

ALTERNATIVAS DE BIOFERTILIZACIÓN PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DEL
CULTIVO DE LA PAPA. UNA REVISIÓN
BIOFERTILIZATION ALTERNATIVES FOR THE SUSTAINABLE MANAGEMENT
OF POTATO CROPS. A REVIEW

M. Sc. Lilibeth Rodríguez Izquierdo¹ (0000-0001-9853-2918), Universidad de Matanzas,

lilibeth.rodriguez@umcc.cu

Lic. Antonio China Horta² (0000-0001-5740-9585), Instituto de Investigaciones de Ingeniería
Agrícola

Dr. C. Eduardo I. Jerez Mompie³ (0000-0001-6509-8932), Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas

Bábaro Fajardo Alonso¹ (0000-0001-5568-1227)

Resumen

La papa es un cultivo altamente tecnificado, dadas sus exigencias fisiológicas intrínsecas, las características de los suelos, el clima donde se desarrolla y los sistemas de producción que le son propios. En Cuba es uno de los tubérculos con más alto costo de producción, generado por la excesiva aplicación de insumos fundamentalmente los fertilizantes químicos y plaguicidas. En este sentido, el uso de microorganismos en sustitución de fertilizantes inorgánicos en estos sistemas de producción agrícola cobra cada vez mayor importancia por su contribución a la fertilidad del suelo y al rendimiento sostenible del cultivo, con la consiguiente conservación del medio ambiente. En países de América Latina, en las últimas décadas, el empleo de rizobacterias como biofertilizantes ha demostrado ser una alternativa viable a la escasez de recursos provocados por la crisis económica mundial. El presente trabajo tiene como objetivo exponer los principales beneficios que se obtienen con el empleo de estos biofertilizantes microbianos en el cultivo de la papa.

Palabras claves: *bioestimulantes; biofertilizantes; rendimiento; rizobacterias; Solanum tuberosum.*



Monografías 2021

Universidad de Matanzas © 2021

ISBN: 978 - 959 - 16 - 4681 - 1

Abstract

Potato is a highly technical crop, given its intrinsic physiological demands, the characteristics of the soils, the climate where it grows and the production systems that are its own. In Cuba, it is one of the tubers with the highest production cost, generated by the excessive application of inputs, mainly chemical fertilizers and pesticides. In this sense, the use of microorganisms to replace inorganic fertilizers within agricultural production systems is becoming increasingly important due to its contribution to soil fertility and sustainable crop yield, with the consequent conservation of the environment. In recent decades, especially in Latin American countries, the use of rhizobacteria as biofertilizers has proven to be a viable alternative to the scarcity of resources caused by the global economic crisis. The present work aims to expose the main benefits obtained with the use of these microbial biofertilizers in potato cultivation.

Keywords: *biofertilizers; biostimulants; rhizobacteria; Solanum tuberosum; yield.*

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es el cuarto cultivo alimenticio más importante del mundo después del arroz, el trigo y el maíz (De Almeida *et al.*, 2018). Se encuentra entre los diez alimentos fundamentales producidos en los países en vías de desarrollo y supera a todos los cultivos en la producción de proteínas y energía por unidad de tiempo y superficie, alcanzándose producciones anuales que representan la mitad de la producción mundial de todas las raíces y tubérculos (FAO, 2008).

En Cuba desde 1983 hasta la actualidad se han plantado como promedio 12 455,44 hectáreas, obteniéndose una producción de 235 704,68 toneladas y un rendimiento medio de 19,86 t ha⁻¹ (Ministerio de la Agricultura de Cuba [MINAG], 2018). En los últimos años el área dedicada al cultivo y su productividad se han reducido, plantándose en las últimas campañas alrededor de 6 319 hectáreas con rendimiento de 16,37 t ha⁻¹. (Oficina Nacional de Estadísticas e Información de Cuba

[ONEI], 2020). El 83,54 % de las variedades cultivadas son importadas desde Europa y presentan un alto potencial productivo, lo cual resulta costoso (600 dólares la tonelada).

Es un cultivo altamente tecnificado, dadas sus exigencias fisiológicas intrínsecas, las características de los suelos, el clima donde se desarrolla y los sistemas de producción que le son propios. Demanda grandes cantidades de nutrimentos, principalmente nitrógeno (N), fósforo (F) y potasio (K) durante todo su ciclo (White *et al.*, 2007) y es uno de los tubérculos con más altos costos de producción, generados por la excesiva aplicación de insumos (plaguicidas, agua y fertilizantes).

Los abonos químicos juegan un papel fundamental en la nutrición vegetal, sin embargo, su uso indiscriminado trae como consecuencias efectos negativos en la salud del hombre y el entorno; el exceso de estos afecta la fertilidad de los suelos tanto en su componente físico como biológico, provocando que en cada campaña de plantación los productores tengan que aplicar más fertilizantes para incrementar los rendimientos agrícolas de este cultivo (Álvarez, 2015). Además, el exceso o deficiencia de un elemento puede incrementar la suculencia del cultivo, su maduración temprana y como consecuencia la reducción del tiempo que media entre la cosecha y el consumo (Locassio *et al.*, 1984).

