



Ciencia Latina

Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), noviembre-diciembre 2024,
Volumen 8, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6

**INOCULACIÓN CON MICROORGANISMOS
UNA ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN
DE LECHUGA (*LACTUCA SATIVA*) EN
AMBIENTES HIDROPÓNICOS**

**INOCULATION WITH MICROORGANISMS: AN
ALTERNATIVE FOR THE PRODUCTION OF LETTUCE
(*LACTUCA SATIVA*) IN HYDROPONIC ENVIRONMENTS**

Tatiana Carolina Sánchez Macías

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Gicella Mariana Cabrera Zambrano

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Nicole Andreina Conforme Anzules

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Jennifer Dayana Vera Chevez

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.14909

Inoculación con microorganismos una alternativa para la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) en ambientes hidropónicos

Tatiana Carolina Sánchez Macías¹

tatiana.sanchez2015@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0009-7523-8244>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Gicella Mariana Cabrera Zambrano

gicella.cabrera2015@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-5932-5171>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Nicole Andreina Conforme Anzules

nicole.conforme2016@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1588-7199>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Jennifer Dayana Vera Chevez

jverac2@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-8611-2283>

Universidad Técnica Estatal De Quevedo

RESUMEN

La producción hidropónica de lechuga es una alternativa para minimizar las pérdidas por plagas y enfermedades, pero es necesario buscar alternativas sostenibles de fertilización, por ello el objetivo de esta investigación fue hacer una revisión del uso de inoculación microbiana en la producción de lechuga. Para ello se hizo una revisión sistemática donde se analizaron 180 artículos en bases de datos de revistas de alto impacto como Scopus, Latindex, Scielo, Redalyc y Google académico de los cuales se seleccionaron 23 que destacan las ventajas de la inoculación con microorganismos en la nutrición vegetal de la lechuga. Los resultados revelan que los microorganismos más promisorios para ser usados como inoculantes son las microalgas, bacterias fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo y promotoras de crecimiento, las cuales aportan los nutrientes para alcanzar un óptimo rendimiento, produciendo un menor daño fitosanitario reduciendo los costos, aumentando el rendimiento y garantizando la inocuidad de la lechuga, por lo cual esta es una alternativa de bajo costo y rentable para ser usada en la producción de lechuga bajo ambientes hidropónicos.

Palabras clave: hidroponía, fertilizantes, fósforo, microorganismos, nitrógeno

¹ Autor principal

Correspondencia: tatiana.sanchez2015@uteq.edu.ec

Inoculation with microorganisms: an alternative for the production of lettuce (*Lactuca sativa*) in hydroponic environments

ABSTRACT

Hydroponic lettuce production is an alternative to minimize losses due to pests and diseases, but it is necessary to look for sustainable fertilization alternatives, therefore the objective of this research was to review the use of microbial inoculation in lettuce production. For this purpose, a systematic review was made where 180 articles were analyzed in databases of high impact journals such as Scopus, Latindex, Scielo, Redalyc and Google Scholar, from which 23 articles were selected that highlight the advantages of inoculation with microorganisms in the plant nutrition of lettuce. The results reveal that the most promising microorganisms to be used as inoculants are microalgae, nitrogen-fixing bacteria, phosphorus solubilizers and growth promoters, which provide nutrients to achieve optimum yields, producing less phytosanitary damage, reducing costs, increasing yields and guaranteeing the safety of lettuce, making this a low-cost and profitable alternative to be used in lettuce production under hydroponic environments.

Keywords: hydroponics, fertilizers, phosphorus, microorganisms, nitrogen

Artículo recibido 15 octubre 2024

Aceptado para publicación: 20 noviembre 2024



INTRODUCCIÓN

La lechuga es una de las hortalizas de hoja más consumida en el mundo, la cual posee un alto valor nutritivo (Kim et al., 2016), pero que debido a su alta sensibilidad a plagas y enfermedades su cultivo a campo abierto es restringido (Silva et al., 2018), lo que ocasiona problemas fitosanitario que han obligado a evaluar alternativas de producción como son los cultivos acuapónicos e hidropónicos en ambientes protegido que mejoran la sanidad vegetal e incrementan la producción (Sathyanarayana et al., 2022).

Además de las ventajas desde el punto productivo, el uso de cultivos hidropónicos permite la adaptación de la lechuga a condiciones extremas de salinidad, acidez , altas o baja temperaturas, que pudiesen limitar su producción, así mismo desde el punto de vista ambiental la reducción del uso de agroquímicos, reduce los riesgos de contaminación de suelos y agua, lo que garantiza las propiedades de estos recursos cuya afectación por las actividades antrópicas ha afecta la disponibilidad de suelos y agua de calidad (Majid et al., 2021).

Por otro lado, en el caso de la lechuga que es un cultivo de consumo fresco, la selección de alternativas menos contaminante reduce los riesgos sobre la salud de los consumidores, al reducir la presencia de metales pesados a nivel foliar y minimizar también la prevalencia de patógenos como *Echerichia coli* y *Salmonella* que son causantes de enfermedades gastrointestinales de alto riesgo para la población, incluso en algunos casos ser potencialmente mortales (Elpers et al., 2023).

A nivel nacional son muchas las experiencias de cultivos hidropónicos a base de microalgas, inoculación de bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadores de P, que garantizan la producción del cultivo, disminuyen costos y ayudan a la inocuidad del cultivo, lo que se ha manifestado en plantas con mayor desarrollo foliar y valor nutritivo; y en muchos casos inocuas, lo que además de aumentar su productividad, disminuye los riesgos sobre la salud de los consumidores, generando a los productores un valor agregado, dado que son productos de mayor valor en el mercado (Fontanini et al., 2024).

