

Inoculantes microbianos incorporados al cultivo de *Ipomoea batatas* L. en el Valle del Sinú

Microbial inoculants incorporated in *Ipomoea batatas* L. crop in the Sinú Valley

Diana Beatriz Sánchez López*, Jazmín Vanessa Pérez Pazos**, Lily Lorena Luna Castellanos ***,
Joaquín Alfonso García Peña ****, Amaury Aroldo Espitia Montes *****

DOI: 10.15446/rev.colomb.biote.v22n1.69716

RESUMEN

La batata (*Ipomoea batatas* L.) se cultiva en todo el mundo como fuente de carbohidratos, y su producción comercial requiere un alto aporte de fertilizantes químicos, lo cual eleva los costos de producción. Los inoculantes microbianos, se emplean como una fuente alternativa de nutrición vegetal. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de *Pseudomonas denitrificans* IBVS2 y *Azotobacter vinelandii* IBVS13 con diferentes niveles fertilización química nitrogenada en el cultivo de batata en la microrregión del Valle del Sinú en el Caribe Colombiano. Para los montajes de los experimentos se utilizó un diseño completamente aleatorizado, ocho tratamientos y tres repeticiones usando como material vegetal plántulas obtenidas *in vitro* endurecidas en invernadero. Los resultados demostraron que la cepa *Azotobacter vinelandii* IBVS13 con un 75% de fertilización nitrogenada (FN) mejoró la capacidad de acumulación de materia seca en los tubérculos de batata, generando incrementos de 6,65 t/ha respecto al testigo químico y 3,18 t/ha en relación con el testigo absoluto, garantizando un incremento del rendimiento. Así mismo, el contenido de proteína bruta aumentó 13,93% al realizar la inoculación de las plantas con esta cepa. En el mismo sentido, la cepa *Pseudomonas denitrificans* IBVS2+ fertilización nitrogenada 50% presentó aumentos en la variable de fibra cruda 31,75% respecto al testigo absoluto, contribuyendo de manera eficaz como bioestimulante microbiano en la agricultura.

Palabras claves: Rizobacteria, bioestimulante, *Pseudomonas denitrificans*, *Azotobacter vinelandii*, Valle del Sinú.

ABSTRACT

Sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.) are grown worldwide as a source of carbohydrates, and their commercial production requires a high contribution of chemical fertilizers, which increases production costs. Microbial inoculants are used as an alternative source of plant nutrition.

The objective of this research was to evaluate the effect of *Pseudomonas denitrificans* IBVS2 and *Azotobacter vinelandii* IBVS13 with different levels of nitrogen chemical fertilization in the sweet potato crop in the microregion of the Sinú Valley in the Colombian Caribbean.

* M.Sc. Ciencias Biológicas. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia. Centro de investigación Turipaná. km 13 vía Montería-Cereté, Colombia. Telephone +57(1) 4227300 Ext. 2253. E-mail correspondencia: dbsanchez@corpoica.org.co. Código ORCID:0000000195174097.

** B.Sc Bióloga. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia. Centro de investigación Turipaná. km 13 vía Montería-Cereté, Colombia. Telephone +57(1) 4227300 Ext. 2249. Código ORCID:000000072188948.

*** B.Sc Ingeniero agrónomo. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia. Unidad Local Carmen de Bolívar, km 13 vía Montería-Cereté, Colombia. Telephone +57(1) 4227300 Ext. 2249. Código ORCID: 0000000321727842.

**** Ph.D. Suelos y nutrición vegetal. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia. Centro de investigación Turipaná. km 13 vía Montería-Cereté, Colombia. Telephone +57(1) 4227300 Ext. 2251. Código ORCID:0000000218059487.

***** M.Sc. Biotecnología vegetal. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia. Centro de investigación Turipaná. km 13 vía Montería-Cereté, Colombia. Telephone +57(1) 4227300 Ext. 2236. Código ORCID:0000000280579483.

A completely randomized design was used for the experiment development, eight treatments was evaluated and three repetitions were carried out. *In vitro* hardened seedlings was used as a plant material. The results showed that the *Azotobacter vinelandii* IBVS13 strain with 75% nitrogen fertilization (FN) improved the accumulation capacity of dry matter in sweet potato roots, generating increases of 6.65 t / ha compared to the chemical control and 3.18 t / ha in relation to the absolute control, guaranteeing an increase in yield. The crude protein content was increased in 13.93% when inoculating the plants with this strain. In the same way, with the inoculation of strain *Pseudomonas denitrificans* IBVS2 + 50% nitrogen fertilization the crude fiber variable was increased in 31.75% compared to the absolute control, contributing effectively as a microbial biostimulant in agriculture.