En este sentido, resulta necesario la búsqueda y evaluación de fuentes alternativas de fertilización, que satisfagan las necesidades nutrimentales, permitan obtener adecuados niveles de rendimiento y calidad del cultivo, lo cual posibilitaría el ahorro parcial o total de los fertilizantes minerales, así como el incremento de los procesos biológicos en el suelo como índice de sostenibilidad del proceso agrícola.

El empleo de bacterias rizosféricas y hongos micorrízicos como biofertilizantes en cultivo de la papa en las últimas décadas, especialmente en países de América Latina, ha demostrado ser una alternativa viable a la escases de recursos provocados por la crisis económica mundial; comprobándose que contribuyen de manera directa en el crecimiento y desarrollo de las plantas, a la vez que incrementan el rendimiento y permiten reducir el empleo de fertilizantes químicos, con el consiguiente ahorro de recursos para los productores y el cuidado del medio ambiente.

Este trabajo tiene como objetivo exponer los principales beneficios que se obtienen con el empleo de biofertilizantes microbianos en el cultivo de la papa.

Necesidades nutricionales del cultivo de la papa

La fertilización tiene la función de suministrar a los cultivos nutrimentos que no son aportados de manera natural por el suelo. Para una buena producción en términos de cantidad y calidad, usualmente los macro nutrimentos NPK, son aplicados al cultivo de papa cuando las reservas del suelo son limitadas (Ierna *et al.*, 2011), pero, deben acoplarse con sus demandas, de ahí la importancia de conocer las curvas de absorción nutrimental.

Bertsch (2003) indicó que el cultivo absorbe 220, 20, 240, 60 y 20 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg respectivamente, para una producción de 20 t ha⁻¹, lo que evidencia los altos requerimientos nutrimentales que presenta. De acuerdo a Horneck y Rosen (2008) la mayoría del N absorbido por la planta se presenta antes del periodo de máximo crecimiento y desarrollo del tubérculo, lo cual significa que antes del llenado de tubérculos la planta consume más de 50 % con una demanda diaria de 7 kg ha⁻¹ día⁻¹, para el caso del P la demanda fluctúa entre 0,4 a 0,9 kg ha⁻¹ día⁻¹ a mitad del ciclo dependiendo de la variedad y clima. Para el K la absorción es de 5 a 14 kg ha⁻¹ día⁻¹.

El nitrógeno es un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de la papa. Su disponibilidad en el suelo en dosis suficientes promueve la organogénesis y el control del crecimiento del follaje y favorece la producción de tubérculos de mayor tamaño (Echeverría, 2005). Sin embargo, la disponibilidad como resultado de su aplicación en dosis excesivas produce un retraso en la tuberización, desarrollo excesivo de la parte aérea y aumento de la concentración de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas (Goffart *et al.*, 2008).

Grandet y Lora (1978) señalan que la demanda de fósforo en el cultivo se incrementa a partir de los 30 días, pero debido a procesos de fijación, al fraccionar el fósforo se puede conseguir una mayor eficiencia.

En cuanto a los requerimientos en elementos menores, para una producción de 40 t ha⁻¹, Alvarado y López (1976) indican una extracción de 40 g de Mg, 60 g de B, 40 g de Cu y 6 g de Mn, en términos de hectárea cultivada.

Papel de las rizobacterias en el crecimiento vegetal y la absorción de nutrientes.

Las Rizobacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas (PGPR) son microorganismos del suelo, generalmente bacterias y hongos, que se asocian de manera natural a las raíces de las plantas de una forma más o menos íntima; facilitándoles de manera directa o indirecta la disponibilidad de determinados nutrientes, tales como nitrógeno, fósforo y hierro (Fulchieri y Frioni, 1994). Entre los

organismos más conocidos están las especies pertenecientes a los géneros *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Pseudomonas* (Gervasio, 2019).

Las PGPR pueden tener mecanismos de acción directa o indirecta. Los mecanismos directos ocurren cuando los metabolitos producidos por algunas cepas de rizobacterias son utilizados como reguladores de crecimiento o precursores de éstos por parte de la planta (Patten y Glick, 2002), tienen acción similar a las fitohormonas aplicadas a las semillas y plantas, con una mayor proliferación de pelos radiculares, que incrementan y mejoran la eficiencia de absorción mineral (García *et al.*, 1995). Estas bacterias son capaces de producir sustancias fisiológica y bioquímicamente activas, como vitaminas, giberelinas, citoquininas y ácido indol acético (AIA) en cantidades significativas, las cuales mediante su acción conjunta estimulan la germinación de las semillas, aceleran el desarrollo de las plantas e incrementan el rendimiento de los cultivos, sobre todo en condiciones de estrés (Torres *et al.*, 2000). A su vez, su presencia permite incrementar la disponibilidad de nutrientes para las plantas por su acción como solubilizadoras de fosfatos y fijadoras de nitrógeno atmosférico (De-Bashan *et al.*, 2007).