El éxito de la producción hidropónica está en la selección de una solución nutritiva adecuada (Velázquez-González et al., 2022), las cuales pueden resultar costosas, por lo que se ha evaluado el uso de extractos de plantas (Admane et al., 2023), o a base de microorganismos (Stelluti et al., 2023), cuyos beneficios se basan en la capacidad de los microorganismos o consorcios de ellos para fijar nitrógeno,

solubilizar fósforo, aportar sustancias promotoras de crecimientos como hormonas vegetales y en algunos casos ser antagonistas de insectos plagas o patógenos que pueden afectar al cultivo (Timofeeva et al., 2022).

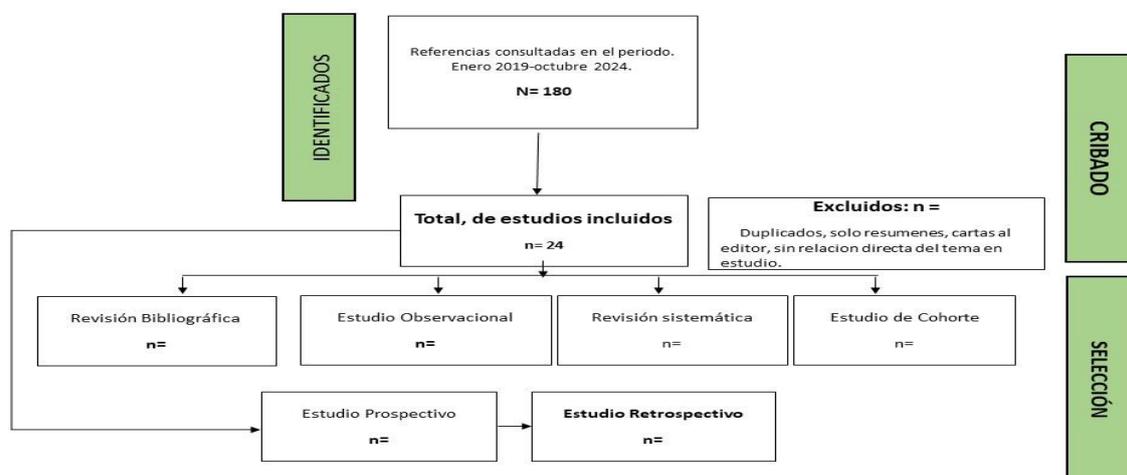
Considerando la importancia de la lechuga y el éxito de la inoculación de microorganismos en otros cultivos, el objetivo de esta investigación fue identificar las diferentes alternativas que existen para lograr un adecuado crecimiento de la lechuga basado en la inoculación con los mismos, identificando los logros alcanzados, los mecanismos que están involucrados en el uso exitosos de las mismas, así como las ventajas y desventajas que pueden limitar el uso de microorganismos de manera masiva en ambientes hidropónicos.

METODOLOGÍA

Ubicación de artículos

Para llevar a cabo la presente investigación se empleó el método de revisión bibliográfica utilizando la técnica de búsqueda documental, que se refiere a la identificación de las diferentes alternativas que existen para lograr un adecuado crecimiento de la lechuga basado en la inoculación con microorganismos. Para lo cual se contactó la existencia de investigaciones similares en sus propósitos, alcances y otros elementos destacables. La revisión sistemática se llevó a cabo en dos fases; la primera referida a la heurística en la que se constataron las fuentes de proveniencia de los hallazgos para poder desarrollar la investigación y una fase hermenéutica para el análisis de los resultados (Figura 1).

Figura 1. Protocolo metodológico para la búsqueda de artículos científicos sobre las diferentes alternativas que existen para lograr un adecuado crecimiento de la lechuga basado en la inoculación con microorganismos



Técnicas empleadas para selección de artículos

La revisión de literatura y la exploración científica fueron minuciosa y detallada. Posterior a la ubicación de las publicaciones, se analizó cada apartado del artículo y se identificaron los elementos relevantes para categorizar cada uno de los elementos para realizar una evaluación directa y detallada de cada artículo, para posteriormente seleccionar la información más importante y realizar las comparaciones pertinentes, mediante el uso de técnica de pregunta PICO.

P (problema) = que dificultades se presentan para lograr un adecuado crecimiento de la lechuga basado en la inoculación con microorganismos.

I (intervenciones) = las diferentes alternativas que existen para lograr un adecuado crecimiento de la lechuga basado en la inoculación con microorganismos.

C (comparación) = Entre el rendimiento de la lechuga usando inoculación con microorganismos con otros métodos de fertilización.

O (resultados) = Desarrollo vegetativo de la lechuga basado en la inoculación con microorganismos.
¿Cuál es la efectividad de la inoculación con microorganismos en el crecimiento y rendimiento de la lechuga?

Criterios de inclusión

Se tomaron en cuenta los artículos que incluyeron texto con una relación al título del contexto a investigar, y estas publicaciones debieron cumplir con los criterios de la investigación, sino que debieron ser desarrollado dentro del periodo de tiempo establecido (enero 2019- octubre 2024). Se tuvo en consideración la terminología en la exploración de información, acotando la búsqueda de hallazgos y resultados anteriores a publicaciones relacionadas con las diferentes alternativas que existen para lograr un adecuado crecimiento de la lechuga basado en la inoculación con microorganismos, el cual fue interceptado en manuscritos científicos ubicados en bases de datos como Google Scholar, Latindex y Scielo; de publicaciones referidas a estos artículos corresponden a los años 2019-2024.