Key words: Rhizobacteria, bioestimulant, *Pseudomonas denitrificans*, *Azotobacter vinelandii*, Valle del Sinú.

Recibido: octubre 10 de 2019 **Aprobado:** abril 13 de 2020

INTRODUCCIÓN

El cultivo de batata o camote (*Ipomoea batatas* L.), es uno de los alimentos más importantes en los países en desarrollo debido a su alto valor nutritivo, es importante resaltar su uso para el consumo humano y animal, así como materia prima para la agroindustria (Scott *et al.*, 1992). A nivel mundial la batata se siembra 114 países y está catalogada dentro de los cinco esenciales cultivos en más de 50 países. Asia es la región de mayor producción (Cuellar *et al.*, 2015), con un área sembrada de 8.623 millones hectáreas, con una producción anual estimada 105 millones de toneladas siendo China el principal productor con 70 millones por hectáreas (FAO, 2016).

En América latina, el cultivo de batata se destina al consumo de los países que la producen, en su mayoría con problemas de desnutrición y pobreza. Presenta grandes posibilidades para aumentar el área sembrada debido a que constituye una alternativa en la rotación de cultivos y la implementación de modelos de agricultura sostenible. Con el aumento de la población mundial se hace necesario abastecer la demanda de alimentos, una opción sustentable a esta problemática podría estar enfocada en incluir en la dieta un producto de alto valor energético como lo es la batata (Tique *et al.*, 2009).

En Colombia, la batata es un cultivo de amplia diversidad genética, sin embargo, se encuentra relegado a la producción en huertas caseras en algunas regiones del país (Flórez *et al.*, 2016). Colombia registró una producción de 291,8 toneladas en 2012, donde se resalta la participación del departamento de Sucre con el 53% de la producción nacional, seguido por Córdoba (17.13%) y Magdalena (12.88%).

Para lograr una mayor productividad en el cultivo de batata, se requiere el uso de fertilizantes de síntesis química, se estima que los cultivos absorben entre un 20 a 40% del fertilizante aplicado, el resto se pierde por diversos mecanismos, generando cuantiosas pérdidas económicas y contaminación ambiental, como la eutrofización

de cuerpos de agua, lluvia ácida, destrucción de la capa de ozono, impacto variable en la composición y funciones de la microbiota del suelo e incremento del efecto de invernadero (Grageda *et al.*, 2012; Savci, 2012).

Teniendo en cuenta estas amenazas, una de las alternativas amigables al ambiente para mitigar el uso de fertilizantes de síntesis química es la aplicación de inoculantes bacterianos a base de Rizobacterias Promotoras De Crecimiento Vegetal (PGPRs, por su siglas en inglés), que son bacterias con propiedades bioestimulantes, encargadas de promover desarrollo vegetal, producción de hormonas y enzimas, entre otras, las cuales constituyen una de las prácticas promisorias e innovadoras para el sector agrícola. Estas interacciones planta-microbio en la rizósfera son factores determinantes en la salud de las plantas, la productividad y la fertilidad del suelo (Stone *et al.*, 2000; Bent, 2006; Brundrett, 2009; Iyer y Rajkumar, 2017).

Los inoculantes bacterianos pueden contribuir a aumentar la eficiencia agronómica mejorando la absorción de nutrientes, como sucede cuando se inocula con microorganismos fijadores de nitrógeno atmosférico y a la vez se puede aumentar la disponibilidad de nutrientes poco móviles del suelo, como es el caso de bacterias solubilizadoras de fósforo (Singh *et al.*, 2016). Existen numerosos géneros bacterianos que muestran potencialidad como inoculantes entre los más aceptados se encuentran *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Bacillus*, entre otros (Farzana & Radzah, 2005; Khan & Doty, 2009; Yasmin *et al.*, 2010; Sánchez *et al.*, 2019). El éxito de un bioestimulante microbiano en el campo agrícola, está influenciado no solo por la capacidad del microorganismo para sobrevivir sino también por los efectos interactivos con los microbios nativos del suelo (Dawwam *et al.*, 2013). El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de *Azotobacter vinelandii* y *Pseudomonas denitrificans* con diferentes niveles fertilización química nitrogenada en el cultivo de batata establecido en la microrregión del Valle del Sinú.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló en la Corporación Colombiana de Investigación agropecuaria—AGROSAVIA, en el Centro de Investigación Turipaná de Cereté (Córdoba - Colombia), durante el primer semestre 2016, sus coordenadas geográficas corresponden a los 8° 31' 16" de latitud norte y 75° 58' 11" de longitud oeste.