Los mecanismos indirectos ocurren cuando los metabolitos producidos pueden funcionar como antagonísticos, involucran aspectos de control biológico, suprimen o inhiben el crecimiento de microorganismos perjudiciales (fitopatógenos) para el desarrollo de las plantas, vía producción de sideróforos, antibióticos, acción de enzimas líticas (glucanasas, quitinasas) o inducción de mecanismos de resistencia o defensa en las plantas (Desai *et al.*, 2012).

El empleo de PGPR constituye una estrategia en la agricultura sostenible, a nivel mundial. Su uso, está enfocado hacia el incremento de la nutrición de la planta (sustitución de fertilizantes químicos por biofertilizantes) y a la búsqueda de protección a enfermedades y plagas. Según Barea *et al.* (2005) los microorganismos intervienen en una serie de procesos como la descomposición, mineralización de compuestos orgánicos y la movilización de nutrientes en la interacción suelo-planta.

Según Mavrodi *et al.* (2006) la actividad de estos microorganismos promotores del crecimiento vegetal, en general se inicia con mecanismos de quimiotaxis que están relacionados con la presencia de flagelos, quimiorreceptores y sistemas de regulación codificados genéticamente. Estos

factores tienen gran importancia sobre la habilidad de colonizar la rizosfera y mantener la comunicación entre las células de la raíz con los microorganismos presentes en el suelo.

Bacterias y plantas han coevolucionado desarrollando distintas formas de interacción, incluyendo interacciones mutualistas, comensalistas y deletéreas. Desde el punto de vista de la planta una interacción beneficiosa puede incrementar el crecimiento vegetal. En el caso de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal pueden encontrarse en vida libre o en asociaciones con plantas como bacterias epífitas (incluye las bacterias rizosféricas), endófitas o en simbiosis con las plantas como es el caso particular de los rizobios en asociación con plantas de la familia leguminosa (Frioni, 2011).

La identificación, caracterización y producción de los microorganismos involucrados en el proceso simbiótico con las plantas ha avanzado notablemente en los últimos 10 años (Ortuño *et al.*, 2018). Especies de los géneros bacterianos *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Azorhizobium*, *Mesorhizobium* y *Allorhizobium*, colectivamente denominados como rizobios, son conocidos por su relación simbiótica con las plantas de leguminosas.

Las bacterias diazótroficas asimbióticas son aquellas que pueden fijar nitrógeno atmosférico sin la necesidad de formar una simbiosis con plantas, ya que estas poseen diferentes estrategias para proteger el complejo nitrogenasa. Pueden vivir libres en diversos ecosistemas, establecer simbiosis o estar asociadas a las plantas (Sousa-Moreira *et al.*, 2010). Su influencia en la absorción de elementos minerales, según Hernández *et al.* (2010), puede relacionarse a incrementos en los flujos iónicos de la superficie de las raíces. Entre los principales géneros bacterianos que se hallan en vida libre o endófitos asociados a la rizosfera se encuentran: *Azotobacter sp.*, *Azotococcus sp.*, *Azospirillum sp.*, *Beijerinckia sp.*, *Azotomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Citrobacter sp.*, *Clostridium sp.*, *Chromatium sp.*, *Chlorobium sp.*, *Desulfovibrio sp.*, *Desulfomonas sp.*, *Gluconacetobacter sp.*, *Herbaspirillum sp.*, *Klebsiella sp.* (Pedrosa *et al.*, 2010).

Existe evidencia científica suficiente de que, mediante la simbiosis regulada por el medio ambiente entre las plantas y los microorganismos, es posible reducir el uso de insumos de alto consumo energético que normalmente tienen impacto ambiental, como fertilizantes y agroquímicos, mitigando sus efectos nocivos en el ecosistema. Este proceso incluye la fijación biológica del nitrógeno atmosférico, solubilización y/o absorción de fósforo, resistencia sistémica inducida y la inmunidad

vegetal, entre otros aspectos fisiológicos favorables al desarrollo de las plantas (Naqqash *et al.*, 2016).

La fijación biológica de nitrógeno (FBN) realizada por las células procariotas, es el proceso mediante el cual, parte del nitrógeno atmosférico se incorpora a la materia viva y constituye la principal vía de incorporación de nitrógeno al ecosistema del suelo, siendo devuelto a la atmósfera principalmente, por la acción de organismos del suelo descomponedores de la materia orgánica. Diversos estudios revelaron que los organismos diazotróficos colonizan sus hospedantes, contribuyendo con cantidades sustanciales de nitrógeno fijado biológicamente (Hernández *et al.*, 2014).