Criterio de exclusión

No se tomaron en cuenta los artículos cuyo contenido difiriera al tema central de este estudio o no hubieran sentido lógico. Se eliminaron las publicaciones que no presentaron de una base científica y bases de datos apropiada para justificar los resultados o que los hallazgos presentados provenían de



productos que no se podían localizar bases de datos verificables, así mismo se excluyeron resúmenes, comunicaciones a congresos y trabajos de grado en cualquier nivel académico.

Interpretación de los hallazgos

La etapa de análisis de los resultados denominada hermenéutica, se llevó a cabo sintetizando información y generando comentarios en base a la información sobre la base teórica, este métodos permite analizar publicaciones de diferentes autores y compararlas en relación a tema de interés, donde se detallan las diversas fuentes que permitieron la recolección de datos desde diferentes perspectivas y estrategias, así como las similitudes y diferencias de diferentes en relación al tema de investigación.

RESULTADOS

De los 180 artículos revisados con relación sobre las diferentes alternativas que existen para lograr un adecuado crecimiento de la lechuga basado en la inoculación con microorganismos, se seleccionaron 23, de los cuales en los 6 primeros abordan las ventajas de la inoculación con bacterias fijadores de nitrógeno en cultivo de lechuga hidropónica (Tabla 1).

Tabla 1. Hallazgos sobre la inoculación con bacterias fijadores de nitrógeno en cultivo de lechuga hidropónica durante el periodo 2018-2023

Título	Autores	Año
Evaluación agronómica de bacterias fijadoras de nitrógeno aisladas de suelos andinos en plántulas de lechuga y tomate.	Pilatuña et al.	2021
Potencial de bacterias asociadas a meliponinos en la promoción del crecimiento de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.).	Pérez-Peralta et al.	2024
Efectos de la fertilización nitrogenada en el cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) en el cantón Pedro Carbo, provincia del Guayas.	Vargas et al.	2023
Producción de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.) con cinco proporciones de macronutrientes en solución nutritiva.	Lara-Herrera et al.	2023
Microorganismos eficientes en la descontaminación de agua subterránea y su implicancia en la producción y calidad de lechuga hidropónica.	Guanito et al.	2021
Comportamiento agroproductivo de la lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.), en diferentes dosis de microorganismo eficiente y distancias entre plantas.	Ross-Ramírez et al.	2023



Platuña et al., 2021, destacan que al utilizar bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico de vida libre aisladas en suelos sembrados encontraron que su capacidad para mejorar tanto el crecimiento de la lechuga, lo que quedó evidenciado en el aumento de los parámetros como altura y número de hojas en las primeras fases en plantas, por lo cual su aislamiento y posterior inoculación es una alternativa viable en ambientes hidropónicos.

Estas ventajas de acuerdo a Pérez et al. (2024), se basa además en su capacidad para fijar N_2 , la posibilidad de producir auxinas y de potenciar el crecimiento vegetativo, en ese sentido se ha evidenciado particularmente, la efectividad de *Bacillus sonorensis* y *Heyndrickxia acidicola* sobre plántulas de lechuga, demostrando su potencial para ser utilizadas como biofertilizantes siendo capaces de promover el crecimiento mediante los mecanismos fisiológicos, lo cual reduce el uso de fertilizantes.

De acuerdo a Guillen et al. (2023) uno de los agroquímicos a reducir con el uso de microorganismos es la urea, el cual es uno de los fertilizantes químicos con mayor uso y aplicación en la agricultura convencional, generando excelentes rendimientos, aplicándose en proporciones adecuadas; pero un exceso puede ocasionar problemas de contaminación, siendo una alternativa el uso de soluciones que contienen *Azotobacter* y *Clostridium*, los cuales son estimulantes que promueve la fijación de Nitrógeno, y otros elementos, de forma natural.

Los resultados mostrados llevan a Lara-Herrera et al. (2023) a concluir que mediante el uso de la hidroponía es posible aumentar el aprovechamiento de los nutrientes por los cultivos; sin embargo es importante que la solución nutritiva (SN) tenga un balance de la debe ser adecuado; de lo contrario se puede afectar negativamente la respuesta de la planta, otra ventaja adicional de acuerdo a Guanito et al. (2031) es que el agua tratada con microorganismos tiene efectos positivos en las características morfológicas, rendimiento y la sanidad de las plantas de lechuga, lo que resulta en una gran alternativa hacia la descontaminación de agua y para la obtención de productos agrícolas inocuos, debido a su pequeño costo y generación de una agricultura más sostenible.

Desde el punto de vista práctico, las bondades de la inoculación con microorganismo en lechuga han sido demostrada por Ross-Ramírez et al. (2023), quienes después de la aplicación de 3 ml de microorganismos eficiente (EM) al 2% cada 15 días, encontraron un efecto positivo en los indicadores de desarrollo de la lechuga, variedad Batavia, siendo uno de los efectos más importante la capacidad de



algunos de los inoculantes de fijar nitrógeno, lo cual reduce el uso de fertilizantes químicos.

Los siguientes 6 artículos abordan las ventajas de la inoculación con bacterias solubilizadoras de fósforo en el cultivo de lechuga hidropónica, cuyos resultados se presentan en la tabla 2 y se discuten posteriormente.