Material vegetal

Se utilizó como material vegetal plántulas de batata cultivar Criolla de la Pozona del banco de germoplasma de Agrosavia, las cuales fueron proporcionadas por el Laboratorio de Producción Vegetal del Centro de Investigación Turipaná y obtenidas *in vitro* con el protocolo código GA-O-22. La etapa de endurecimiento de las plántulas se realizó en bandejas de 24 alveolos, empleando un sustrato integrado por la mezcla de 85% de aluivión, 10% de arena y 5% ceniza de cascarilla de arroz; las plántulas fueron establecidas en invernadero durante 40 días y los riegos fueron realizados por aspersión cada 15 a 20 minutos a una temperatura de 27°C a 31°C, con una humedad relativa la primera semana $\geq 90\%$, la segunda semana $\geq 80\%$ y la tercera y cuarta semana $\geq 70\%$.

Cepas Bacterianas

Como inoculantes microbianos se usaron las cepas bacterianas *Pseudomonas denitrificans* IBVS2 y *Azotobacter vinelandii* IBVS13, que hacen parte de la colección de trabajo del Laboratorio de Microbiología Agrícola del Centro de Investigación Turipaná. Las características de

estas cepas y su actividad PGPRs fueron descritas por Pérez y Sánchez (2017).

Preparación de inóculos

Las cepas seleccionadas fueron activadas en placas Petri con agar Luria-Bertani (LB) (Bertani, 1951), mediante el método de estriado. Las cepas ya activadas se sembraron en caldo LB en un volumen correspondiente al 10% del volumen final requerido y se dejaron en un agitador orbital a 150 rpm durante 24 horas alcanzando una concentración de 1×10^8 ufc/mL.

Establecimiento del experimento en campo

Las plantas *in vitro* previamente endurecidas fueron establecidas en campo (Figura 1a y 1b) bajo un diseño completamente aleatorizado con ocho tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron los siguientes: T1: T. absoluto (Sin inoculación, sin fertilización), T2: T. químico (sin inoculación, 100%FN), T3: IBVS2 + 50%, T4: IBVS2 + 75%FN, T5: IBVS13 + 50% FN, T6: IBVS13 + 75%FN, T7: IBVS2 + IBVS13 + 50%FN T8: IBVS2+IBVS13+75%FN. El tamaño de parcela o unidad experimental constaba de cinco surcos de 7,2 m de largo y una distancia de 1 m entre surco con una densidad de siembra 0,4 m, para un total de 2,160 plantas.

El suelo empleado para el establecimiento del cultivo presentó 1.55% MO; (mg.kg^{-1}) 11,70 P; 0,72 K; 7,25 Mg; 12,89 cmol.Kg^{-1} Ca y pH: 6,94. Las dosis de la fertilización química fueron calculadas teniendo en cuenta los requerimientos del cultivo y los resultados del análisis de suelo. Los nutrientes requeridos por la planta KCL y DAP fueron aplicados al momento de la siembra y las diferentes dosis de FN se aplicaron en dos fracciones. La



Figura 1. Cultivo de batata establecido en Centro de Investigación Turipaná en la microrregión del Valle del Sinú. a. Follaje del cultivo 60 días. b. Follaje de la batata a los 210 días.



Figura 2. Cosecha del cultivo de batata variedad criolla de la Pozona establecido en Centro de Investigación Turipaná en la microrregión del Valle del Sinú **a.** Cosecha de batata **b.** Raíces Tuberosas de batata (*Azotobacter vinelandii* más el 75 % de fertilización).