Las bacterias solubilizadoras de fosfato están presentes en formas y poblaciones variadas en los diferentes suelos, e incluyen bacterias aerobias y anaerobias. Entre toda la población microbiana del suelo, estas constituyen del 1 al 50 % y la mayor proporción se concentra en la rizosfera. Las bacterias diazotróficas realizan la solubilización de fosfatos orgánicos, mediante un proceso catalizado por enzimas y la de fosfato inorgánico, a través de la producción de ácidos orgánicos. La liberación de ácidos orgánicos por las bacterias provoca disminución del pH en el medio, lo que facilita la liberación de fósforo inmovilizado, mediante la sustitución y excreción de H⁺ o la liberación de iones Ca²⁺ (Khan *et al.*, 2009). Otro mecanismo está relacionado con la formación de complejos estables que permiten la liberación de los grupos fosfatos. Estos complejos se forman debido a la alta afinidad que tienen los aniones carboxílicos de los ácidos orgánicos liberados por las bacterias, por el calcio y otros iones metálicos, como el hierro y el aluminio, presentes en los fosfatos minerales (Khan *et al.*, 2007).

La producción de fitohormonas por parte de las bacterias y su impacto en la morfogénesis de la raíz, podrían explicar en gran parte los efectos positivos de las bacterias diazotróficas en el crecimiento vegetal. Al incrementarse el número de pelos radicales y raíces laterales, existe mayor absorción de agua y nutrientes por la planta y un mayor intercambio con el ambiente de la rizosfera, lo que contribuye a incrementos en el rendimiento del cultivo. La fitoestimulación está dada particularmente por la compleja y balanceada red de hormonas de plantas o compuestos similares, que influyen directamente en el crecimiento o estimulan la formación de raíces (Agila, 2016).

Biofertilizantes en el cultivo de la papa. Efectos beneficiosos de su aplicación.

Existen numerosos estudios de bacterias rizoféricas en la promoción del crecimiento vegetal, debido a su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico y en la producción de hormonas indólicas. En años recientes, el uso de PGPR para promover el crecimiento de plantas ha incrementado en varias partes del mundo. En el cultivo de la papa, los principales resultados de su aplicación se concentran fundamentalmente en países de América Latina.

La población microbiana del suelo puede ayudar a reducir la erosión de suelos degradados por la excesiva labranza o durante el manejo convencional del cultivo, favoreciendo el restablecimiento de la fertilidad, la capacidad de retención de nutrientes y la disponibilidad de elementos necesarios para el cultivo de la papa (Turnbull *et al.*, 2014).

Los microorganismos del suelo también permiten el control de enfermedades fungosas y oomicetos en diferentes cultivos, reduciendo el uso de métodos químicos que causan un impacto medioambiental negativo e inducen el surgimiento de resistencia en el futuro (Marín *et al.*, 2013).

Chumpitaz *et al.* (2020) obtuvieron que cepas de actinomicetos rizosféricos aislados en el cultivo de la papa producen compuestos bioactivos capaces de inhibir de forma notable al agente patógeno *Phytophthora infestans* causante de graves daños a la productividad del cultivo, pudiendo ser considerados candidatos en los programas biológicos para su control. Otros microorganismos como *Pseudomonas sp.* (De Vrieze *et al.*, 2019), *Aureobasidium pullulans* (Di Francesco *et al.*, 2017), *Trichoderma sp.*, *Pythium oligandrum* y *Bacillus sp.* (Mariastuti *et al.*, 2018) se reportan como candidatos potenciales para el biocontrol de esta enfermedad con favorables resultados.

Se ha comprobado que plantas de papa inoculadas con rizobacterias que promueven el crecimiento, ejercen una fuerte influencia en la tuberización de las plantas. Nookaraju *et al.* (2011) realizaron un estudio, donde aislaron e identificaron 13 bacterias de la rizosfera de la papa y las probaron para determinar su influencia en la tuberización del cultivo bajo condiciones *in vitro* y *ex vitro* logrando incrementos en el tamaño y pesos de los tubérculos.

Las bacterias del género *Azotobacter* son fijadoras de nitrógeno atmosférico, capaces de sustituir entre 30 y 40 % del fertilizante nitrogenado y de incrementar el rendimiento de los cultivos; en cambio *Bacillus* son bacterias solubilizadoras del fósforo del suelo, capaces de sustituir hasta 70 % del fertilizante fosfórico, poniendo a disposición de las plantas el fósforo almacenado y fijado en el suelo (Chirinos *et al.*, 2006).