Tabla 2. Hallazgos sobre la inoculación con bacterias solubilizadoras de fósforo en el cultivo de lechuga hidropónica durante el periodo 2018-2023

Titulo	Autores	Año
Bioprospecting a mountain-derived phosphorus-solubilizing bacterium: <i>Bacillus thuringiensis</i> B3 as a plant-growth promoter in lettuce and tomato horticultural crops	Ortega-García et al.	2024
Influence co-inoculation of phosphobacteria and potash solubilizing bacteria on growth, yield attributes, and nutrient uptake in lettuce (<i>Lactuca sativa</i> L.) under greenhouse conditions	Biswas & Shivaprakash	2022
Improving the growth, P uptake and quality characteristics of ‘Lollo Rosso’ lettuce in the nutrient solution by <i>Bacillus subtilis</i> in different phosphorus concentrations	Shabani	2023
Improvement of yield and photosynthetic indices of ‘Lollo Rosso’ lettuce by bacterial biofertilizer at different concentrations of phosphorus under hydroponic culture	Shabani	2021
Enhanced crop productivity and sustainability by using native phosphate solubilizing rhizobacteria in the agriculture of arid zones	Maldonado et al.	2020
Enhancing water status and nutrient uptake in drought-stressed lettuce plants (<i>Lactuca sativa</i> L.) via inoculation with different <i>Bacillus</i> spp. isolated from the Atacama desert.	Santander et al.	2024

Ortega-García et al., (2024) encontraron que el *Bacillus thuringiensis*, aislado y bioprospectado obtenidos en la región montañosa de Cuba, expusieron un alto potencial de solubilización de fosfatos, liberando hasta 16,39 mg mL⁻¹ de PO₄³⁻, el ensayo puso de manifiesto el potencial agrobiotecnológico de la bacteria, demostrando así su capacidad para mejorar la nutrición y la salud de las plantas,



pudiéndose extender no solo para el control de plagas ya que la aplicación de la bacteria incremento la germinación y el crecimiento de raíces en lechuga, lo que apunta a una reducción del 50 % en el uso de fertilizantes sintéticos durante sus primeras etapas de crecimiento.

Por su parte Biswas y Shivaprakash (2022) al evaluar los parámetros de crecimiento como longitud de raíz, longitud de brote, número de hojas, peso fresco y peso seco en seis tratamientos, la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfato reporto la mayor longitud de raíz, longitud de brote, número de hojas, peso fresco y peso seco, por lo cual es una alternativa viable para mejorar los rendimientos de la lechuga en ambiente hidropónico, aumentando los rendimientos y disminuyendo los costos.

Shabani (2023) demuestra las ventajas del uso de bacteria solubilizadoras de fósforos, encontrando una reducción del 25% en el consumo de P en la solución nutritiva (tratamiento de 37,5 mg L⁻¹) en las plantas inoculadas, aumentando las características de calidad de la lechuga en el contenido de flavonoides y vitamina C, los autores reportan también que las concentraciones de P en la raíz y en los brotes, no fueron significativamente diferentes de las de 50 mg L⁻¹, por lo recomiendan dosis de de 37,5 mg L⁻¹ de *Bacillus subtilis* en condiciones hidropónicas para optimizar el crecimiento, las características de calidad y la absorción de P, lo que traerá como consecuencia la disminución del uso de fertilizantes de P.

Igualmente, Shavani (2021) en otro estudio demuestra los efectos benéficos de esta bacteria sobre los índices fotosintéticos, lo cual podría ser consecuencia de su capacidad para aumentar la absorción de fósforo en la lechuga 'Lollo Rosso', lo que incide en su crecimiento, ratificando así que el uso del biofertilizante *B. subtilis* optimiza la absorción de nutrientes, aumenta el desarrollo de las plantas bajo condición de hidroponía y disminuye el consumo de fertilizantes fosforados.

En este mismo orden de ideas Maldonado et al. (2024), encontraron que el contenido de P en las plantas que fueron inoculadas con bacterias aumentó en comparación con el control en los diferentes tratamientos de fertilización, lo que sugiere una mejor absorción de nutrientes. Los autores reportan que la lechuga con un 50% de fertilización e inoculación con los microorganismos igualó la productividad con el control con un 100% de fertilización.

Finalmente los resultados presentados por Santander et al. (2024) mostraron plantas inoculadas con *B. atrophaeus*, *B. ginsengihumi* y *B. tequilensis* demostraron un mayor crecimiento bajo condiciones de

sequía en comparación con las plantas no inoculadas, estos resultados muestran que especies específicas de *Bacillus* del desierto de Atacama pueden mejorar la tolerancia al estrés hídricos en plantas de lechuga, porque promueven rasgos beneficiosos que facilitan la absorción de agua y la absorción de nutrientes, en este caso la solubilización de P, la cual ha sido demostrada en estudios previos mediante la inoculación con el género *Bacillus*.

Los siguientes 6 artículos abordan las ventajas de la inoculación con microalgas en cultivo de lechuga hidropónica cuyos resultados se presentan en la tabla 3 y se discuten posteriormente.

Tabla 3. Hallazgos sobre la inoculación con microalgas en cultivo de lechuga hidropónica durante el periodo 2018-2023

Titulo	Autores	Año
Harnessing the power of microalgae consortia for sustainable crop production: case study on lettuce (<i>Lactuca sativa</i> L.).	Diaz et al.	2024
Transcriptomic profile of lettuce seedlings (<i>Lactuca sativa</i>) response to microalgae extracts used as biostimulant agents.	Santoro et al.	2023
Influence of Microalgae Biomasses Retrieved from Phycoremediation of Wastewaters on Yield of Lettuce, Soil Health, and Nitrogen Environmental Fate.	La Bella et al.	2024
An Innovative Co-Cultivation of Microalgae and Actinomycete-Inoculated Lettuce in a Hydroponic Deep-Water Culture System for the Sustainable Development of a Food–Agriculture–Energy Nexus.	Phatom-aree et al.	2024
The influence of microalgae on vegetable production and nutrient removal in greenhouse hydroponics	Huo et al.	2020
Effects of the supernatant of <i>Chlorella vulgaris</i> cultivated under different culture modes on lettuce (<i>Lactuca sativa</i> L.) growth	Dai et al.	2024

Autores como Diaz et al. (2024) demostraron que microalgas sostenidas de *Chlorella vulgaris* y *Scenedemus obliquus* causan efectos positivos en el desarrollo de la lechuga, estos autores confirman que las microalgas, pueden mejorar la calidad de este cultivo, debido al potencial de las microalgas como bioestimulantes, por lo cual recomiendan su aplicación para mejorar la productividad de los cultivos y enfatizando su papel en la agricultura sostenible.