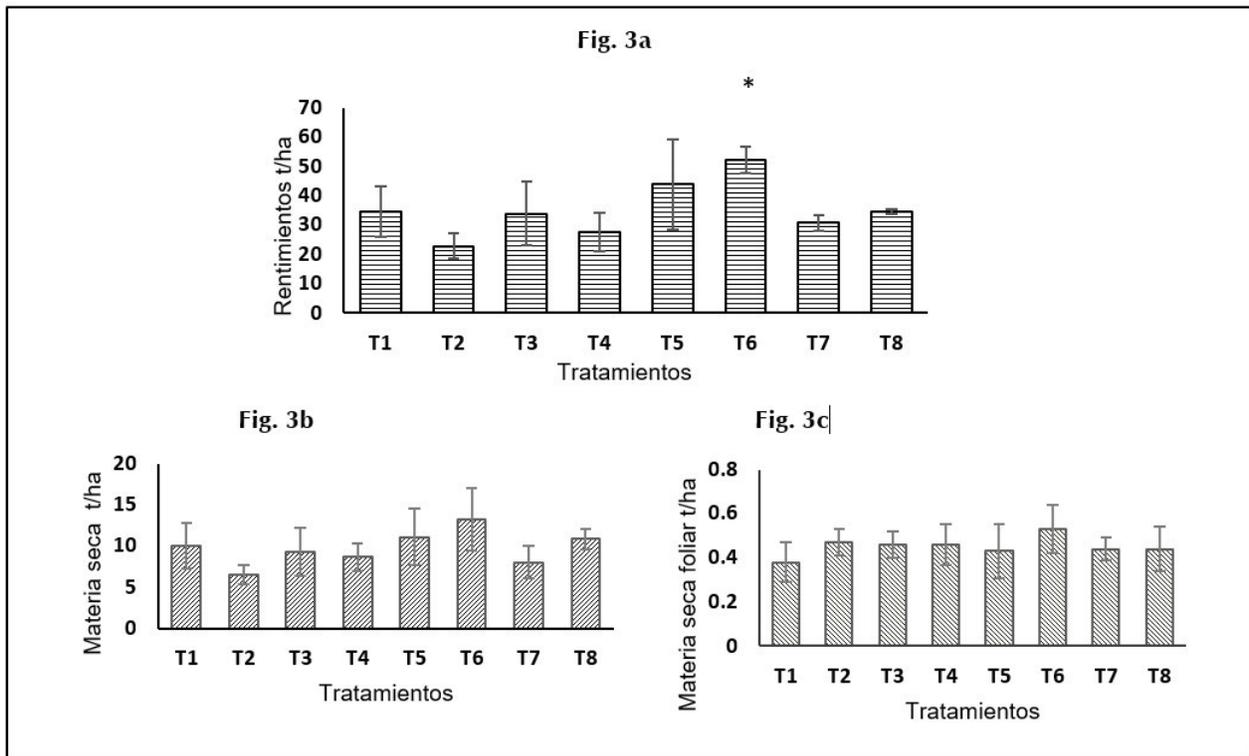


Figura 3. Efectos de inoculación de bacterias eficientes y fertilización nitrogenada en el cultivo de batata en el Valle del Sinú. **Fig.3a.** Rendimientos de tubérculos batatas **Fig.3b.** Materia seca de tubérculos. **Fig.3c.** Materia seca foliar). Los tratamientos evaluados: T1: T. absoluto (Sin inoculación, sin fertilización), T2: T. químico (sin inoculación, 100%FN), T3: IBVS2 + 50%, T4: IBVS2 + 75%FN, T5: IBVS13 + 50%FN, T6: IBVS13 + 75%FN, T7: IBVS2 +IBVS13 + 50%FN T8: IBVS2+IBVS13+75% FN . (*) para designar las diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

primera fracción correspondiente al 30% se aplicó 20 días después de la siembra (DDS), y una segunda fracción del 70% a los 40 DDS. La inoculación de las plantas con las cepas bacterianas se realizó con la FN. Las

plantas fueron inoculadas directamente en el suelo al pie de la planta con 10 mL de la suspensión bacteriana correspondiente a cada bacteria con una concentración celular de 1×10^8 UFC.mL⁻¹ en medio LB® (Bertani, 1951).

La cosecha se realizó a los 210 días de establecido el experimento (Figura 2), se midieron datos de rendimiento, producción de materia seca radicular y de la parte aérea, composición bromatológica de raíz reservante proteína bruta % (AOAC 960.52) y fibra cruda % (NTC 5122).

Análisis estadísticos

El análisis estadístico se realizó empleando el paquete estadístico SAS v 9.2 (2016). Se llevó a cabo un análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de Tukey al 5% de confianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 3a, se observan los resultados obtenidos para la variable rendimiento de raíces frescas. El tratamiento T6 presentó diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) con T2 y respecto a T1 aunque no presentó diferencias significativas se obtuvo un mayor valor medio de rendimiento (Figura 1a).

El Tratamiento T6 que incluye la inoculación de la bacteria *Azotobacter vinelandii* IBVS13 + 75%FN favoreció el llenado de raíces expresado en un mayor contenido de materia seca (Figura 3b); estos resultados pueden explicarse considerando que *Azotobacter vinelandii* al ser una bacteria de vida libre pueden comportarse como asociativa, coloniza las raíces y mejora el desarrollo de la planta a través de la producción de reguladores de crecimiento, estimulando el desarrollo radicular, permitiendo una mejor absorción de agua y nutrientes del suelo (Cassán *et al.*, 2011), razón por la cual, la FN puede favorecer su establecimiento bajo condiciones de campo. Estos resultados sugieren que la inoculación de bacterias en el cultivo de batata genera una respuesta en el rendimiento de este tubérculo. Nookaraju *et al.* (2011), reporta que el crecimiento vegetativo, el número de tubérculos y el rendimiento puede mejorarse con el uso de PGPRs y han demostrado ser beneficiosas para el desarrollo productivo de cultivo batatas (Dashti-Gibson *et al.*, 1997; Hayat *et al.*, 2010). Por tanto, las PGPRs se utilizan en la actualidad como inoculantes microbianos, los cuales reducen la fertilización química y aumentan la productividad de los cultivos (Henagamage, 2016). Además, se ha informado que el Ácido Indol Acético (AIA) exógeno producido por PGPRs aumentan el crecimiento y desarrollo de las plantas y estimula el alargamiento de las raíces y la formación de raíces laterales (Ahemad y Kibret, 2014).

