



Azotobacter chroococcum y *Azospirillum lipoferum* como bioestimulantes en cultivo de *Ipomoea batatas* Lam.¹

Azotobacter chroococcum and *Azospirillum lipoferum* as biostimulants in *Ipomoea batatas* Lam. culture

Diana Beatriz Sánchez-López², Jazmín Vanessa Pérez-Pazos², Lily Lorena Luna-Castellanos³,
Joaquín Alfonso García-Peña², Amaury Aroldo Espitia-Montes²

- ¹ Recepción: 3 de julio, 2018. Aceptación: 30 de octubre, 2018. 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”, financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, y se llevó a cabo en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia y el Laboratorio de Microbiología Agrícola del Centro Investigación Turipaná, Montería, Córdoba, Colombia.
- ² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia, Centro de Investigación Turipaná, Km 13 Vía Montería-Cereté, Colombia. dbsanchez@agrosavia.co (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0001-9715-4097>), jvperez@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0002-1889-8248>), jagarcia@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0002-1805-9487>), aespitia@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0002-8057-9483>).
- ³ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia, Sede El Carmen de Bolívar, Km. 1 vía Zambrano, El Carmen de Bolívar-Bolívar, Colombia. llunac@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0003-2172-7842>).

Resumen

Introducción. La utilización excesiva de fertilizantes nitrogenados en cultivos de batata contribuye con la contaminación de los ecosistemas, para disminuir este efecto y mejorar la productividad del cultivo, la incorporación, de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPRs, por sus siglas en inglés) en las estrategias de manejo del cultivo, constituyen una herramienta sostenible. **Objetivo.** El objetivo de esta investigación fue incorporar las cepas bacterianas *Azotobacter chroococcum* IBCR19 y *Azospirillum lipoferum* IBSC7 en la fertilización nitrogenada y evaluar su efecto en el rendimiento y composición bromatológica de las raíces tuberosas de batata (*Ipomoea batatas* Lam). **Materiales y métodos.** El estudio se realizó en el municipio de Corozal (Sucre, Colombia), durante los meses de junio a octubre del 2017. Se utilizó un área experimental de 840 m², donde se establecieron veinticuatro parcelas con esquejes apicales de la accesión 15020078, distribuidas bajo un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial aumentado (3x2+2). Se evaluó materia seca radicular, rendimiento y composición bromatológica de las raíces de batata. **Resultados.** El rendimiento fresco y de materia seca radicular presentó diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos, en donde la aplicación de *A. chroococcum* IBCR19 y un 75 % de fertilización nitrogenada alcanzó los mayores valores medios de rendimiento y materia seca radicular 12,18 t.ha⁻¹ y 2,92 t.ha⁻¹, respectivamente. De igual forma, las concentraciones de proteína y extracto etéreo difirieron significativamente ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos inoculados con relación al testigo absoluto. **Conclusión.** Con base en los resultados obtenidos se puede inferir que la inoculación con *A. chroococcum* IBCR19 logró reducir en un 25 % los niveles de fertilización nitrogenada y constituye una cepa promisoriosa como bioestimulante.

Palabras clave: fertilidad, nitrógeno, productividad, boniato, bacteria.



Abstract

Introduction. The excessive use of nitrogen fertilizers in sweet potato crops contributes to the ecosystems contamination; to reduce this effect and improve crop productivity, the incorporation of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) in the strategies of crop management constitute a sustainable tool. **Objective.** The objective of this research was to incorporate the bacterial strains *Azotobacter chroococcum* IBCR19 and *Azospirillum lipoferum* IBSC7 in the nitrogen fertilization, and to evaluate their effect on the yield and bromatological composition of sweet potato tuberous roots (*Ipomoea batatas* Lam). **Materials and methods.** The study was made in the municipality of Corozal (Sucre, Colombia) during the months of June to October of 2017. An experimental area of 840 m² was used where twenty-four plots with apical cuttings of the 15020078 accession were established, and distributed under a completely randomized design with an increased factorial arrangement (3x2+2). Root dry matter, yield, and bromatological composition of sweet potato roots were evaluated. **Results.** Fresh yield and root dry matter showed significant differences ($p \leq 0.05$) among the treatments, where the application of *A. chroococcum* IBCR19 and 75% of nitrogen fertilization reached the highest average values of yield and dry matter of 12.18 t.ha⁻¹ y 2.92 t.ha⁻¹, respectively. Similarly, the protein and ethereal extract concentrations differed significantly ($p \leq 0.05$) between the inoculated treatments in relation to the absolute control. **Conclusion.** Based on the results obtained, it can be inferred that the inoculation with *A. chroococcum* IBCR19 reduced the nitrogen fertilization levels by 25% and constitutes a promising strain as a biostimulant.

Keyword: fertility, nitrogen, productivity, boniato, bacterium.

Introducción

La batata o boniato (*Ipomoea batatas* Lam.) es una planta tropical originaria de las zonas tropicales de América (Yildirim et al., 2011), se destaca por contener vitamina A, vitamina C, betacarotenos, azúcares reductores, fibra (celulosa-pectinas), proteína y minerales (Martí et al., 2011; García-Méndez et al., 2016). La batata está recibiendo atención como uno de los cultivos alimenticios con mayor potencialidad, ya que puede complementar o sustituir alimentos básicos en la nutrición (Nasution et al., 2017) y tener un papel importante en el sistema global de nutrición en países en vías de desarrollo.

La agricultura mundial está orientada a la búsqueda de alternativas sustentables de origen biológico que sean económicas y que mejoren la rentabilidad de los cultivos, ya que el uso inapropiado de fertilizantes de origen químico que afectan el ambiente, causa contaminación de aguas subterráneas, ríos y salinización de suelos (Phogat et al., 2014), lo que conlleva a un desbalance en las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos. Por lo tanto, se requirieron soluciones para mantener la productividad de los cultivos y reducir simultáneamente el uso de fertilizantes químicos. Una posibilidad es el uso de bioinoculantes a base de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPRs, por sus siglas en inglés), los cuales pueden integrarse en las prácticas agrícolas y constituyen una herramienta prometedora en los sistemas integrados de manejo de cultivos (Di-Benedetto et al., 2017); además, generan beneficios como la fijación de nitrógeno, absorción de los nutrientes, promoción de crecimiento de ramas y raíces, control o supresión de enfermedades y mejoras en la estructura del suelo (Gupta, 2012; Dawwam et al., 2013; Armada, 2015; Altaf y Ahmad, 2017). Varios estudios han reportado el potencial de las PGPRs *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum lipoferum*, bacterias de vida libre, que se encuentran comúnmente en el suelo, el agua y la rizosfera, que de manera directa e indirecta facilitan el enraizamiento y crecimiento de las plantas (Sánchez y Pérez, 2018). En el caso de *Azospirillum*, se ha encontrado en espacios intracelulares en tejidos vasculares de tallos y raíces (Robson et al., 2015; Doncel et al., 2016) y han sido utilizadas como inoculantes agrícolas, debido a su capacidad para estimular el crecimiento de las plantas a través de la fijación de nitrógeno y la síntesis de

hormonas vegetales (Baars et al., 2018). Como lo mencionaron Farzana y Radizah (2005), en un experimento con macetas e inoculadas con cinco aislados *Azospirillum* sp. provenientes de batata cultivar Melaka y Oren, los cuales presentaban mecanismos directos de producción de ácido indol-3-acético (AIA) *in vitro*; tres de estos aislamientos aumentaron significativamente el crecimiento de las plantas y elementos nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) a los sesenta días después de la siembra, ellos concluyeron con aumento en el peso seco de la raíz del cultivar Melaka que podría aumentar en la tuberización.