Santoro et al. (2023) señalan que uno de los mecanismos de acción de las microalgas es que inducen la desregulación de genes lo que codifica pequeñas moléculas análogas a las hormonas que actúan solas o



en interacción con las principales hormonas vegetales, este hallazgo sienta las bases para obtener una lista de posibles genes diana que servirían a la mejora genética de la lechuga, permitiendo un uso limitado o incluso nulo de fertilizantes y pesticidas sintéticos para el manejo de este cultivo.

En este sentido La Bella et al. (2024), llevaron a cabo un ensayo donde hallaron que los tratamientos donde se inocularon microalgas hubo un incremento significativo del crecimiento de la lechuga, especialmente cuando se hizo en combinación con fertilización mineral, en las plantas de control tratadas solo con células de microalgas se encontró una influencia positiva en las actividades biológicas del suelo, demostrado por su aumento del índice bioquímico potencial de fertilidad, por lo que el uso de microalgas puede ser considerado como una estrategia viable para reducir el uso de fertilizantes minerales.

En este mismo orden de ideas Pathom-aree et al. (2024), señalan que el cultivo de microalgas y lechuga inoculada con actinomicetos parece ser un enfoque viable no sólo en cultivo hidropónico de lechuga sino también para la generación de biomasa de microalgas con potenciales aplicaciones en energía renovable, esto de acuerdo a Huo et al. (2020) quienes indican que en ciertos casos la hidroponía se puede mejorar con el cultivo de microalgas, lo que contribuiría a realizar un sistema de producción ecológico y económicamente sostenible.

Además, del crecimiento vegetal Dai et al. (2024) encontraron que la inoculación con microalgas aumenta el contenido de clorofila, azúcares solubles y proteínas solubles en la lechuga cuyos valores son mayores que el del tratamiento de control. Los autores encontraron que en la recolección de las microalgas se producen grandes cantidades de sobrenadante libre de células, el cual aplicaron en un tratamiento obteniendo que el peso fresco de los brotes, raíces y la longitud de las raíces de la lechuga fueron superiores a los del tratamiento de control. Estos resultados indican que el sobrenadante podría promover el crecimiento de la lechuga y era un fertilizante potencial para la siembra de cultivos.

Finalmente, los últimos 5 artículos abordan las ventajas de la inoculación con bacterias promotoras de crecimientos (PGR) en cultivo de lechuga hidropónica cuyos resultados se presentan en la tabla 3 y se discuten posteriormente.



Tabla 3. Hallazgos sobre la inoculación con bacterias promotoras de crecimiento (PGR) en cultivo de lechuga hidropónica durante el periodo 2018-2023

Titulo	Autores	Año
Bacterias promotoras de crecimiento vegetal para incrementar la producción de <i>Lactuca sativa</i> L. en campo.	Martínez et al.	2020
A potential application of <i>Pseudomonas psychrotolerans</i> IALR632 for lettuce growth promotion in hydroponics	Mei et al.	2023
Evaluation of <i>Bacillus</i> spp. as plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in broccoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>) and lettuce (<i>Lactuca sativa</i>).	Acurio et al.	2020
Lettuce growth improvement by <i>Azospirillum argentinense</i> and fluorescent <i>Pseudomonas</i> co-inoculation depends on strain compatibility	Díaz et al.	2023
The role of plant growth-promoting microorganisms (PGPMs) and their feasibility in hydroponics and vertical farming	Dhawi	2023

En primer lugar, Martínez et al. (2020) lograron lechugas de mayor tamaño y biomasa utilizando *Bacillus licheniformis*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas* sp., *Enterobacter. Cloacae* y *Azotobacter vinelandii*, por lo que los autores recomiendan como una buena estrategia para aumentar la producción de *Lactuca sativa*, en las zonas dedicadas a este cultivo, mejorando así el rendimiento obteniendo mayores ganancias económicas y en ambientalmente sostenibles, además de producir cultivos inocuos. Dado los resultados previos autores como Mei et al. (2023) estiman que el uso de bacterias promotoras de crecimiento (PGR) en la producción agrícola, particularmente en la agricultura en ambientes controlados, ha aumentado considerablemente debido a que los PGR se encuentran en la naturaleza, lo que los hace amigables con el medio ambiente, destacando entre las PGR las *Pseudomonas* spp. reciben una atención particular porque pueden colonizar bien las raíces de las plantas, producir varios compuestos que incluyen hormonas vegetales, osmolitos y polisacáridos, e interactuar positivamente con otras bacterias.

Por otra parte, Acurio et al. (2023) observaron que una aplicación semanal de *Bacillus megaterium* aumento de manera significativa el contenido de materia seca, la longitud y el peso de las raíces en lechuga, en comparación con el tratamiento control. Los resultados muestran que podrían considerarse como microorganismos promotores del crecimiento y siendo una alternativa biológica a los fertilizantes

químicos, disminuyendo los costos.

A pesar de las ventajas de la inoculación con PGR, Diaz et al., (2024) señalan que se debe considerar la compatibilidad entre las cepas, pues es un requisito incondicional para lograr el mayor desarrollo del crecimiento de las plantas mediante la inoculación de cepas beneficiosas, dado que está comprobado que la inoculación dual de diferentes especies bacterianas sin ejecutar un estudio de compatibilidad puede impedir el potencial estimulante de las plantas de cepas individuales, lo que a conduce a un rendimiento deficiente del inóculo.