Los valores más bajos de rendimiento (Figura 3a) y materia seca radicular (Figura 3b) se obtuvieron con T4 y T2. Respecto a estos resultados Añez y Espinoza (2006), han reportado que las aplicaciones excesivas de Nitró-

geno (N), durante la estación temprana de cultivos de papa pueden dar como resultado un crecimiento excesivo del follaje, retrasar la iniciación y el llenado eficiente de los tubérculos. Por su parte Yasmin *et al.* (2007), indicaron que plantas de batata de la variedad *Sepang Oren* inoculadas con las rizobacterias *Klebsiella* sp., *Erwinia* sp., *Azospirillum brasilense* y *Bacillus sphaericus* con una dosis de fertilizante de 100 kg N/ha redujo de forma significativa el rendimiento de los tubérculos en 1,5 t/ha, en comparación con las plantas tratadas con una dosis de 33,0 kg N/ha.

Respecto a los resultados de la materia seca radicular no hubo efectos significativos de la inoculación de las rizobacterias ($p \leq 0,05$) (Figura 3b). Los valores obtenidos con el T6 generaron un incremento de 6.65 t/ha con respecto al testigo químico y 3,18 t/ha en relación con el testigo absoluto. Estos resultados son similares a los reportados por Dawwan *et al.* (2013), reportaron que la bacteria *Achromobacter xylosoxidans*, en experimentos llevados a cabo en invernadero incrementaron los parámetros de crecimiento, mejoró el desarrollo y aumentó significativamente en 0,025 g/planta la materia seca de raíces de almacenamiento de plantas de batata. En el mismo sentido, varios estudios han informado que las PGPRs pueden usar diferentes mecanismos de forma simultánea, empleando la fijación biológica de Nitrógeno atmosférico (N_2), la producción fitohormonas como auxinas, citoquininas y giberelinas para mejorar la estimulación del crecimiento de las plantas (Van Loon, 2007; Bhattacharyya y Jha, 2012). Patten y Glick, 1996 informa que las AIA exógeno actúan como molécula de señalización que puede conducir a iniciación temprano de tubérculos en papa. Burr *et al.* (1978), informaron un aumento significativo en crecimiento y rendimiento tubérculos de las plantas de papa después de inocular sus semillas con *Pseudomonas putida* y *P. fluorescens* a nivel de invernadero.

Los resultados de la variable materia seca foliar indican que no hubo diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos (Figura 3c), no obstante, con T6 se obtuvo el mayor valor medio de materia seca. Grada *et al.* (2017), describen que *Azotobacter vinelandii* presenta los mejores resultados, afectando positivamente la masa seca de las plantas maíz, lo cual se supone un incremento significativo del nitrógeno en las plantas. Oswald *et al.* (2010), describieron que las PGPRs en papa atribuyeron los aumentos de los rendimientos de tubérculos en plantas tratadas con PGPRs a inducción de tubérculos tempranos rápido desarrollo del área foliar y mayor fotosíntesis.

El nitrógeno fijado deriva de las actividades de ciertas bacterias que absorben el nitrógeno atmosférico y lo