Las poblaciones microbianas del suelo están involucradas en actividades fundamentales que aseguran la estabilidad y productividad, tanto de los agroecosistemas como de los ecosistemas naturales (Pedraza et al., 2010). Las interacciones plantas-microorganismos abarcan una amplia gama de relaciones, uno o ambos organismos pueden tener efectos benéficos, afectan la calidad de la planta y el suelo, y generan un entorno dinámico en la rizosfera (Farrar et al., 2014). Según El-Tarabily (2008), las bacterias para poder estimular el crecimiento de las plantas, dependen de la capacidad que posean para proliferarse a través de la raíz; algunas bacterias como *Azospirillum*, pueden colonizar las plantas inoculadas y proliferarse en todo el sistema radicular, en respuesta al propio crecimiento de la raíz y las plantas, las cuales producen y liberan sustancias carbonadas, vitaminas y sustratos específicos, que constituyen una fuente de energía y de estructura para los microorganismos circundantes (De-la-Fe-Pérez et al., 2015). Las bacterias fijadoras de nitrógeno no simbióticas del género *Azotobacter chroococcum* son comunes en todas partes del mundo, este microorganismo utiliza los exudados de las raíces y proporciona a las plantas nitrógeno compuesto que secreta durante la fijación de nitrógeno atmosférico (Monib et al., 1979); se ha detectado que estos exudados por parte de la raíz presentan diferentes azúcares, ácidos orgánicos, aminoácidos, vitaminas, fenólicos y ácidos grasos (Prashar et al., 2014), proporcionando al microorganismo su fuente de energía, esta actividad asociativa con la planta refleja el vigor y aumento apreciable en la ganancia de nitrógeno. La inoculación *Azotobacter* sp. en la siembra de papa, aceleró la formación de tubérculos y aumentó el contenido de almidón y el rendimiento en el cultivo (Shikina, 1961). Este conjunto de interacciones entre suelo, raíces y microorganismos, da lugar al desarrollo de un ambiente dinámico conocido como rizosfera, donde pueden desarrollarse activamente y en equilibrio (Pedraza et al., 2010).

El efecto beneficioso del *Azotobacter* no solo se debe a su capacidad bioestimulante, sino a su acción nitrofixadora y excreciones metabólicas que liberan ciertas proteínas y enzimas que pueden producir modificaciones fisiológicas y metabólicas en las plantas (Mezei et al., 1997). El *Azospirillum* también es considerado como un fijador de nitrógeno atmosférico, ya sea como bacteria libre o en asociación con las plantas, y participa en varias transformaciones relacionadas con el ciclo del nitrógeno, además, produce diversas hormonas como auxinas, giberelinas, ácido abscísico y citoquininas, promoviendo el crecimiento vegetal (De-Bashan et al., 2014), mejorando la absorción de nutrientes, favoreciendo el rendimiento de los cultivos, reduciendo el costo de la fertilización y minimizando la contaminación ambiental, al disminuir la lixiviación de nitrógeno (Da-Silveira et al., 2016).

El objetivo de esta investigación fue incorporar las cepas bacterianas *Azotobacter chroococcum* IBCR19 y *Azospirillum lipoferum* IBSC7 en la fertilización nitrogenada y evaluar su efecto en el rendimiento y composición bromatológica de las raíces tuberosas de batata (*Ipomoea batatas* Lam.), en la zona de Sabanas Colinadas del Caribe colombiano.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el año 2017, desde junio hasta octubre, en una finca, localizada en la zona de Sabanas Colinadas en el Caribe colombiano, en la vereda Las Tinas en el municipio de Corozal, Sucre, Colombia, a una altura

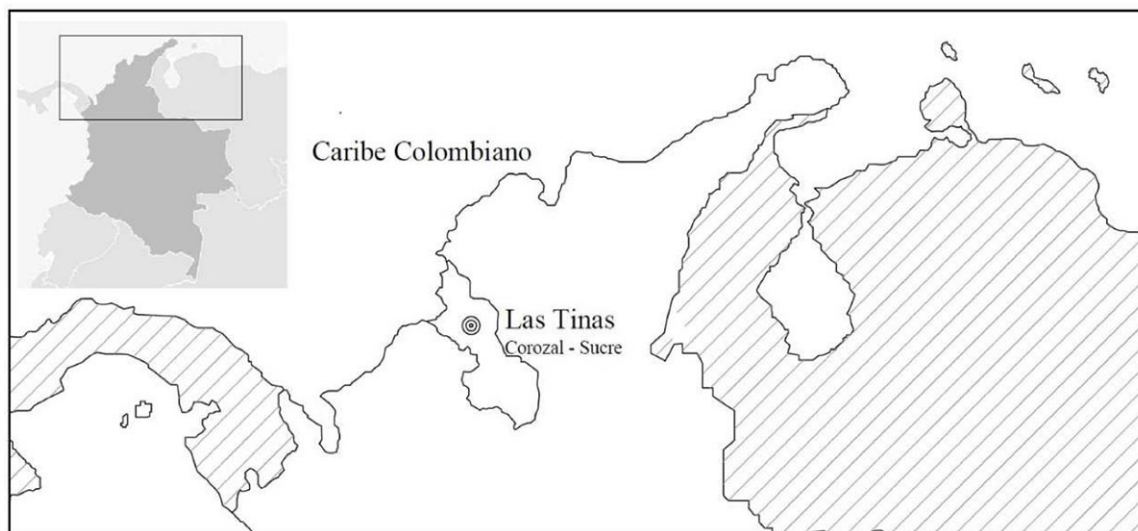


Figura 1. Localización geográfica de experimento en la zona de Sabanas Colinadas en el Caribe colombiano, vereda Las Tinajas, Corozal, Colombia. 2017.

Figure 1. Geographical location of the experiment in the Sabanas Colinas area in the Colombian Caribbean of Las Tinajas, Corozal, Colombia. 2017

de 176 msnm; ubicada geográficamente a 10,1°58' 5,12" de latitud norte y 73°13'29,94" de latitud oeste, con una temperatura media de 26,7 °C y precipitaciones con regímenes pluviométricos entre 1000 y 1100 mm (Figura 1).