Basados en los resultados encontrados Dhawi (2023), quien afirma que los sistemas sin suelo, como la hidroponía y la agricultura vertical, donde el crecimiento de las plantas es beneficiado por su entorno controlado y óptimo para extraer mayores contenidos de antioxidantes en comparación con los sistemas tradicionales. En los sistemas sin suelo los desafíos relacionados con la disponibilidad de nutrientes podrían resolverse mediante el uso de microorganismos promotores del crecimiento vegetal, por lo tanto, se recomienda su uso en estos sistemas antes de transferir semillas o plántulas para aumentar el crecimiento mediante la mejora en la producción de hormonas vegetales y la utilización de elementos.

DISCUSIÓN

Los resultados fueron discutidos en base a las ventajas de los cuatro inoculantes reportados en la fertilización de lechuga hidropónica como son microalgas, bacterias fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de P y promotora de crecimiento. Tal como se ha reportado en otros cultivos las microalgas mejoran la nutrición mineral al aportar macronutrientes, micronutrientes, con la ventaja adicional de estar libre de patógenos, contaminantes y poseer un bajo tenor salino (Osorio-Reyes et al., 2023).

En el caso de las fijadoras de nitrógeno, éstas al ser de vida libre tienen la ventaja que requieren menos condiciones ambientales para cumplir este proceso en comparación a las bacterias simbióticas que además del efecto de factores abióticos como pH y salinidad del suelo dependen de la interacción con la planta, siendo en muchos casos específicas, siendo el nitrógeno un elemento clave para promover el desarrollo foliar que constituye la parte comercial del cultivo de la lechuga (Sharma et al., 2023).

La inoculación con solubilizadora de P es de vital importancia dado que este elemento es clave en las primeras etapas de crecimiento de la lechuga y es uno de los elementos más limitantes en producción



bajo sustratos orgánicos y en suelos por la fijación del P en complejos orgánicos, al Aluminio o calcio en suelos ácidos o salinos, situación que se evita en cultivo hidropónicos, pero donde la clave es lograr mecanismos que permitan la solubilización de P, particularmente cuando se trabaja con soluciones nutritivas orgánicas, que requieren la solubilización de este elemento (Elbagory et al., 2024).

En relación a las bacterias promotoras de crecimiento, estos microorganismos son capaces de fijar nitrógeno, solubilizar P o incluso ser antagonista de organismos patógenos, adicionalmente presentan la ventaja de que secretan sustancias que promueven el crecimiento de las plantas como hormonas vegetales, que se observa en un mayor peso y tamaño de hoja, como lo han reportado algunos autores en un aumento significativo de los rendimientos de la lechuga (Nurhidayati et al., 2023).

Todas las alternativas mencionadas son viables para la producción sostenible de lechuga y su selección dependerá de la calidad del agua, variedad y condiciones ambiental. En todos casos con cualquiera de ellos se proveerá una mayor nutrición mineral mejor desarrollo vegetativo y rendimiento, debido al aporte de nutrientes, al control de plagas y enfermedades en ambientes protegido, con el valor agregado de reducir costos y garantizar la producción de un producto inocuo, libre de contaminantes y patógenos lo que disminuye los riesgos de afectación de la salud de los consumidores.

CONCLUSIONES

Las bacterias promotoras de crecimiento, fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de P y microalgas son las alternativas más promisorias para ser usadas en la producción de lechuga en ambientes hidropónicos, lo cual garantizan soluciones nutritivas a menores costos, con la ventaja de garantizar mayores rendimientos de los cultivos, la disminución del uso de fertilizantes químicos, lo que disminuye el riesgo de contaminación de suelos.

La ventaja adicional de la inoculación con microorganismos se basa en la inocuidad de la lechuga, dado que las soluciones hidropónicas obtenidas a base de microorganismos están libres de contaminantes y de metales pesados o de bacterias patógenos para los humanos como *Escherichia coli* o Salmonela, lo que disminuye el riesgo de que los consumidores estén expuesto a agentes biológicos que fomenten la prevalencia de enfermedades gastrointestinales potencialmente mortales.

Los inoculantes biológicos que han sido reportado con éxito en otros cultivos y en lechuga en otras condiciones deben ser evaluados, dado que su efectividad dependerá de su adaptación a las condiciones



ambientales y al efecto de factores externos como calidad de agua y la interacción con otros organismos biológicos, que pueden afectar el desarrollo y mecanismos de acción de los microorganismos, bien sea aplicados o inoculados individualmente o formando parte de consorcios microbianos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acurio Vásconez, R. D., Mamarandi Mossot, J. E., Ojeda Shagñay, A. G., Tenorio Moya, E. M., Chiluisa Utreras, V. P., & Vaca Suquillo, I. D. L. Á. (2020). Evaluation of *Bacillus* spp. as plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) and lettuce (*Lactuca sativa*). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3).
https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1465
- Admane, N., Cavallo, G., Hadjila, C., Cavalluzzi, M. M., Rotondo, N. P., Salerno, A., ... & Sanzani, S. M. (2023). Biostimulant formulations and moringa oleifera extracts to improve yield, quality, and storability of hydroponic lettuce. *Molecules*, 28(1), 373.
<https://doi.org/10.3390/molecules28010373>
- Biswas, S., & Shivaprakash, M. K. (2022). Influence co-inoculation of phosphobacteria and potash solubilizing bacteria on growth, yield attributes, and nutrient uptake in lettuce (*Lactuca sativa* L.) under greenhouse conditions. *Intern J Agric Plant Sci*, 4(2), 93-97.
<https://www.agriculturejournal.in/assets/archives/2022/vol4issue2/4-2-36-559.pdf>
- Dai, L., Yu, P., Ma, P., Chen, C., Ma, J., Zhang, J., ... & Tang, T. (2024). Effects of the supernatant of *Chlorella vulgaris* cultivated under different culture modes on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1437374. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1437374>
- Dhawi, F. (2023). The role of plant growth-promoting microorganisms (PGPMs) and their feasibility in hydroponics and vertical farming. *Metabolites*, 13(2), 247.
<https://doi.org/10.3390/metabo13020247>
- Díaz, L. E., González, J. D., Morales-González, M. P., & Garzón-Castro, C. L. (2024). Harnessing the power of microalgae consortia for sustainable crop production: case study on lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Applied Phycology*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s10811-024-03308-9>