La efectividad de la inoculación de la semilla con *Azotobacter* para el mejoramiento del rendimiento de la papa bajo condiciones óptimas de fertilización (NPK 250-150-150 o 200-100-100 kg ha⁻¹) fueron estudiados en condiciones de campo por Zahir y Arshad (1996), donde fue efectivo en el mejoramiento del rendimiento de tubérculos (32,3%), rendimiento de broza (15,9%) y número de tubérculos por planta (50%) comparado al control no inoculado. Similarmente, Javed y Arshad (1999) condujeron ensayos en macetas y en campo para probar 11 rizobacterias aisladas para la promoción de rendimiento en papa. En ambos ensayos, el rendimiento de tubérculos, número de tubérculos y peso de brotes más raíces se incrementaron significativamente en respuesta a la inoculación.

Jiménez *et al.* (2001) reportan que *Bacillus subtilis* además, de tener efectos antagónicos con fitopatógenos, también es promotora del crecimiento y rendimiento de papa, debido a que en las parcelas inoculadas con ella, se produjo mayor cantidad y calidad de tubérculos. Dashti *et al.* (1997) reportaron con el empleo de esta bacteria como biofertilizante en papa, un incremento en la emergencia, vigor y peso de las plántulas; un mayor desarrollo del sistema radicular y un incremento hasta de 30% en la producción. Los procesos fisiológicos, tales como la tasa fotosintética y uso eficiente de agua se vieron incrementados, lo que se reflejó en un incremento en el rendimiento por hectárea.

A su vez, Arcos y Zúñiga (2016) en condiciones experimentales de campo en departamento de Puno, Perú; con el empleo de cepas de los géneros *Azotobacter* y *Bacillus* colectadas en la rizosfera del cultivo, obtuvieron que la altura de plantas y los rendimientos totales de tubérculos en peso y número, en las parcelas inoculadas fueron significativamente superiores en comparación a las no inoculadas; en promedio, el rendimiento incrementó en 125,79% y el número total de tubérculos alcanzó un 141,41% por encima del control. También las parcelas inoculadas con presentaron menor porcentaje de tubérculos infectados con *Rhizoctonia solani* y *Spongospora subterranea*.

También en esa región, Contreras-Liza *et al.* (2019), lograron aumentos del rendimiento de tubérculos y el peso comercial por hectárea, mediante inoculación con la cepa *Azotobacter sp.*, con un menor daño por mosca minadora (*Liriomyza huidobrensis*) frente al control, concluyendo que la utilización de PGPR en la papa puede ayudar a reducir la vulnerabilidad del cultivo e incrementar el nivel de sustentabilidad ambiental a nivel de finca.

Marín *et al.* (2017) destacaron el efecto positivo en el rendimiento de tubérculos, al combinarse la fertilización convencional recomendada para el cultivo de la papa en Costa Rica con Fertibiol 45L[®] que es una mezcla de cepas bacterianas promotoras del crecimiento vegetal con propiedades solubilizadoras de P y fijadoras de N.

Mora *et al.* (2018) evaluaron los biofertilizantes comerciales: Fosfotic (pool de bacterias solubilizadoras de fósforo), Safer-micorrizas y la combinación de estos frente a la dosis de NPK (135 kg ha⁻¹ de N, 335 kg ha⁻¹ de P y 225 kg ha⁻¹ de K) en condiciones de campo en los Andisoles del Carchi-Ecuador. La aplicación del primer biofertilizante influyó positivamente en la altura y el peso de los tubérculos por planta, así como en la producción de tubérculos de segunda y tercera calidad. La inoculación de micorrizas mostró resultados satisfactorios en cuanto al número de tubérculos por planta para aquellos tratamientos donde se redujo o eliminó la dosis de fósforo en la fertilización mineral.

Kafi *et al.* (2019) demostraron que la aplicación de biofertilizantes que incluían bacterias solubilizadoras de fosfatos y potasio, así como bacterias nitrificadoras de vida libre, mejoró las características fisiológicas, el rendimiento y la calidad de los cultivares de papa, consumiendo menos fertilizantes químicos.

Estudios realizados en Cuba han demostrado la posible incorporación de los biofertilizantes en el manejo del cultivo de la papa.

Alvarado-Capó *et al.* (2015) con el empleo del bioproducto Versaklin[®] que se obtiene por fermentación microbiana a partir de microorganismos nativos y subproductos de las industrias láctea y azucarera e incluye en su composición bacterias, levaduras y hongos filamentosos; obtuvieron una mayor proporción de tubérculos con calibre óptimo para ser empleado como semilla en la variedad Romano. Además, redujo en un 30 % la incidencia del Tizón temprano en campo con una efectividad técnica que alcanza el 60 % de la obtenida con productos químicos.

También la inoculación de cepas bacterianas de género *Bacillus sp.* en plantas in vitro de esa variedad en el momento de la plantación, influyó en el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Alvarado-Capó *et al.*, 2015).