Material vegetal para siembra

Se utilizaron esquejes apicales de batata clon Tainung de la accesión 15020078 del banco de germoplasma de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Turipaná. Para la multiplicación se estableció un vivero en un área de 10 m², con la finalidad de obtener material de siembra para el experimento. El suelo se homogeneizó para brindar condiciones óptimas a la semilla. Los esquejes apicales se cortaron con un tamaño de 20-25 cm de longitud con 5-6 nudos, a una distancia entre plantas de 0,20 m. Posteriormente, se realizó un corte a los sesenta días después de la siembra (DDS). Se aplicaron riegos diarios durante los primeros 8 DDS y riegos suplementarios 1-2 veces por semana para asegurar el adecuado crecimiento de las plantas, adicionalmente, se realizaron controles manuales de malezas y aplicación de 2 ml.l⁻¹ del insecticida imidacloprid para el control de insectos comedores de follaje.

Diseño experimental

Se estableció en campo parcelas experimentales (35 m²) de batata clon Tainung distribuidas según un arreglo factorial 3x2+2 aumentado completamente aleatorizado, para un total de ocho tratamientos con tres repeticiones. Los tratamientos se describen en el Cuadro 1. Las plantas en la parcela se sembraron a 1 m entre hileras y 0,4 m entre plantas, para una densidad de siembra de 25 000 plantas por hectárea.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en el cultivo de *I. batatas* Lam., clon Tainung, con *A. chroococcum* y *A. lipoferum* y fertilización nitrogenada (FN). Vereda Las Tinias en el municipio de Corozal, Sucre, Colombia. 2017.

Table 1. Treatments evaluated in the culture of *I. batatas* Lam., Tainung clone with *A. chroococcum* and *A. lipoferum* and nitrogen fertilization (FN). Vereda Las Tinias in the municipality of Corozal, Sucre, Colombia. 2017.

Tratamientos	Descripción		
	FN %	Cepa bacteriana	Dosis de N/ha (kg)
T1	0	Sin inoculación	0
T2	100	Sin inoculación	160
T3	50	<i>A. chroococcum</i> IBCR19	80
T4	75	<i>A. chroococcum</i> IBCR19	120
T5	50	<i>A. lipoferum</i> IBSC7	80
T6	75	<i>A. lipoferum</i> IBSC7	120
T7	50	<i>A. chroococcum</i> IBCR19 + <i>A. lipoferum</i> IBSC7	80
T8	75	<i>A. chroococcum</i> IBCR19 + <i>A. lipoferum</i> IBSC7	120

Determinación de la actividad PGPRs *in vitro* de las cepas bacterianas

Prueba cualitativa fijación de nitrógeno: para la realización de este ensayo se preparó medio de cultivo semisólido libre de nitrógeno (Wilson y Knight, 1952) y se inoculó con los aislados obtenidos, con el objetivo de determinar si estos tenían la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico. Como control negativo se utilizó medio sin inocular. Se observó la capacidad de los aislados para crecer en medio sin nitrógeno, lo cual se indicó como positivo o negativo según la presencia o no de crecimiento.

Para la evaluación de la producción de NH_3 los aislamientos fueron inoculados en caldo nutritivo y se incubaron por un período de 24 h a 30 °C. Al sobrenadante se le adicionó una solución de fenol/nitroprusiato y una solución de hidróxido de sodio/hipoclorito de sodio en relación 1:1 y se dejó reaccionar por 30 min a 60 °C, la lectura se realizó a 630 nm (Chaney y Marbach, 1962), en un espectrofotómetro Spectronic 601 Milton Roy.

Cepas bacterianas

Se emplearon las rizobacterias *A. chroococcum* IBCR19, con un 88 % de identidad a la cepa con número de accesoión CP010415.1 del Genbank, y *A. lipoferum* IBSC7, con un 94 % de identidad a la cepa con número de accesoión FQ311868.1 del Genbank (Pérez-Pazos y Sánchez-López, 2017). Ambas cepas provenían del banco de trabajo del Laboratorio de Microbiología Agrícola del Centro Investigación Turipaná de AGROSAVIA, a las cuales se les realizaron pruebas de habilidades de promoción de crecimiento *in vitro*, como producción de AIA y solubilización de fósforo (Pérez-Pazos y Sánchez-López, 2017).

Inoculación de cepas bacterianas

En los tratamientos T3, T4, T5, T6, T7 y T8 todas plantas se inocularon directamente en el suelo, al pie de la planta con 10 ml de la suspensión bacteriana, medida con una absorbancia a 540 nm (Termoscientific-Genesys 10S UV-Vis), correspondiente a una concentración celular de 1×10^8 UFC.ml⁻¹ en medio Luria Bertani (LB) (Bertani,

Cuadro 2. Propiedades físicoquímicas del suelo utilizado en el experimento del cultivo de *I. batatas* Lam. Vereda Las Tinias, Corozal, Colombia. 2017.

Cuadro 2. Physico-chemical properties of used soil in the *I. batatas* Lam. Vereda Las Tinias, Corozal, Colombia. 2017.

Parámetro	Unidad	Valor
Textura: Franco arenosa		
pH		8,07
Conductividad eléctrica	dS.m ⁻¹	0,37
Materia orgánica (MO)	g.100 g ⁻¹	1,18
Fósforo disponible (P) Bray II	mg.kg ⁻¹	39,32
Nitrógeno (N)	g100.g ⁻¹	0,0012
Azufre disponible (S)	mg.kg ⁻¹	1,9
Calcio intercambiable (Ca)	cmol(+).kg ⁻¹	22,12
Magnesio intercambiable (Mg)	cmol(+).kg ⁻¹	2,03
Potasio intercambiable (K)	cmol(+).kg ⁻¹	0,26
Sodio intercambiable (Na)	cmol(+).kg ⁻¹	0,15
Capacidad intercambio cationico (CICE)	cmol(+).kg ⁻¹	24,56
Hierro disponible (Fe) Olsen	Mg.kg ⁻¹	6,67
Manganeso disponible (Mn) Olsen	Mg.kg ⁻¹	1,13
Zinc disponible (Zn) Olsen	mg.kg ⁻¹	≤1,00
Cobre disponible (Cu) Olsen	mg.kg ⁻¹	≤1,00
Boro disponible (Cu) Olsen	mg.kg ⁻¹	0,32

1951). Para las co-inoculaciones dobles se mezclaron los inoculantes microbianos en proporciones iguales al momento de inocular y se utilizó el mismo volumen (10 ml). Estas inoculaciones se realizaron dos veces, junto con la fertilización del cultivo.

Fertilización química

La fertilización química se aplicó en el suelo, a ambos lados de la planta, una primera fracción (30 %) se aplicó a los 20 DDS y la fracción restante a los 37 DDS. Las dosis de los fertilizantes se calcularon teniendo en cuenta los requerimientos del cultivo y el análisis de suelo (Cuadro 2). Los requerimientos de nitrógeno se estimaron según Cusumano y Zamudio (2013), los cuales determinaron que la batata requiere para una producción de 20 t.ha⁻¹, 149 kg.ha⁻¹ de N. Basado en este estimativo se calculó que para las condiciones de este suelo se necesitó una dosis de 160 kg.ha⁻¹ de N. La fertilización nitrogenada se realizó con sulfato de amonio ((NH₄)₂SO₄) como producto comercial, para una dosis de fertilización total de 780 kg.ha⁻¹, equivalente a la dosis recomendada de 160 kg.ha⁻¹ de N (100 %).