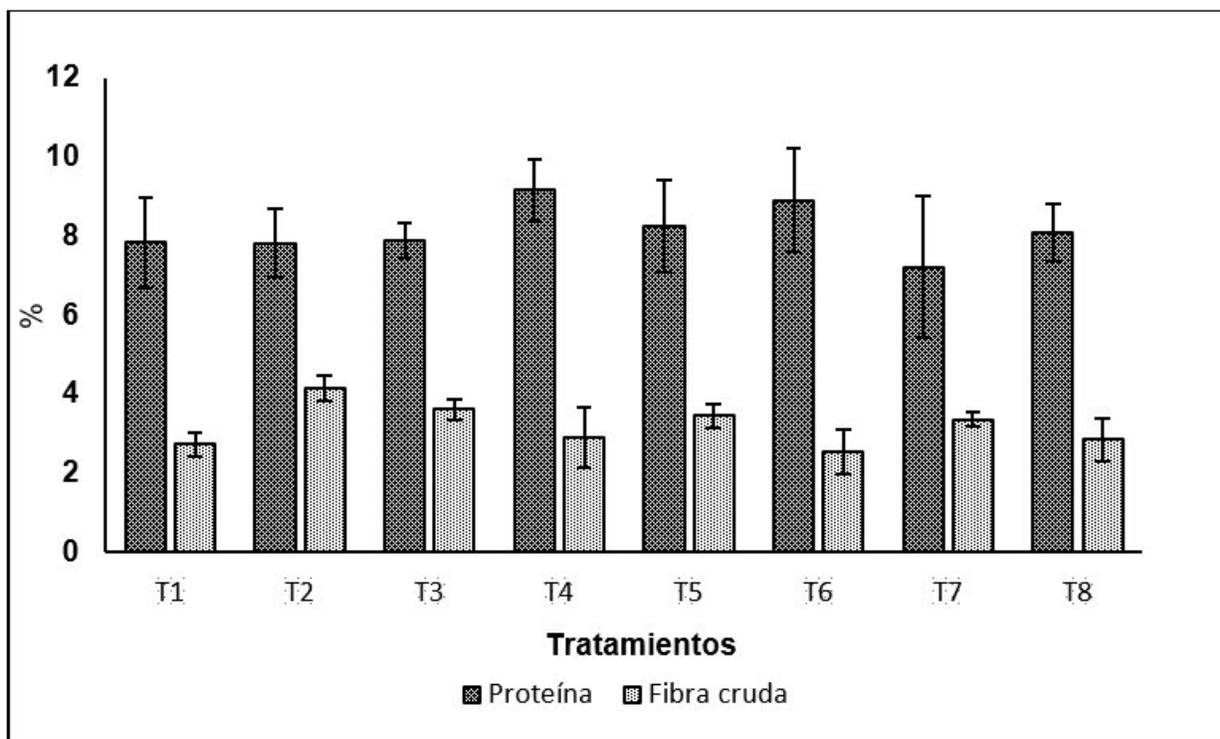


Figura 4. Análisis Bromatológicos de raíces tuberosas inoculados con bacterias eficientes en el cultivo de batata.

convierten en amonio; estas bacteria fijadoras de nitrógeno (BFN) se asocian con las raíces de las plantas y estas plantas suple energía a la bacteria, mientras que la bacteria suple a la planta nitrógeno fijado (Peoples *et al.*, 1995; Iyer y Rajkumar, 2017); los mecanismos más importantes de fijación del nitrógeno en los sistemas agrícolas son las asociaciones simbióticas, así mismo, los procesos biológicos que contribuyen al 65% de la producción total anual del nitrógeno fijado (Newton *et al.*, 2002).

La Figura 4, hace referencia al análisis bromatológico que se realizó a las raíces tuberosas, aunque no se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en estas variables; el contenido de proteína bruta fue mayor en los tratamientos inoculados con microorganismos T4 (17,26%), T5 (5,34%) y T6 (13,93%) respecto a los testigos. En las plantas, los aminoácidos son el principal componente para la síntesis de proteínas (Lam *et al.*, 1996) y, por lo tanto, juegan un papel importante en la nutrición humana. Las proteínas en los alimentos son sustancias nitrogenadas importantes ya que son necesarias para el crecimiento y la reparación de los tejidos corporales de los seres vivos (Latham, 2002). Nosheen *et al.* (2016), reportan que, la inoculación de bacterianas en condiciones de campo, mostraron mejoras significativas con incrementos de 55 a 250 % en contenidos de proteína bruta en las semillas de alazor (*Carthamus tinctorius*) por

Azotobacter vinelandii suplementado con una cuarta dosis nitrógeno y fósforo. Por su parte, Abdel-Naby *et al.* (2018), informan que en plantas de batata cultivar Abbas la aplicación de bioestimulantes a base de bacterias y actinomicetos (2 mL/L) incrementaron de forma significativa el rendimiento de las plantas, materia seca de raíz de tubérculo (%), proteína cruda (%), carbohidratos totales (%), almidón (%), azúcares totales (%), contenido de betacaroteno y vitamina C de la raíz del tubérculo en comparación con las plantas no tratadas que dieron los menores valores durante las dos estaciones evaluadas.

En relación con la fibra cruda se presentaron incrementos con respecto al testigo absoluto en los tratamientos inoculados con las bacterias, presentado la mayor media T3 (31,75 %), T5 (25,91 %), T7 (22,62 %) y T4 (6,56 %). La fibra cruda es importante en los alimentos porque es la base de una buena movilidad intestinal al aumentar el volumen y ablandar los residuos intestinales de un ser vivo (Gonzalvo *et al.*, 2001).