Gervasio *et al.* (2019) en estudios realizados en condiciones semicontroladas a la variedad Romano, comprobó que la inoculación de los tubérculos con dos cepas correspondientes al género *Rhizobium*

en el momento de la plantación, ejercieron su influencia en el crecimiento de las plantas, sobre todo cuando se empleó una mayor dosis de las mismas (6 mL por tubérculo), pero la cepa identificada como *Bradyrhizobium Elkanii* ICA 8001, fue la que mejores resultados proporcionó. Obtuvo un incremento en el número de tallos por planta, lo cual propició una mayor superficie foliar por planta (dado por el número de hojas), y provocó mayor acumulación de masa seca total, con dosis disminuidas de la fertilización química recomendada al cultivo. En relación con el estado nutricional de los tubérculos, comprobó que el empleo solo de la inoculación, aumentó el porcentaje de fósforo contenido en ellos, pero al emplear fertilizantes, los porcentajes de nitrógeno incrementaron, lo cual disminuye la calidad de los tubérculos por contener altos contenidos de nitratos. Constató, además, que el empleo de las rizobacterias, brindó mejores resultados en la medida que la cantidad de fertilizantes aplicados fue menor, mostrando la acción más eficiente de las bacterias. En esas condiciones, las respuestas de las plantas fueron mejores pues se incrementó el número de tubérculos y la producción por planta, lo que evidencia que estos microorganismos pueden ser una alternativa viable para disminuir la cantidad de fertilizantes químicos a aplicar al cultivo.

Consideraciones finales

Las rizobacterias promotoras del crecimiento en las plantas demuestran ser una alternativa promisoría para el manejo sostenible de los cultivos. Las especies empleadas en la biofertilización de la papa promueven el desarrollo de las plantas con marcada influencia en el proceso de tuberización, logrando aumentar el rendimiento agrícola y la calidad de los tubérculos. El incremento que provocan en la disponibilidad de nutrientes y la eficiencia de la absorción mineral favorecen su uso en la sustitución parcial o total de fertilizantes químicos, con la consiguiente disminución de la contaminación del medio ambiente, aspecto de gran interés en la actualidad.

Referencias bibliográficas

- Agila, S. G. (2016). Determinación de la co-inoculación con microorganismos rizosféricos en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L) variedad Bolona. Tesis presentada en opción al título de Ingeniera Agrónoma. Universidad Nacional de Loja. Ecuador.
- Alvarado-Capó, Y., De Fera, M., Veitia, N., Acosta-Suárez, M., Díaz, A., Freire-Seijo, M., Reyes, F., Medina, R., Oropesa, K., Fontes, L., Ramírez, W. y Martín, G. (2015). Efecto del bioproducto

- Versaklin® sobre el Tizón temprano en la producción de semilla de papa cv. 'Romano'. *Biotecnología Vegetal*, 15 (4), 233–242.
- Alvarado-Capó, Y., Leiva-Mora, M., Cruz-Martín, M., Mena, E., Acosta-Suárez, M., Roque, B., Pichardo, T., García-Aguila, L., Jiménez-Terry, F., Hurtado, O., Veitia, N. y Padrón, L. (2015). Efecto de *Bacillus spp.* sobre el crecimiento y rendimiento agrícola de plantas in vitro de papa cv. 'Romano' en casa de cultivo. *Biotecnología Vegetal*, 15 (2), 115–122.
- Alvarado, L. y López, J. (1976). Densidades de población y dosis de fertilización en papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Comalfi. Colombia*, 3 (1-2), 10-25.
- Álvarez, T.X. (2015). Caracterización e identificación de bacterias rizosfericas y su efecto en interacción con el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*). var. Bolona. Ecuador. Tesis en opción al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Loja.
- Arcos, J. y Zúñiga, D. (2016). Rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas con capacidad para mejorar la productividad en papa. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 20 (1), 18-31.
- Barea, J.M.P. y Azcón-Aguilar, C. (2005). Microbial cooperation in the rhizosphere. *J. Expe. Bot*, 56.
- Bertsch, F. (2003). *Absorción de nutrimentos por los cultivos*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica.
- Chirinos, J., Leal, A. y Montilla, J. (2006). Uso de Insumos Biológicos como Alternativa para la Agricultura Sostenible en la Zona Sur del Estado de Anzoátegui. *Revista Digital CENIAP HOY*, 11.
- Chumpitaz, A., Caro, J., Cruz, W. y León, J. (2020). Rhizospheric actinomycetes from organic crops of native potato (*Solanum tuberosum*): isolation, phenotypic characterization, molecular identification, and impact on biocontrol of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. *Scientia Agropecuaria*, 11 (2), 223–231. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.09>
- Contreras-Liza, S.E., Noriega, H., Valenzuela, A., Arias, L., Zúñiga, D. y García-Bendezú, S. (2019). Uso de inoculantes como estrategia de manejo agronómico sustentable en fincas de papa (*Solanum tuberosum*) de la región Lima. *IDESIA (Chile)*, 37 (3), 29-37.
- Dashti, N., Zhang, F., Hynes, R. y Smith, D.L. (1997). *Plant and Soil*. 188, 33.