Variables de respuestas

La cosecha de las raíces tuberosas se realizó a los 120 DDS, al momento de la cosecha se midió el rendimiento y producción de materia seca radicular, donde se cosecharon los tres surcos centrales de cada parcela, se tomaron las medidas de peso de la producción de raíces obtenidas. Además, se obtuvo la composición bromatológica de la

raíz, de submuestras de 200 g tomadas de esos surcos centrales, expresada en los parámetros: proteína % (AOAC 960.52), ceniza % (AOAC 942.05), extracto etéreo % (AOAC 2003.06) (AOAC, 2016), fibra cruda % (NTC 5122) (INLOTEC, 2002). La energía bruta de los tubérculos se determinó usando una bomba calorimétrica (Parr 6200, Parr Instrument Company, Moline, IL) y se expresó como Mcal.kg⁻¹.

Análisis estadístico

Los datos estadísticos de rendimiento, materia seca radicular y composición bromatológica de la raíz, se analizaron mediante un ANOVA y una prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0,05$), bajo un diseño factorial aumentado 3x2+2, empleando el software SAS 9.4 (español).

Resultados

Las cepas bacterianas *A. chroococcum* IBCR19 y *A. lipoferum* IBSC7 se cultivaron en medio semisólido libre de nitrógeno y se obtuvo crecimiento positivo (Cuadro 3), lo que constituye una prueba cualitativa presuntiva de la capacidad de fijar nitrógeno. La cepa *A. chroococcum* IBCR19 produjo $5,69 \pm 6,71$ g.ml⁻¹ de NH₃ y *A. lipoferum* IBSC7 $4,09 \pm 4,01$ g.ml⁻¹.

Los resultados del efecto de la inoculación de bacterias en mezcla con diferentes niveles de fertilización nitrogenada sobre los rendimientos y materia seca, mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Cuadro 3). Al realizar la prueba de comparación de medias Tukey ($p \leq 0,05$) para la variable de rendimientos, los valores de T4, T6, T7 y T8, presentaron diferencias significativas con relación a los tratamientos sin inoculación al 0 %FN (T1) y 100 %FN (T2). Respecto a la materia seca radicular, hubo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con el tratamiento T4 e incrementos en T6, T7 y T8 de un 72, 58 y 39 %, respectivamente, respecto al tratamiento sin inoculación 0 %FN (T1).

Cuadro 3. Respuesta a la incorporación de microorganismos y fertilización nitrogenada (FN) en el rendimiento y materia seca radicular en cultivo *I. batatas* Lam., clon Tainung. Vereda Las Tinajas, Corozal, Colombia. 2017

Table 3. Response to the incorporation of microorganisms and nitrogen fertilization (FN) in yield and dry matter in culture *I. batatas* Lam. Tainung clone. Vereda Las Tinajas, Corozal, Colombia. 2017.

Tratamientos	FN%	Cepas bacterianas	Dosis de N.ha ⁻¹	Rendimientos t.ha ⁻¹	Materia seca radicular (t.ha ⁻¹)
T1	0	Sin inoculación	0	6,95 b	1,57 c
T2	100	Sin inoculación	160	3,18 c	0,76 d
T3	50	<i>A. chroococcum</i> IBCR19	80	7,10 b	1,71 c
T4	75	<i>A. chroococcum</i> IBCR19	120	12,18 a	2,92 a
T5	50	<i>A. lipoferum</i> IBSC7	80	6,96 b	1,62 c
T6	75	<i>A. lipoferum</i> IBSC7	120	11,50 a	2,71 ab
T7	50	<i>A. chroococcum</i> IBCR19 + <i>A. lipoferum</i> IBSC7	80	10,80 a	2,48 ab
T8	75	<i>A. chroococcum</i> IBCR19 + <i>A. lipoferum</i> IBSC7	120	9,86 a	2,19 bc
CV				10,26%	11,55%

Medias con por lo menos una letra en común no difieren estadísticamente según prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). CV: coeficiente de variación / Averages with at least one letter in common do not differ statistically according to Tukey's test ($p \leq 0,05$). CV: coefficient of variation.

El tratamiento donde se utilizó la mayor dosis de nitrógeno (T2), presentó los valores más bajos, tanto de rendimiento como de materia seca radicular, con 3,18 t.ha⁻¹ y 0,76 t.ha⁻¹, respectivamente (Cuadro 3).

El resultado de la caracterización bromatológica de la batata se muestra en el Cuadro 4, la variable de proteína, presentó diferencia significativa ($p \leq 0,05$) en los tratamientos T5, T4 y T7, respecto al T1 en un 32, 30 y 31 %, respectivamente, por el contrario, los tratamientos T5 y T6 presentaron incrementos de 3 y 2 %, respectivamente, respecto a T2 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis bromatológico de raíces tuberosas del cultivo de *I. batatas* Lam., clon Tainung. Vereda Las Tinias, Corozal, Colombia. 2017.

Table 4. Bromatological analysis of tuberous roots of the culture of *I. batatas* Lam. Tainung clone. Vereda Las Tinias, Corozal, Colombia. 2017.

Tratamientos	FN %	Cepas bacterianas	Proteínas (%p/p)	Extracto etéreo (%p/p)	Fibra cruda (%p/p)	Ceniza (%p/p)	Energía bruta (kcal.kg ⁻¹ Ms)
T1	0	Sin inoculación	10,84 b	1,24 cb	0,77 a	5,55 a	4,25 a
T2	100	Sin inoculación	13,85 ab	4,19 a	0,73 a	5,61 a	4,18 a
T3	50	<i>A. chroococcum</i> IBCR19	14,13 a	3,86 a	0,77 a	5,50 a	4,12 a
T4	75	<i>A. chroococcum</i> IBCR19	13,22 ab	4,13 a	0,80 a	6,57 a	4,30 a
T5	50	<i>A. lipoferum</i> IBSC7	14,33 a	4,38 a	0,79 a	6,69 a	4,12 a
T6	75	<i>A. lipoferum</i> IBSC7	13,06 ab	2,10 b	0,79 a	7,16 a	4,18 a
T7	50	<i>A. chroococcum</i> IBCR19 + <i>A. lipoferum</i> IBSC7	14,16 a	0,48 c	0,86 a	5,86 a	4,19 a
T8	75	<i>A. chroococcum</i> IBCR19 + <i>A. lipoferum</i> IBSC7	13,01 ab	0,57 c	0,81 a	6,67 a	4,13 a
CV			8,21%	13,23%	11,05%	13,69%	4,03%

Medias con por lo menos una letra en común no difieren estadísticamente según prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). CV: coeficiente de variación. FN: fertilización nitrogenada / Averages with at least one letter in common do not differ statistically according to Tukey's test ($p \leq 0,05$). CV: coefficient of variation. FN: nitrogen fertilization. CV: coefficient of variation. FN: nitrogen fertilization.