- Díaz, P. R., Merlo, F., Carrozzi, L., Valverde, C., Creus, C. M., & Maroniche, G. A. (2023). Lettuce growth improvement by *Azospirillum argentinense* and fluorescent *Pseudomonas* co-inoculation depends on strain compatibility. *Applied Soil Ecology*, *189*, 104969. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104969>
- Elbagory, M., Farrag, D. K., & Doha, N. M. (2024). Effects of PGPR inoculation and Vermicompost on the growth, physiological traits, microbial activity, and yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, *8*(2024), 83-95. <https://dx.doi.org/10.21608/jenvbs.2024.302899.1253>
- Elpers, L., Lüken, L., Lange, F., & Hensel, M. (2023). Factors required for adhesion of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium to *Lactuca sativa* (lettuce). *Microbiology spectrum*, *11*(1), e03436-22. <https://doi.org/10.1128/spectrum.03436-22>
- Fontanini, L., Argüello, J. A., Bima, P., & Valentinuzzi, M. C. (2024). El análisis físico de diferentes sustratos para el cultivo hidropónico de plantines de lechuga. *Nexo agropecuario*, *12*(2), 16-21. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/nexoagro/article/view/45351>
- Guanilo, R., Cornejo, J., Zamora, C., Quevedo, T., & García-Seminario, R. (2021). Microorganismos eficientes en la descontaminación de agua subterránea y su implicancia en la producción y calidad de lechuga hidropónica. *Manglar*, *18*(1), 77-82. <https://doi.org/10.17268/manglar.2021.010>
- Huo, S., Liu, J., Addy, M., Chen, P., Necas, D., Cheng, P., ... & Ruan, R. (2020). The influence of microalgae on vegetable production and nutrient removal in greenhouse hydroponics. *Journal of Cleaner Production*, *243*, 118563. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118563>
- Huo, S., Liu, J., Addy, M., Chen, P., Necas, D., Cheng, P., ... & Ruan, R. (2020). The influence of microalgae on vegetable production and nutrient removal in greenhouse hydroponics. *Journal of Cleaner Production*, *243*, 118563. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118563>
- Kim, M. J., Moon, Y., Tou, J. C., Mou, B., & Waterland, N. L. (2016). Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, *49*, 19-34. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.03.004>
- La Bella, E., Baglieri, A., Fragalà, F., Saccone, R., Salvagno, E., Terrazzino, S., & Puglisi, I. (2024). Influence of Microalgae Biomasses Retrieved from Phycoremediation of Wastewaters on Yield



- of Lettuce, Soil Health, and Nitrogen Environmental Fate. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01879-7>
- Lara-Herrera, A. L., de la Rosa-Rodríguez, R., & Trejo-Téllez, L. I. T. (2023). Producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) con cinco proporciones de macronutrientes en solución nutritiva. *Bioagro*, 35(2), 113-122. <http://www.doi.org/10.51372/bioagro352.4>
- Majid, M., Khan, J. N., Shah, Q. M. A., Masoodi, K. Z., Afroza, B., & Parvaze, S. (2021). Evaluation of hydroponic systems for the cultivation of Lettuce (*Lactuca sativa* L., var. Longifolia) and comparison with protected soil-based cultivation. *Agricultural Water Management*, 245, 106572. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106572>
- Maldonado, S., Rodríguez, A., Ávila, B., Morales, P., González, M. P., Araya Angel, J. P. A., ... & Stoll, A. (2020). Enhanced crop productivity and sustainability by using native phosphate solubilizing rhizobacteria in the agriculture of arid zones. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 607355. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.607355>
- Martínez Blanco, B., Antonio Vejar, V., Bello-Martínez, J., Alberto Palemón, F., Romero Ramírez, Y., Orbe Díaz, D., & Toribio Jiménez, J. (2020). Bacterias promotoras de crecimiento vegetal para incrementar la producción de *Lactuca sativa* L. en campo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(2), 449-452. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.1944>
- Mei, C., Zhou, D., Chretien, R. L., Turner, A., Hou, G., Evans, M. R., & Lowman, S. (2023). A potential application of *Pseudomonas psychrotolerans* IALR632 for lettuce growth promotion in hydroponics. *Microorganisms*, 11(2), 376. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020376>
- Nurhidayati, T., Arifiyanto, A., Saputro, T. B., & Aeny, T. N. (2023). Relief from Salt Stress by Plant Growth-Promoting Bacteria in Hydroponic Leaf Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Polish Journal of Environmental Studies*, 32(6). <https://doi.org/10.15244/pjoes/165815>
- Ortega-García, M., Ríos-Rocafull, Y., Zelaya-Molina, L., Ruíz-Ramírez, S., Zaldívar-López, H., & Chávez-Díaz, F. (2024). Bioprospecting a mountain-derived phosphorus-solubilizing bacterium: *Bacillus thuringiensis* B3 as a plant-growth promoter in lettuce and tomato horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 337, 113568. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113568>



Osorio-Reyes, J. G., Valenzuela-Amaro, H. M., Pizaña-Aranda, J. J. P., Ramírez-Gamboa, D., Meléndez-Sánchez, E. R., López-Arellanes, M. E., ... & Martínez-Ruiz, M. (2023). Microalgae-based biotechnology as alternative biofertilizers for soil enhancement and carbon footprint reduction: Advantages and implications. *Marine Drugs*, 21(2), 93.

