. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.03.09>

- Díaz-Franco, A., Ortiz-Cháirez, F. E., Grageda-Cabrera, O. A., & Fernández-Cruz, E. (2018a). Nutrición mineral y rendimiento de sorgo inoculado con cepas microbianas en dos agroambientes. *Terra Latinoamericana*, 36(3), 229-238. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.295>
- Díaz-Franco, A., Aguado-Santacruz, A., Rosas-Quijano, R., Vázquez-Obando, A., & Gálvez-López, D. (2018b). Cepas microbianas con potencial para sustituir la fertilización inorgánica de sorgo dulce (*Sorghum bicolor*). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(3), 405-416.
- Franco-Polo, R. (2021). "Biofertilizantes" una revisión sistemática de la literatura científica en los últimos 10 años. *High Tech- Engineering Journal*, 1(1), 90-97. <https://doi.org/10.46363/high-tech.v2i1.4>
- Gamboa-Angulo, J., Ruíz-Sánchez, E., Alvarado-López, C., Gutiérrez-Miceli, F., Ruíz-Valdiviezo, V. M., & Medina-Dzul, K. (2020). Efecto de biofertilizantes microbianos en las características agronómicas de la planta y calidad del fruto del chile xcat'lik (*Capsicum annum* L.). *Terra Latinoamericana*, 38(4), 817-826. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.716>
- Grageda-Cabrera, O. A., Vera-Núñez, J. A., Castellanos, J. Z., & Peña-Cabriales, J.J. (2003). Comparación de métodos para estimar la fijación de N₂ en frijol en condiciones de campo. *Terra Latinoamericana*, 21(1), 65-71.
- Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J. J., & Vera-Núñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1261-1274.
- Harris-Valle, C., Mora-Guzmán, E., Palafox-Rodríguez, M., Pérez-Pacheco, C. K., Mejía-Franco, V., & Vázquez-Flores, Y. (2019). Crecimiento de haba en simbiosis con microorganismos nativos de regiones productoras del norte de Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(3), 243-250.
- Infante-Jiménez, Z., Ortega-Gómez, P., & Coutiño-Puchuli, A. E. (2020). Las biofábricas y su relación con el desarrollo sostenible en Michoacán, México. En: J. Gasca-Zamora, & H. E. Hoffman-Esteves (Coord.). *Factores críticos y estratégicos en la interacción territorial desafíos actuales y escenarios futuros* (pp. 401-418) Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México-Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C.
- Markets Research Reports (2021). *Marketing Research Company, Business Research by MarketsandMarkets*. Consultada el 29 de noviembre, 2021, desde <https://www.marketsandmarkets.com/>
- Martínez-Viera, R., & Dibut-Alvarez, B. (2012). *Biofertilizantes bacterianos*. Playa, Cuba: Editorial Científico-Técnica. ISBN: 13978-959-05-0659-8
- Mendoza-Herrera, A., & Cruz-Hernández, M. A. (2012). Empleo de Azospirillum como biofertilizante. En G. A. Aguado-Santacruz (Ed.). *Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura* (pp. 171-194). Celaya, Guanajuato, México: INIFAP-CIRCE-SAGARPA.
- Moreno-Salazar, R., Sánchez-García, I., Chan-Cupul, W., Ruiz-Sánchez, E., Hernández-Ortega, H.A., Pineda-Lucatero, J., & Figueroa-Chávez, D. (2020). Plant growth, foliar nutritional content and fruit yield of *Capsicum chinense* biofertilized with *Purpureocillium lilacinum* under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae*, 261, 108950. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108950>
- Nobbe, F., & Hiltner, L. (1896). Inoculation of the soil for cultivating leguminous plants (Patente US570813A). United States Patent Office. <https://patentimages.storage.googleapis.com/49/98/c3/5cb3d700750937/US570813.pdf>
- Peña-Borrego M. D., de Zayas-Pérez, M. R., & Rodríguez-Fernández, R. M. (2015). La producción científica sobre biofertilizantes en Cuba en el período 2008-2012: un análisis bibliométrico de las revistas cubanas. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 44-54.
- Plante, A. F. (2007). Soil biogeochemical cycling of inorganic nutrients and metals. In E. A. Paul (Ed.). *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (pp. 389-432). Oxford, United Kingdom: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-047514-1.50019-6>
- Priyadharsini, P., & Muthukumar, T. (2014) Insight into the role of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable agriculture. In P. Thangavel, & G. Sridevi (Eds.) *Environmental sustainability* (pp. 3-37). New Delhi, India: Springer. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2056-5_1
- Uribe-Vélez, D., Sánchez-Nieves, J., & Vanegas, J. (2010). Role of microbial biofertilizer in the development of a sustainable agriculture in the tropics. In P. Dion (ed.). *Soil Biology and Agricultural in the Tropic* (pp. 235-250). Berlin, Germany: Springer. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-05076-3_11
- Vela-Coyotl, M. A., López-Tecpoyotl, Z. G., Sandoval-Castro, E., Tornero-Campante, M. A., & Cobos-Peralta, M. A. (2018). La fertilización órgano-mineral en el rendimiento de haba en suelo e hidroponía en agricultura protegida. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(8) 1603-1614. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.1717>
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers, *Plant and Soil*, 255(2), 571-586.