- De Almeida, F., Torres, W., Cabrera, J.A. y Arzuaga, J. (2018). Crecimiento de plantas de papa (*Solanum tuberosum* L., cv Romano), en la provincia de Huambo, Angola, bajo dos densidades de plantación. *Cultivos Tropicales*, 39 (3), 31-40. <https://ediciones.inca.edu.cu>
- De-Bashan, L.E., Holguin, G., Glick, B.R. y Bashan, Y. (2007). Bacterias promotoras de crecimiento en plantas para propósitos agrícolas y ambientales. En: Ferrera-Cerrato, R. y Alarcón, A. (Eds.). *Microbiología agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico, planta-microorganismo*. (págs. 170-224). Editorial Trillas. México City.
- Desai, S., Minakshi G., Leo, E.D.A., Kumar, G.P. y Hassan, S.K.A. (2012). Exploiting Plant Growth Promoting Rhizomicroorganisms for Enhanced Crop Productivity. En: Satyanarayana, T., Narain, B. y Prakash, A. (Eds.). *Microorganisms in sustainable agriculture and biotechnology*. (págs. 227-242). Springer. Dordrecht.
- De Vrieze, M., Gloor, R. y Codina, J. (2019). Biocontrol Activity of Three *Pseudomonas* in a Newly Assembled Collection of *Phytophthora infestans* Isolates. *Phytopathology*, 109 (9), 1555-1565.
- Di Francesco, A., Milella, F. y Mari, M. (2017). A preliminary investigation into *Aureobasidium pullulans* as a potential biocontrol agent against *Phytophthora infestans* of tomato. *Biological control*, 144-149.
- Echeverría, H.E. (2005). *Papa. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires. Argentina.
- FAO. (2008). *La Papa tesoro enterrado ¿Por qué la papa? Año Internacional de la Papa*. Recuperado el 23 de septiembre de 2018 de <http://www.potato.2008.org>
- Froni, L. (2011). *Microbiología: básica, ambiental y agrícola*. Orientación Gráfica Editorial. Buenos Aires.
- Fulchieri, M. y Froni, L. (1994). Azospirillum inoculation on maize effect of yield in field experiment in central Argentina. *Soil Biol. Biochem.* 26, 921-923.
- García, G., Moreno, P., Peña-Cabriales, J. y Sanchez-Yañez, J.M. (1995). Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la inoculación con bacterias fijadoras de N₂. *TERRA* 13, 71-79.

- Gervasio, G., Jerez-Mompie, E., Morales, B. y Nápoles M.C. (2019). Selección de una rizobacteria promotora del crecimiento en papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Tropicales*, 40 (2). <https://ediciones.inca.edu.cu>
- Gervasio, G.K. (2019). Rizobios como promotores del crecimiento vegetal y alternativa para disminuir la fertilización en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Tesis presentada en opción al título de Máster en Ciencias Agrícolas. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Mayabeque.
- Goffart, J.P., Olivier, M. y Frankinet, M. (2008). Potato crop nitrogen status assessment to improve N fertilization management and efficiency. Past-Present-Future. *Potato Res.* 51,355-383.
- Grandet, G. y Lora, R. (1978). *Acumulación de materia seca y de varios nutrientes en tres variedades de papa, cultivadas en la serie mosquera del centro experimental*. Tibaitatá. ICA. Bogotá.
- Hernández-Rodríguez, A., Heydrich, M., Díaz, A., Rivez, N., Acebo, Y. y Vera, L. (2014). Potencialidades de las bacterias diazotróficas asociativas en la promoción del crecimiento vegetal y el control de *Pyricularia aryzae* (Sacc.) en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). *Plant Growth Regul.* 1-10.
- Horneck, D. y Rosen, C. (2008). Measuring nutrients accumulation rates of potatoes too for better management. *Revista*, 92:1-4.
- Ierna, A., Pandino, G., Lombardo, S. y Mauromicale, G. (2011). Tuber yield, water and fertilizer productivity in early potato as affected by a combination of irrigation and fertilization. *Agric. Water Manag.*, 101, 35-41. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.08.024>
- Javed, M. y Arshad, M. (1999). Potential of plant growth promoting rhizobacteria for enhancing the growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Sarhad J. Agri.*, 15, 447-452.
- Jiménez, R., Virgen, G., Tabares, S. y Olalde, V. (2001). Bacterias promotoras del crecimiento de plantas: agro-biotecnología. *Avance y Perspectiva*, 20, 395-400.
- Kafi, M., Nabati, J., Oskoueian, A., Oskoueian, E. y Shabahang, J. (2019). Evaluation of biofertilizers on quality, yield and yield components of two potato (*Solanum tuberosum*) cultivars. *Electronic Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 9 (2), 65-84.