De igual forma, en la variable de extracto etéreo se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos inoculados ($p \leq 0,05$) respecto al tratamiento sin inoculación al 0 % FN. Los valores medios en los tratamientos T5, T4 y T3 presentaron incrementos con el tratamiento sin inoculación 100 % FN en un 253, 233 y 211 %, respectivamente. En las variables de ceniza y fibra cruda no se encontraron diferencias estadísticas; sin embargo, las cenizas se incrementaron con respecto al T1 en los tratamientos T5, T8, T6, T4 y T7 con un 21, 20, 29, 18 y 6 %, respectivamente, y respecto al T2 en los tratamientos T6, T5, T8, T4 y T7 en un 8, 19, 18, 17 y 4 %, respectivamente. Los valores de fibra cruda mostraron aumentos en los tratamientos T7, T8, T4, T5, T6 y T3 en un 18, 11, 10, 8, 8, y 5 %, respectivamente, en comparación con el tratamiento sin inoculación 0 % FN. Asimismo, se presentaron incrementos en los tratamientos T7, T8, T5, T6 y T4 respecto al tratamiento sin inoculación 100 %NF en un 11, 5, 2, 2 y 4 %, respectivamente (Cuadro 4). En cuanto a la variable de energía bruta no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$), el T4 presentó un aumento de 1,7 % respecto a T1 y de un 2,8 % respecto a la aplicación del T2 (Cuadro 4).

Discusión

Las cepas bacterianas en estudio se cultivaron en medio semisólido libre de nitrógeno y se obtuvo crecimiento, lo que constituye una prueba cualitativa presuntiva de la capacidad de fijar nitrógeno (Cuadro 3); ambas tuvieron la capacidad de producir amoníaco, lo cual es un atributo importante de las PGPRs que influye en el crecimiento de las plantas indirectamente (Wani et al., 2007). Se ha observado que algunas especies de este género tales como *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum lipoferum*, aisladas de papa, tomate, maíz, trigo y arroz, presentan una alta actividad nitrogenasa, lo que implica que sean buenas fijadoras de nitrógeno (Gaak y Pshenichnyi, 1955; Naseri et al., 2013; Esquivel-Cote et al., 2017). De igual forma, Pérez-Pazos y Sánchez-López (2017) reportaron la capacidad de estas cepas bacterianas de producir AIA y solubilización de fósforo, medida como la disponibilidad de ortofosfatos, en este caso, la bacteria *A. chroococcum* IBCR19 presentó una producción de AIA de $49.72 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ y 9.36 ppm de ortofosfatos disponibles, por su parte, la cepa de *A. lipoferum* IBSC7 se reportó con una producción de AIA de $7.41 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ y de ortofosfatos disponibles 7.14 ppm ; lo que indicó que el *A. chroococcum* IBCR19 y el *A. lipoferum* IBSC7, tuvieron variadas actividades como PGPRs y sus resultados las perfilaron como bioestimulantes capaces de generar un incremento en el cultivo de batata. Varios estudios indican que el AIA producido por bacterias como PGPRs, puede aumentar el número de raíces laterales y el tamaño del sistema radicular, aumentando así la captación de agua y nutrientes del suelo (Subair, 2015; Si et al., 2018).

La inoculación con *A. chroococcum* IBCR19 y *A. lipoferum* IBSC7 de manera individual y en mezcla, aumentó sustancialmente el rendimiento de los tubérculos de *Ipomoea batatas*, se observó una respuesta positiva en los tratamientos con T3, T4, T5, T6, T7 y T8 (Cuadro 4); estos tubérculos fueron inoculados con las rizobacterias más una fertilización química, de igual forma, Saad et al. (1999) reportaron que al inocular cepas de *Azospirillum brasilense* en cultivos de *Ipomoea batatas* con y sin aplicación de fertilizante nitrogenado en una relación 1:3 (33 kg), las plantas inoculadas con *Azospirillum* UPMB14 y *Azospirillum* sp7 produjeron rendimientos de raíces de $27.21 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $22.41 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente, con un crecimiento vegetativo vigoroso y un mayor contenido de N en las raíces y las hojas, que las plantas que recibieron la tasa normal de fertilizante nitrogenado, $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ recomendados para la producción de batata en suelos arenosos. En el mismo sentido, Alarcón et al. (2008) encontraron que la aplicación combinada de *Glomus* sp. y de *A. chroococcum* INIFAT- 6, en mezcla con un 75% de fertilizante nitrogenado generó incrementos en rendimientos de los tubérculos (*Ipomoea batatas*, clon CEMSA 78-354), en mezcla con un 75 % de fertilizante respecto al tratamiento absoluto y la inoculación individual de *A. chroococcum* INIFAT- 6.

El comportamiento de las PGPRs se ha observado también en otros cultivos y, puede estar relacionado con los mecanismos de biosíntesis de sustancias promotoras del crecimiento vegetal y el incremento de la absorción de nutrientes, procesos de fijación del nitrógeno atmosférico (N_2) (González y Fuentes, 2017), lo cual puede influir directamente e indirectamente en el metabolismo y fisiología de las plantas (Bhattacharyya y Jha, 2012; Souza et al., 2015).

Respecto a la materia seca radicular se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), los mayores valores fueron obtenidos con el T4 e incrementos en T6 y T7 (Cuadro 4). De igual forma, Arcos y Zúñiga (2016) reportaron que en los cultivos de *Solanum tuberosum*, la inoculación con la bacteria *Azotobacter* Azo18M1+ 5 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ estiércol ovino ($156.73 \text{ g}\cdot 500 \text{ g}^{-1}$) aumentó los contenidos de materia seca y los rendimientos ($2.60 \text{ kg}\cdot 18 \text{ m}^{-2}$) respecto al tratamiento sin inocular. La inoculación de *A. brasiliense* en semillas de maíz aumentó la concentración de nitrógeno en las plantas y las variables de crecimiento, como materia seca radicular, en comparación con el tratamiento control (Oliveira et al., 2018); igualmente, Othman et al. (1998) reportaron en estudios con *A. lipoferum* sp7, productores de AIA, que el contenido de materia seca total mejoró significativamente, además, favoreció la absorción de nutrientes de las raíces y hojas en el cultivo de batata y su posterior utilización en la nutrición de la

planta, lo que conllevó a un aumento significativo en el sistema radical y suministro de elementos necesarios como el nitrógeno. Según Russell et al. (2013), *Azospirillum* usa la quimiotaxis para desplazarse a través del suelo y encontrar condiciones óptimas para la supervivencia.