<https://doi.org/10.3390/md21020093>

Pathom-aree, W., Sensupa, S., Wichaphian, A., Sriket, N., Kitwetch, B., Pekkoh, J., ... & Srinuanpan, S. (2024). An Innovative Co-Cultivation of Microalgae and Actinomycete-Inoculated Lettuce in a Hydroponic Deep-Water Culture System for the Sustainable Development of a Food–Agriculture–Energy Nexus. *Horticulturae*, 10(1), 70.

<https://doi.org/10.3390/horticulturae10010070>

Pérez-Peralta, P. J., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Delgadillo-Martínez, J., Hernández-Melchor, D. J., & Cortés-Pérez, S. (2024). Potencial de bacterias asociadas a meliponinos en la promoción del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 40(2), 283-300. <http://dx.doi.org/10.29393/chjaas40-24lspc60024>

Pilatuña Quishpe, M. F., González-Parra, M. M., Mero García, M. E., & Risco Arias, D. (2021). Evaluación agronómica de bacterias fijadoras de nitrógeno aisladas de suelos andinos en plántulas de lechuga y tomate. *Investigación agraria*, 23(1), 47-52.

<https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2021.junio.2301680>

Ross-Ramírez, Y., Mancebo-Romero, Y., & Olivares-Sánchez, D. (2023). Comportamiento agroproductivo de la lechuga (*Lactuca sativa* L.), en diferentes dosis de microorganismo eficiente y distancias entre plantas. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 27(2), 93-101.

<http://hct.cigetgtmo.co.cu/revistahct/index.php/hct/article/view/1342>

Santander, C., González, F., Pérez, U., Ruiz, A., Aroca, R., Santos, C., ... & Vidal, G. (2024).

Enhancing water status and nutrient uptake in drought-stressed lettuce plants (*Lactuca sativa* L.) via inoculation with different *Bacillus* spp. isolated from the Atacama desert. *Plants*, 13(2), 158.

<https://doi.org/10.3390/plants13020158>



- Santoro, D. F., Puglisi, I., Sicilia, A., Baglieri, A., La Bella, E., & Lo Piero, A. R. (2023). Transcriptomic profile of lettuce seedlings (*Lactuca sativa*) response to microalgae extracts used as biostimulant agents. *AoB Plants*, 15(4), plad043. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plad043>
- Sathyanarayana, S. R., Gangadhar, W. V., Badrinath, M. G., Ravindra, R. M., & Shriramrao, A. U. (2022). Hydroponics: an intensified agriculture practice to improve food production. *Reviews in Agricultural Science*, 10, 101-114. https://doi.org/10.7831/ras.10.0_101
- Shabani, E. (2021). Improvement of yield and photosynthetic indices of 'Lollo Rosso' lettuce by bacterial biofertilizer at different concentrations of phosphorus under hydroponic culture. *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, 4(1), 143-158. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2072738>
- Shabani, E. (2023). Improving the growth, P uptake and quality characteristics of 'Lollo Rosso' lettuce in the nutrient solution by *Bacillus subtilis* in different phosphorus concentrations. *Journal of Plant Nutrition*, 46(6), 971-983. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2072738>
- Sharma, C., Sharma, P., Kumar, A., Walia, Y., Kumar, R., Umar, A., ... & Baskoutas, S. (2023). A review on ecology implications and pesticide degradation using nitrogen fixing bacteria under biotic and abiotic stress conditions. *Chemistry and Ecology*, 39(7), 753-774. <https://doi.org/10.1080/02757540.2023.2253220>
- Silva, M. A. F. D., Moura, K. E. D., Moura, K. E. D., Salomão, D., & Patricio, F. R. A. (2018). Compatibility of *Trichoderma* isolates with pesticides used in lettuce crop. *Summa Phytopathologica*, 44(2), 137-142. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/176873>
- Stelluti, S., Caser, M., Demasi, S., Herrero, E. R., García-González, I., Lumini, E., ... & Scariot, V. (2023). Beneficial microorganisms: A sustainable horticultural solution to improve the quality of saffron in hydroponics. *Scientia Horticulturae*, 319, 112155. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112155>
- Timofeeva, A., Galyamova, M., & Sedykh, S. (2022). Prospects for using phosphate-solubilizing microorganisms as natural fertilizers in agriculture. *Plants*, 11(16), 2119. <https://doi.org/10.3390/plants11162119>



- Vargas Guillén, P. I. V., Beltrán, B. A. A., Quiróz, P. H. C., & Medina, L. M. V. (2023). Efectos de la fertilización nitrogenada en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) en el cantón Pedro Carbo, provincia del Guayas. *SATHIRI*, 18(1), 144-157. <https://doi.org/10.32645/13906925.1196>
- Velázquez-González, R. S., Garcia-Garcia, A. L., Ventura-Zapata, E., Barceinas-Sanchez, J. D. O., & Sosa-Savedra, J. C. (2022). A review on hydroponics and the technologies associated for medium- and small-scale operations. *Agriculture*, 12(5), 646. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050646>