- Khan, A., Jilani, G., Akhtar, M., Naqvi, S. y Raheed, M. (2009). Phosphorus Solubilizing Bacteria: Mechanisms and their Role in Crop Production. *J Agric Biol Sci*, 48-58.
- Khan, M., Zaidi, A. y Wani, P. (2007). Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agricultura. *Agron Sustain Dev*, 29-43.
- Locasio, L., Wiltbank, J., Gull, D.P. y Maynard, D.N. (1984). Fruit vegetables affected by nitrogen nutrition. En: Hauck, R.D. *Nitrogen in crop production*. (págs. 617-641). Madison: ASACSSA-SSSA..
- Marín, M., Wong, I., García, G. (2013). Actividad antagónica in vitro de *Tsukamurella paurometabola* C-924 frente a fitopatógenos. *Rev. Protección Veg.*, 28 (2), 132-137.
- Mariastuti, H., Listiyowati, S., Wahyudi, A. (2018). Antifungal activity of soybean rhizosphere actinomycetes producing bioactive compounds against *Fusarium oxysporum*. *Biodiversitas*, 19 (6), 2127-2133.
- Marín, S., Bertsch, F. y Castro, L. (2017). Efecto del manejo orgánico y convencional sobre propiedades bioquímicas de un Andisol y el cultivo de papa en invernadero. *Agronomía Costarricense*, 41 (2), 27-46. <https://doi.org/10.15517/rac.v41i2.31298>
- Mavrodi, O.V.M., Park, D.A., Weller, D. y Thomashow, L. (2006). The role of dsbA in colonization of the wheat rhizosphere by *Pseudomonas fluorescens* Q8r1-96. *Microbiol, Res.*, 152, 863-872.
- MINAG. (2018). *Balance técnico de la campaña de papa 2017-2018. Directivas de trabajo para la campaña 2018-2019*. Dirección de Agricultura MINAG. Cuba.
- Mora, S.R., Aguila, E., Ruiz, Y., Rodrigo, L. y Benavides, H.R. (2018). Alternativas de bio-fertilización sobre indicadores morfológicos y productivos de *Solanum tuberosum* L. en Andisoles del Carchi-Ecuador. *Centro Agrícola*, 45 (3), 44-50. <http://cagricola.uclv.edu.cu>
- Naqqash, T., Hameed, S., Imran, A., Hanif, M.K., Majeed, A. y van Elsas, J.D. (2016). Differential Response of Potato toward Inoculation with Taxonomically Diverse Plant Growth Promoting Rhizobacteria. *Front. Plant Sci.* 7, 144. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00144>
- Nookaraju, A.K., Woong-Yu, S. y Won Park, J.S. (2011). Rhizobacteria Influence Potato Tuberization Through Enhancing Lipxygenase Activity. *American Journal of Potato Research*, 88, 441-449.

- ONEI. 2020. *Anuario estadístico de Cuba 2019. Agricultura, ganadería y silvicultura*. Oficina Nacional de Estadística e Información. República de Cuba.
- Ortuño, N., Córdoba, M., Claros, M. y Castillo, J.A. (2018). Evaluación de bacterias endófitas de papa nativa (*Solanum tuberosum* L.) y el desarrollo de un biofertilizante. *Revista Latinoamericana de la papa*, 22 (1), 12-37.
- Patten, C.L. y Glick, B.R. (2002). Role of *Pseudomonas putida* indolacetic acid in development of the host plant root system. *Appl. Environ. Microbiol.* 98, 3795-3801.
- Pedrosa, R., Teixeira, K., Fernandez-Scavino, A., Garcia-de Salamone, I., Baca, B. y Azcon, R. (2010). Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. *Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 155-164.
- Sousa-Moreira, F., DaSilva, K., Abrahao-Nobrega, R., y De Carvalho, F. (2010). Bacterias diazotroficas asociativas: diversidad, ecología e potencial de aplicaciones. *Comunicata Scientiae*, 74-99.
- Torres, G., Valencia, A., Bernal, P., Castillo, M. y Nieto, P. (2000). Isolation of *Enterobacteria*, *Azotobacter* sp and *Pseudomonas* sp producers of Indol 3 Acetic Acid and Siderophores from Colombian rice rhizosphere. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 171-175.
- Turnbull, A.L., Campbell, I. y Lazarovits, G. (2014). Resistance of bacterial communities in the potato rhizosphere to disturbance and its application to agroecology. *Soil Biology and Biochemistry*, 79, 125-131.
- White, P.J., Whcatley, R.E., Hammond, J.P y Zhang, K. (2007). Minerals, Soils and roots. In: Vreugdenhil, D. (ed.). *Potato biology and biotechnology, advances and perspectives*. (págs. 739-752) Elsevier Amtersdan.
- Zahir, Z.A. y Arshad, M. (1996). Effectiveness of *Azotobacter* inoculation for improving potato yield under fertilized conditions. *Pak. J. SoilSci.*, 33, 1-8.



Monografías 2021

Universidad de Matanzas © 2021

ISBN: 978 - 959 - 16 - 4681 - 1