Es importante resaltar que el tratamiento sin inoculación al 100 %FN en este experimento, presentó el menor rendimiento y contenido de materia seca radicular (Cuadro 3). En cultivos de *S. tuberosum* y *S. phureja* los procesos de tuberización pueden controlarse modificando el aporte de nitrógeno a las plantas, ya que este nutriente no afecta la inducción de la tuberización, pero si inhibe la formación del tubérculo después de que la inducción se ha producido (Ortiz y Flórez, 2008). Además, dosis altas de fertilizantes químicos repercuten en los rendimientos, donde el exceso de nitrógeno favorece a un aumento en el follaje y no de los tubérculos. Asimismo, Jerez y Martín (2012) argumentaron que el proceso de la tuberización puede controlarse modificando el aporte de nitrógeno a la planta, conllevando a una producción eficiente en el cultivo.

En relación con el contenido bromatológico de las raíces tuberosas de batata, los contenidos de cenizas presentaron una tendencia al incremento con la inoculación de bacterias, respecto al tratamiento sin inoculación (Cuadro 4), lo que se traduce en una mejora en la calidad de las raíces, posiblemente las bacterias tienen la capacidad de producir sustancias estimulantes sobre la planta, las cuales al sintetizar tienen un efecto directo sobre las raíces tuberosas. Los valores de fibra cruda a igual que el porcentaje de cenizas tuvieron una tendencia al incremento en todos los tratamientos inoculados con bacterias respecto al tratamiento sin inoculación. La fibra cruda es importante en la dieta, pues es la base de una buena movilidad intestinal, al aumentar el volumen y ablandar los residuos intestinales de un ser vivo, contribuyendo a la salud humana (Gonzalvo et al., 2001). La inoculación de bacterias puede generar un valor agregado al producto de *Ipomoea batatas*.

En cuanto a la variable de energía bruta se encontraron incrementos con la inoculación de *A. chroococcum* IBCR19+75 %FN. Esta evidencia sugiere un aporte fundamental de las PGPRs a la nutrición de las raíces tuberosas, donde la inoculación con *A. chroococcum* y *A. lipoferum*, influyó positivamente sobre la calidad nutritiva. Es de resaltar que la aplicación de fertilizante químico al 100 %, no generó efectos notorios en estas variables, sin embargo, la utilización de bacterias generó incrementos considerables, por consiguiente, pueden ser atribuidos a la actividad biológica desarrollada por las cepas inoculadas, debido a que estas rizobacterias han sido reportados con actividades fosfatodisolventes por la producción de ácidos orgánicos y AIA (Cabello et al., 2018), por ende, es probable que estas biomoléculas hayan sido utilizadas por *A. chroococcum* y *A. lipoferum* como fuente de carbono para la producción del ATP requerido en el proceso de fijación biológica de nitrógeno (Saikia et al., 2012). Por otra parte, Subair (2015) reportó que el uso de microorganismos en la rizosfera de las raíces de planta de papa puede mejorar la estructura del suelo, al ser agregadas a la tierra a través de las bacterias produciendo exopolisacáridos (EPS). Los EPS son una mezcla compleja de electrolitos macromoleculares contenida en el exterior de una célula bacteriana y excretada como moco que contribuye a la agregación del suelo como un adhesivo. Varios autores han reportado la producción de los EPS *in vitro* en las bacterias, entre las cuales están *Azotobacter vinelandii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Azospirillum brasilense*, *Pantoea deleyi*, *Enterobacter amnigenus* y *Serratia liquefaciens*, entre otras (Iqbal et al., 2002; Sánchez y Bonilla, 2014; García, 2018). Según Arguello (2015), la producción de EPS por los microorganismos, contribuye a la agregación de partículas del suelo e incrustaciones en la estructura del suelo; los agregados forman núcleos orgánicos conformados por partículas de carbono orgánico y minerales rodeando de arcilla (Six et al., 2000), favoreciendo a la estabilidad y la sostenibilidad de los suelos. De igual forma, Cabrera et al. (2018) informaron que existen numerosos reportes que muestran que las bacterias responden a los exudados de las raíces a través de la expresión de diversos genes, tales como aquellos asociados con la síntesis de ESP para la formación de biofilm, protegiendo a las bacterias de los factores adversos del medio ambiente. Estas bacterias fijadoras de nitrógeno producen enzimas que toman el N en su forma gaseosa de la atmósfera y, con los azúcares que obtienen de la planta, lo fijan dentro de la biomasa bacteriana, si las bacterias

satisfacen sus necesidades de nitrógeno, sus excedentes los pasan a la planta (Arias et al., 2007), favoreciendo de esta manera al desarrollo y productividad de los cultivos y a la estabilidad de los suelos.

Conclusiones

La inoculación de cepas de *A. chroococcum* y *A. lipoferum* nativas provenientes de suelos de Sabanas Colinadas, ejercieron un efecto positivo sobre las variables estudiadas. El tratamiento T4 *A. chroococcum* IBCR19 + 75 %FN obtuvo los mayores incrementos en el rendimiento de raíces tuberosas (12,18 t.ha⁻¹) y materia seca radicular (2,92 t.ha⁻¹). La aplicación de *A. chroococcum* permitió reducir en un 25 % la dosis recomendada de fertilización nitrogenada para esta zona; esta bacteria tiene potencial para la producción de un bioestimulante en el cultivo de batata. Las rizobacterias *A. chroococcum* y *A. lipoferum* constituyen una herramienta de uso potencial para mitigar el uso de fertilizantes sintéticos y reducir sus efectos adversos en el ambiente y en la salud humana.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento por el financiamiento de este estudio al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Colombiano bajo el convenio TV16 con la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y al Laboratorio de Microbiología Agrícola del Centro de Investigación Turipaná.

Literatura citada

- Alarcón, A., J.Á. Morales, E. Oliva, Á. Vega, y T. Boicet. 2008. Efecto de la aplicación de *Azotobacter chroococcum* y *Glomus* sp. en el cultivo del boniato (*Ipomoea batatas* (L), Lam). Rev. Electrón. Granma Cienc. 12(2). <https://docplayer.es/55850948-Revista-electronica-gramma-ciencia-vol-12-no-2-mayo-agosto-2008-issn-x.html> (consultado 23 abr. 2018).
- Altaf, M.M., and I. Ahmad. 2017. *In vitro* and *in vivo* biofilm formation by *Azotobacter* isolates and its relevance to rhizosphere colonization. Rhizosphere 3:138-142. doi:10.1016/j.rhisph.2017.04.009
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2016. Official methods of analysis of AOAC International. 20th ed. AOAC Int., Gaithersburg, MD, USA.
- Arcos, J., y D. Zúñiga. 2016. Rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas con capacidad para mejorar la productividad en papa. Rev. Latinoam. Papa 20(1):18-31.
- Arias, F.V. López, y P. Guerrero. 2007. Tratamiento de cultivos sin suelo. Hort. Ecol. 5(2):13-15.
- Arguello, H. 2015. Evaluation of the effect of a biofertilizer linked to a mineral organic substrate on lettuce grown under greenhouse. Rev. Colomb. Cienc. Hort. 9:72-85. doi:10.17584/rcch.2015v9i1.3747
- Armada, E. 2015. Efectos de microorganismos rizosféricos autóctonos (bacterias y hongos micorrízico arbusculares) sobre la tolerancia de las plantas al déficit hídrico en zonas semiáridas: mecanismos implicados. Tesis Dr., Universidad de Granada, Granada, ESP.
- Baars, O., X. Zhang, M.I. Gibson, A.T. Stone, F.M.M. Morel, and M.R. Seyedsayamdost. 2018. Crochelins: siderophores with an unprecedented iron-chelating moiety from the nitrogen-fixing bacterium *Azotobacter chroococcum*. Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 57:536-541. doi:10.1002/anie.201709720