CONCLUSIONES

El uso de plántulas *in vitro* de batata inoculadas con *Azotobacter vinelandii* y una dosis de fertilización nitrogenada del 75%, generó un alto rendimiento en el cultivo de

batata (*Ipomoea batatas*) alcanzando un rendimiento de 52,36 t/ha y una reducción del 25% en las cantidades de fertilizante nitrogenado.

Los resultados de esta investigación sugieren que la incorporación de inoculantes microbianos al cultivo de batata favorece la acumulación de materia seca radicular y foliar, adicionalmente mejora la composición nutricional de las raíces tuberosas en cuanto a proteína bruta y fibra cruda, por tanto, los inoculantes microbianos pueden ser considerados como beneficiosos y con capacidad de mejorar la tuberización, el crecimiento y la nutrición en el cultivo de batata.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Colombiano bajo el convenio número TV16 con la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, se agradece a los Laboratorios de Microbiología Agrícola y Producción Vegetal Centro de Investigación Turipaná. Este trabajo formó parte del proyecto “Desarrollo y vinculación de tecnologías para sistemas de producción de ñame y batata para consumo fresco, transformación y exportación en el Caribe Colombiano”, que hace parte de la agenda de la investigación de AGROSAVIA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2016). Official methods of analysis of AOAC International. 20th ed. AOAC Int., Gaithersburg, MD, USA.

Ahemad, M., Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. *Journal of King Saud University-Science*, 26(1),1-20.

Abdel-Naby, H. M. E., Fathy, E. L. E., Doklega, S. M., Wafa, N. M. (2018). Response of Sweet Potato Plants to Mineral and Bio-Fertilization. *Journal Plant Production*, 9 (12), 969-974.

Añez B., Espinoza, W. (2006). Respuesta de la papa a la aplicación fraccionada de nitrógeno y potasio. *Agricultura Andina*, 11, 28-38.

Bent, E. (2006). Induced systemic resistance mediated by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and fungi (PGPF). In Multigenic and induced systemic resistance in plants (pp. 225-258). Springer, Boston, MA.

Bertani G. (1951). Studies on lysogenesis. I. The mode of phage liberation by lysogenic *Escherichia coli*. *Journal of Bacteriology*, 62, 293-300.

Bhattacharyya P.N., Jha D.K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agri-

culture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28 (4),1327-1350.

Brundrett, M. C. (2009). Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. *Plant and Soil*, 320(1-2), 37-77.

Burr, T. J., Schroth, M. N., Suslow, T. (1978). Increased potato yields by treatment of seedpieces with specific strains of *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida* [Bacterization]. *Phytopathology*, 68,1377.

Cassán, F., Perrig, D., Sgroy, V., Luna, V. (2011). Basic and technological aspects of phytohormone production by microorganisms: *Azospirillum* sp. as a model of plant growth promoting rhizobacteria. In Bacteria in agrobiolgy: plant nutrient management (pp. 141-182). Berlín, Heidelberg, Springer.

Cuéllar, A. E., Martínez, L. R., Espinosa, R. R., Cuéllar, E.E. (2015). Efecto del Nitrógeno y hongos micorrízicos arbusculares en dos clones comerciales de boniato sobre un suelo Pardo mullido carbonatado. *Centro Agrícola*, 42(2),39-46.

Dashti-Gibson J., Davis P., Radcliff B. (1997). On the determinants of the success of economic sanctions: An empirical analysis. *American Journal of Political Science*, 41(2), 608-618.

Dawwam G.E., Elbeltagy A., Emara H.M., Abbas I.H., Hassan M.M. (2013). Beneficial effect of plant growth promoting bacteria isolated from the roots of potato plant. *Annals of Agricultural Sciences*, 58 (2),195-201.

FAO, (2016). Sweet potato production statistics. Faostat. Roma. FAO. Disponible en: línea. Consulta: septiembre 2018.

Farzana, Y., Radizah, O. (2005). Influence of rhizobacterial inoculation on growth of the sweet potato cultivar. *On Line Journal of Biological Science*, 1(Suppl 3),176-179.

Flórez, D., Uribe, C., Contreras, C. (2016). *Perspectivas tecnológicas y comerciales para el cultivo de la batata en Colombia*. Mosquera, Colombia: Corpoica, p 92.

Gonzalvo, S, Nieves, D, Ly J, Macías, M, Carón, M, Martínez, V. (2001) Algunos aspectos del valor nutritivo de alimentos venezolanos destinados a animales monogástricos. *Livestock Res. Rural Devel.*, 13, 66-74.

Grageda, O.A., Díaz, A., Peña, J. J., Vera, J.A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6),1261-1274.

Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review. *Environmental and Experimental Botany*, 68 (1),14-25.

- Henagamage, A.P., Seneviratne, G., Abayasekera, C., Kodikara, K.M.S. (2016). Screening for crop response to Diazotrophic bacteria isolated from potato rhizosphere. *Ceylon Journal of Science*, 45(3),55-63.
- Iyer, B., Rajkumar, S. (2017). Host specificity and plant growth promotion by bacterial endophytes. *Current Research in Microbiology and Biotechnology*, 5 (2),1018-1030.
- Khan, Z., Doty, S.L. (2009). Characterization of bacterial endophytes of sweet potato plants. *Plant and Soil*, 322(1-2),197-207.
- Lam, H.M., Coschigano, K.T., Oliveira, IC., Melo-Oliveira, R., Coruzzi, G.M. (1996). The molecular-genetics of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants. *Annual Review of Plant Biology*, 47(1), 569-593.
- Latham, M.C. (2002). Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Macronutrientes: carbohidratos, grasas y proteínas. Roma: Fao, Línea; Consulta: septiembre 2019.
- Newton, N.E., Notman, H., Reynolds, V. (2002). Hunting of mammalian prey by Budongo Forest chimpanzees. *Folia Primatologica*, 73(5), 281-283.
- Nookaraju, A., Kappachery, S., Yu, J.W., Park, S.W. (2011). Rhizobacteria influence potato tuberization through enhancing lipoxigenase activity. *American Journal of Potato Research*, 88(6), 441-449.
- Nosheen, A., Bano, A., Yasmin, H., Keyani, R., Habib, R., Shah, ST., Naz, R. (2016). Protein quantity and quality of safflower seed improved by NP fertilizer and Rhizobacteria (*Azospirillum* and *Azotobacter* spp.). *Frontiers in Plant Science*, 7,174.
- NTC 5122. Norma Técnica Colombiana. (2002). Alimentos para animales. Determinación del contenido de fibra cruda. Método con filtrado intermedio.
- Oswald, A., Calvo-Velez, P., Zúñiga-Dávila, D., Arcos-Pineda, J. (2010). Evaluating soil rhizobacteria for their ability to enhance plant growth and tuber yield in potato. *Annals of Applied Biology*, 157(2), 259-271.
- Patten, C.L., Glick, B.R. (1996). Bacterial biosynthesis of indole-3-acetic acid. *Canadian Journal of Microbiology*, 42(3), 207-220.
- Peoples, M.B., Herridge, D. F., Ladha, J. K. (1995). Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production. *Plant and Soil*, 174(1-2), 3-28.
- Pérez-Pazos, J.V., Sánchez-López, D.B. (2017). Caracterización y efecto de *Azotobacter*, *Azospirillum* y *Pseudomonas* asociadas a *Ipomoea Batatas* del Caribe Colombiano. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 19(2), 39-59.
- Sánchez-López, D.B., Pérez-Pazos, J.V., Luna-Castellanos, L.L., García-Peña, J.A y Espitia-Montes, A.A. (2019). *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum lipoferum* como bioestimulantes en cultivo de *Ipomoea batatas* Lam. *Agronomía Mesoamericana*, 30(2), 563-576.
- Savci, S. (2012). An agricultural pollutant: chemical fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(1), 73-80.
- Scott, G., Herrera, J., Espinola, N., Daza, M., Fonseca, C., Fano, H., Benavides, M. (Eds). (1992). *Desarrollo de productos de raíces y tubérculos* (p. 502). Lima, Perú. CIP.
- Singh, D. P., Singh, H. B., Prabha, R. (Eds.). (2016). *Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity* (p. 342). New York, NY, Springer.
- Stone, J.K., Bacon, C.W., White, JF. (2000). An overview of endophytic microbes: endophytism defined. *Microbial Endophytes*, 3, 29-33.
- Tique, J., Chaves, B., Zurita, J.H. (2009). Evaluación agronómica de diez clones promisorios CIP y dos materiales nativos de *Ipomoea batatas* L. *Agronomía Colombiana*, 27 (2),151-158.
- Van Loon, L.C. (2007). Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. *European Journal of Plant Pathology*, 119(3), 243-254.
- Yasmin, F., Othman, R., Sijam, K., Saad, M.S. (2007). Effect of PGPR inoculation on growth and yield of sweet potato. *Journal of Biological Sciences*, 7(2), 421-424.
- Yasmin, F., Othman, R., Sijam, K., Saad, M.S. (2010). Characterization of beneficial properties of plant growth-promoting rhizobacteria isolated from sweet potato rhizosphere. *African Journal of Microbiology Research*, 3(11), 815-821.