- Bertani, G. 1951. Studies on lysogenesis. I. The mode of phage liberation by lysogenic *Escherichia coli*. J. Bacteriol. 62:293-300.
- Bhattacharyya, P.N., and D.K. Jha. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. World J. Microbiol. Biotechnol. 28:1327-1350. doi:10.1007/s11274-011-0979-9
- Cabello, R., M. Gamarra, y D. García. 2018. Caracterización molecular de *Azospirillum* sp., *Azotobacter* sp. y *Pseudomonas* sp. promotoras del crecimiento vegetal de cultivos de *Solanum tuberosum* y *Zea mays*. Sagasteguiana 2:145-156.
- Cabrera, E.V.R., B. Bonilla, y M. Aguilar. 2018. Interacciones entre plantas y bacterias promotoras de crecimiento vegetal. Rev. Citecsa 10(15):23-31.
- Chaney, A.L., and E.P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. Clin. Chem. 8(2):130-132.
- Cusumano, C., y N. Zamudio. 2013. Manual técnico para el cultivo de batata (camote o boniato) en la provincia de Tucumán (Argentina). Ediciones INTA, ARG.
- da-Silveira, A., V. Sala, E.J. Cardoso, E. Labanca, and M. Cipriano. 2016. Nitrogen metabolism and growth of wheat plant under diazotrophic endophytic bacteria inoculation. Appl. Soil Ecol. 107:313-319. doi:10.1016/j.apsoil.2016.07.005
- Dawwam, G.E., A. Elbeltagy, H.M. Emara., I.H. Abbas, and M.M. Hassan. 2013. Beneficial effect of plant growth promoting bacteria isolated from the roots of potato plant. Ann. Agric. Sci. 58:195-201. doi:10.1016/j.aos.2013.07.007
- De-Bashan, L.E., G. Holguin, B.R. Glick, y Y. Bashan. 2014. Bacterias promotoras de crecimiento en plantas para propósitos agrícolas y ambientales. En: R. Ferrera-Cerrato, y A. Alarcón, editores, Microbiología agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico, planta-microorganismo. Editorial Trillas, Ciudad de México, MEX. p. 170-224.
- de-la-Fe-Pérez, Y., A. Díaz-de-la-Osa, G.M. Restrepo-Franco, V.L. Baldani, y A. Hernández-Rodríguez. 2015. Diversidad de bacterias diazotróficas asociativas potencialmente eficientes en cultivos de importancia económica. Rev. Cub. Cienc. Biol. 4(1):17-26.
- Di-Benedetto, N.A., M.R. Corbo, D. Campaniello, M.P. Cataldi, A. Bevilacqua, M. Sinigaglia, and Z. Flagella. 2017. The role of plant growth promoting bacteria in improving nitrogen use efficiency for sustainable crop production: a focus on wheat. AIMS Microbiol. 3:413-434. doi: 10.3934/microbiol.2017.3.413
- Doncel, A., L. Chamorro, y A. Pérez. 2016. Actividad *in vitro* de bacterias endófitas promotoras de crecimiento asociadas con pasto colosoana en el municipio de Corozal, Sucre. Rev. Colomb. Cienc. Anim. 8:351-360.
- El-Tarabily, K.A. 2008. Promotion of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plant growth by rhizosphere competent 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase-producing streptomycete actinomycetes. Plant Soil 308:161-174. doi:10.1007/s11104-008-9616-2
- Esquivel-Cote, R., G. Tsuzuki-Reyes, R.M. Ramírez-Gama, and P. Huante. 2017. Effect of inoculation with *Azospirillum* sp., and nitrogenous fertilization on the growth and production of tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.). Agroproductividad 10(7):88-93.
- Farzana, Y., and O. Radizah. 2005. Influence of rhizobacterial inoculation on growth of the sweetpotato cultivar. Am. J. Biochem. Biotechnol. 1(3):176-179.
- Farrar, K., D. Bryant, and N. Cope-Selby. 2014. Understanding and engineering beneficial plant-microbe interactions: plant growth promotion in energy crops. Plant Biotechnol. J. 12:1193-1206. doi:10.1111/pbi.12279
- Gaak, O.Y., and I.P. Pshenichnyi. 1955. The effectiveness of specific varieties of *Azotobacter*. Zemledelie 4:87-91.
- García, E. 2018. Efecto de mutantes de *Azospirillum brasilense* en la producción de polisacáridos sobre el crecimiento de *Arabidopsis thaliana*. Cienc. Nicolaita 73:29-41.

- García-Méndez, A.D., M.Y. Pérez-Damiz, A.A. García-Méndez, y P.M. Madriz-Iztúriz. 2016. Caracterización postcosecha y composición química de la batata (*Ipomoea batatas* (L.) Lamb.) variedad Topera. *Agron. Mesoam.* 27:287-300. doi:10.15517/am.v27i2.21426
- González, F., and M. Fuentes. 2017. Mechanism of action of five plant growth promoters microorganism. *Rev. Cienc. Agr.* 34(1):17-31. doi:10.22267/rcia.173401.61
- Gonzalvo, S., D. Nieves, J. Ly, M. Macías, M. Carón, y V. Martínez. 2001. Algunos aspectos del valor nutritivo de alimentos venezolanos destinados a animales monogástricos. *Livest. Res. Rural Dev.*13(2). <http://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd13/2/gonz132.htm> (consultado 23 abr. 2018).
- Gupta, V.V.S.R. 2012. Beneficial microorganisms for sustainable agriculture. *Austral. Microbiol.* 33:113-115.
- ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). 2002. Norma técnica colombiana NTC 5122: Alimentos para animales. Determinación del contenido de fibra cruda. Método con filtrado intermedio. ICONTEC, COL.
- Iqbal, A., H.N. Bhatti, S. Nosheen, A. Jamil, and M.A. Malik. 2002. Histochemical and physicochemical study of bacterial exopolysaccharides. *Biotechnology* 1(1):28-33. doi:10.3923/biotech.2002.28.33
- Jerez, E., y R. Martín. 2012. Comportamiento del crecimiento y el rendimiento de la variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) Spunta. *Cul. Trop.* 33(4):53-58.
- Martí, H.R., G.B. Corbino, y H. D'Chudil. 2011. La batata: el redescubrimiento de un cultivo. *Ciencia hoy* 21(121):17-23.
- Mezei, M., M. Popović, L. Kovačev, N. Mrkovački, N. Nagl, and D. Malenčić. 1997. Effect of *Azotobacter* strains on sugar beet callus proliferation and nitrogen metabolism enzymes. *Biol. Plant.* 40:277-283. doi:10.1023/A:1001028922433
- Monib, M., Y. Abd-el-Malek, I. Hosny, and M. Fayez. 1979. Effect of *Azotobacter* inoculation on plant growth and soil nitrogen. *Zentralbl. Bakteriologie. Naturwiss.* 134(2):140-148. doi:10.1016/S0323-6056(79)80040-3
- Naseri, R., A. Moghadam, F. Darabi, A. Hatami, and G.R. Tahmasebi. 2013. The effect of deficit irrigation and *Azotobacter chroococcum* and *Azospirillum brasilense* on grain yield, yield components of maize (SC 704) as a second cropping in western Iran. *Bull. Environ. Pharmacol. Life Sci.* 2:104-112.
- Nasution, R.A., A.M. Tangapo, I. Taufik, and P. Aditiawati. 2017. Comparison of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) diversity and dynamics during growth of Cilembu sweet potato (*Ipomoea batatas* L var. Rancing) in Cilembu and Jatininggar Site, Indonesia. *J. Pure Appl. Microbiol.* 11:837-846. doi:10.22207/JPAM.11.2.23
- Oliveira, I.J., J.R. Fontes, B.F. Pereira, and A. Muniz. 2018. Inoculation with *Azospirillum brasiliense* increases maize yield. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 5:6. doi:10.1186/s40538-018-0118-z
- Ortiz, L.Y., y V.J. Flórez. 2008. Comparación cuantitativa de ácido abscísico y citoquininas en la tuberización de *Solanum tuberosum* L. y *Solanum phureja* Juz. et Buk. *Agron. Colomb.* 26(1):32-38.
- Othman, R., Z. Shamsuddin, M.R. Matior, and L. Maira. 1998. Growth enhancement of sweet potato through application of *Azospirillum* and IAA-producing rhizobacteria. *UPM Res. Rep.* 2:31-31.
- Pedraza, R.O., K.R.S. Teixeira, A. Fernández, I. García, B.E. Baca, R. Azcón, V.L.D. Baldani, y R. Bonilla. 2010. Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. *Revisión. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* 11:155-164. doi:10.21930/rcta.vol11_num2_art:206
- Pérez-Pazos, J.V., y D.B. Sánchez-López. 2017. Caracterización y efecto de *Azotobacter*, *Azospirillum* y *Pseudomonas* asociadas a *Ipomoea batatas* del Caribe Colombiano. *Rev. Colomb. Biotecnol.* 19(2):35-46. doi:10.15446/rev.colomb.biote.v19n2.69471

- Phogat, V., M.A. Skewes, J.W. Cox, G. Sanderson, J. Alam, and J. Šimůnek. 2014. Seasonal simulation of water, salinity and nitrate dynamics under drip irrigated mandarin (*Citrus reticulata*) and assessing management options for drainage and nitrate leaching. *J. Hydrol.* 513:504-516. doi:10.1016/j.jhydrol.2014.04.008
- Prashar, P., N. Kapoor, and S. Sachdeva. 2014. Rhizosphere: Its structure, bacterial diversity and significance. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 13:63-77. doi:10.1007/s11157-013-9317-z
- Robson, R.L., R. Jones, R. Robson, A. Schwartz, and T.H. Richardson. 2015. *Azotobacter* genomes: the genome of *Azotobacter chroococcum* NCIMB 8003 (ATCC 4412). *PLoS One* 10(6):e0127997. doi:10.1371/journal.pone.0127997
- Russell, M.H., A.N. Bible, X. Fang, J.R. Gooding, S.R. Campagna, M. Gomelsky, and G. Alexandre. 2013. Integration of the second messenger c-di-GMP into the chemotactic signaling pathway. *mBio* 4(2):e00001-13. doi:10.1128/mBio.00001-13
- Saad, M.S., A.A. Sabuddin, A.G. Yunus, and Z.H. Shamsuddin. 1999. Effects of *Azospirillum* inoculation on sweetpotato grown on sandy tin-tailing soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 30:1583-1592. doi:10.1080/00103629909370310
- Saikia, S.P., D. Bora, A. Goswami, K.D. Mudoi, and A. Gogoi. 2012. A review on the role of *Azospirillum* in the yield improvement of non leguminous crops. *Afr. J. Microbiol. Res.* 6:1085-1102. doi:10.5897/AJMR11.019
- Sánchez, D., y R. Bonilla. 2014. Respuesta vegetal de acacia decurrens a la inoculación con rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal bajo estrés salino. *Temas Agrarios* 19:159-172.
- Sánchez, D.B., y J.V. Pérez. 2018. Caracterización y evaluación de PGPRs sobre el crecimiento de plántulas de *Dioscorea rotundata* in vitro. *Agronomía Costarricense* 42(2):75-91. doi:10.15517/rac.v42i2.33780
- Shikina, A.P. 1961. Effect of organo-mineral and bacterial fertilizers on yield utilization and quality of potato tubers. *Izv. Akad. Nauk. Kazakh. SSR. Sev. Bot. Pochvoved.* 4:3-14.
- Si, C., C. Shi, H. Liu, X. Zhan, Y. Liu, D. Wang, D. Meng, and L. Tang. 2018. Influence of two nitrogen forms on hormone metabolism in potential storage roots and storage root number of sweetpotato. *Crop Sci.* 58:1-11. doi:10.2135/cropsci2018.01.0067
- Six, J., K. Paustian, E.T. Elliott, and C. Combrink, 2000. Soil structure and organic matter. I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:681-689.
- Souza, Rd., A. Ambrosini, and L.M. Passaglia. 2015. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genet. Mol. Biol.* 38:401-419. doi:10.1590/S1415-475738420150053
- Subair, H. 2015. Isolation and Screening Bacterial Exopolysaccharide (EPS) from potato rhizosphere in highland and the potential as a producer Indole Acetic Acid (IAA). *Proc. Food Sci.* 3:74-81. doi:10.1016/j.profoo.2015.01.007
- Wani, P.A., M.S. Khan, and A. Zaidi. 2007. Effect of metal tolerant plant growth promoting *Bradyrhizobium* sp. (vigna) on growth, symbiosis, seed yield and metal uptake by greengram plants. *Chemosphere* 70:36-45. doi:10.1016/j.chemosphere.2007.07.028
- Wilson, P.W., and S.C. Knigh. 1952. Experiments in bacterial physiology. Burgess, Minneapolis, MN, USA.
- Yildirim, Z., Ö. Tokuşoğlu, and G. Öztürk. 2011. Determination of sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] genotypes suitable to the Aegean region of Turkey. *Turk. J. Field Crops* 16:48-53.