

Respuesta de *Physalis peruviana* L. A la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfato*

Physalis peruviana L. response to inoculation with phosphorus solubilizing bacteria

Diana Beatriz Sánchez López^{1§}, Felipe Andrés Romero Perdomo¹ y Ruth Rebeca Bonilla Buitrago¹

¹Laboratorio de Microbiología de Suelos-Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Km 14 vía Mosquera-Cundinamarca-Colombia. Tel: (057)4227300. Ext: 1401, (fromerop@corpoica.org.co; rbonilla@corpoica.org.co). [§]Autor para correspondencia: dbsanchez@corpoica.org.co.

Resumen

La implementación de bacterias solubilizadoras de fosfato (BSF) como inoculantes biológicos se ha convertido en una alternativa promisorio para proveer la necesidad nutricional fosfórica en suelos tropicales, disminuyendo el uso de fertilizantes químicos. Nuestro objetivo fue evaluar 12 cepas solubilizadoras de fosfato (PO_4), aisladas de la rizósfera de *Physalis peruviana* L., sobre la promoción de crecimiento de éste cultivo. *Pseudomonas* sp. UVAG42, *Bacillus* sp. UVAG45, UVLO26 y UVLO22 fueron las cepas que generaron mayor promoción de crecimiento bajo condiciones de invernadero empleando 50% de fosfato tricálcico (FT) respecto a un testigo absoluto y 100% de FT. A estas cuatro cepas se les evaluó la capacidad de solubilización de PO_4 , con diferentes fuentes de carbono asociadas a exudados radiculares, y la producción de indoles. Los resultados demostraron que las cuatro cepas presentan la capacidad para solubilizar PO_4 , donde los mejores resultados ($p < 0.05$) se obtuvieron en presencia de ácido málico, y producir indoles. El análisis de correlación entre todas las variables medidas mostró que no existe una asociación entre éstas ($p > 0,05$), evidenciando que posiblemente la promoción de crecimiento presentada se debió a una integración de diversas capacidades definidas para una bacteria promotora de crecimiento vegetal (BPCV). Nuestros hallazgos muestran que el proceso de solubilización de fósforo basado en el uso de fuentes de baja solubilización como FT, acompañado

Abstract

The implementation of solubilizing bacteria (BSF) as biological inoculants has become a promising alternative to provide phosphate nutritional need in tropical soils, reducing the use of chemical fertilizers. The objective was to evaluate 12 phosphate solubilizing strains (PO_4), isolated from the rhizosphere of *Physalis peruviana* L. on promoting growth of this crop. *Pseudomonas* sp. UVAG42, *Bacillus* sp. UVAG45, UVLO26 and UVLO22 were the strains producing more growth promotion under greenhouse conditions using 50% tricalcium phosphate (FT) with respect to an absolute control and 100% FT. These four strains were evaluated solubilization capacity of PO_4 , with different carbon sources associated with root exudates, and production of kinds. The results showed that all four strains have the ability to solubilize PO_4 , where best results ($p < 0.05$) were obtained in the presence of malic acid, and producing indoles. Correlation analysis between all variables showed an association between them ($p > 0.05$) does not exist, demonstrating that possibly promoting growth was brought to a defined integration of various capacities for plant growth promoting bacteria (PGPR). Our findings show that phosphorus solubilization process based on the use of sources of low solubilization as FT, accompanied by BSF may be a viable farming alternative *Physalis peruviana* L., reducing the economic, ecological and social costs of this crop of great economic importance to the country as an export product.

* Recibido: enero de 2014
Aceptado: abril de 2014

por BSF puede ser una alternativa viable para el cultivo de *Physalis peruviana* L., reduciendo los costos económicos, ecológicos y sociales de éste cultivo de gran importancia económica para el país, como producto de exportación.

Palabras claves: BPCV, *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Physalis peruviana* L., biofertilizante.

Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV) son usualmente definidas como microorganismos que pueden crecer en o alrededor de tejidos de plantas, estimulando el crecimiento de éstas mediante varios mecanismos (Compant *et al.*, 2005). Dentro de los diferentes mecanismos se encuentran la fijación biológica de nitrógeno, solubilización y mineralización de fosfato, y síntesis de hormonas vegetales como indoles y giberelinas (Graham *et al.*, 2000). Ante la estimulación demostrada por BPCV en el desarrollo de diferentes cultivos, como *Zea mays* L., *Lactuca sativa* y *Solanum lycopersicum* L. (Yazdani *et al.*, 2009), su utilización se ha convertido en una alternativa para disminuir el uso de fertilizantes químicos y aliviar diversos estreses de la planta, causado por la falta o el exceso de disponibilidad de algún nutriente en el suelo (Fu *et al.*, 2010).

El fósforo (P), después del nitrógeno, es el segundo macronutriente más limitante para el crecimiento de las plantas (Yadav *et al.*, 1997). Para solucionar de manera sostenible ésta deficiencia, se ha planteado el uso de bacterias solubilizadoras de fosfatos (BSF) como inoculantes para el aumento de la disponibilidad y absorción de P por cultivos de interés económico (Kumar *et al.*, 2001). Dentro de los cultivos que han adquirido importancia recientemente en nuestro país, se encuentra la *Physalis peruviana* L.; esta es una especie frutícola andina relevante por su potencial para la exportación como fruta fresca, generando divisas por varios millones de dólares al año (Zapata *et al.*, 2002); sin embargo, pocos estudios se conocen respecto al uso de BSF sobre la eficiencia en la fertilización fosfórica en dicha especie frutícola. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar microorganismos con potencial de promoción de crecimiento vegetal a partir de cepas aisladas de *Physalis peruviana* L. sobre el crecimiento y desarrollo de esta especie.

Se emplearon 12 cepas presuntivas de *Pseudomonas* sp. y *Bacillus* sp.: UVLO18, UVLO22, UVLO25, UVLO26, UVLO27, UVAG37, UVAG38, UVAG41, UVAG42, UVAG45, UVAAG57 y UVAAG63. Estas fueron aisladas de la rizósfera de cultivos de *Physalis peruviana* L. en los municipios de Ventaquemada y Arcabuco, Boyacá,

Keywords: PGPR, *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Physalis peruviana* L., biofertilizer.

The plant growth promoting bacteria (PGPR) are usually defined as microorganisms that can grow in or around plant tissues, stimulating their growth through several mechanisms (Compant *et al.*, 2005). Among the various biological mechanisms are nitrogen fixation, phosphate solubilization and mineralization, and plant hormone synthesis as “indoles” and gibberellins (Graham *et al.*, 2000). Before the stimulation demonstrated by PGPR in the development of different crops such as *Zea mays* L., *Lactuca sativa* and *Solanum lycopersicum* L. (Yazdani *et al.*, 2009), its use has become an alternative to reduce the use of chemical fertilizers and alleviate various plant stresses caused by the lack or excess of any nutrient availability in the soil (Fu *et al.*, 2010).

Phosphorus (P), after nitrogen, is the second most limiting macronutrient for plant growth (Yadav *et al.*, 1997). To address this deficiency sustainably, has raised the use of phosphate solubilizing bacteria (BSF) as inoculants to increase the availability and P uptake by crops of economic interest (Kumar *et al.*, 2001). Among the crops that have recently gained importance in our country, is the *Physalis peruviana* L.; this is an important Andean fruit species for their potential for export as fresh fruit, generating foreign exchange for several million dollars a year (Zapata *et al.*, 2002.) however, few studies are known about the use of BSF on the efficiency of phosphoric fertilization in this species of fruit. This study aimed to evaluate microorganisms with potential plant growth promoting strains isolated from *Physalis peruviana* L. on growth and development of this species.

Twelve *Pseudomonas* sp. and *Bacillus* sp. were used. UVLO18, UVLO22, UVLO25, UVLO26, UVLO27, UVAG37, UVAG38, UVAG41, UVAG42, UVAG45, UVAAG57 and UVAAG63. These were isolated from the rhizosphere of crops in *Physalis peruviana* L. in Ventaquemada and Arcabuco municipalities, Boyacá, Colombia (5° 32' north latitude 73° 22' west longitude). Used for growing the King B (Merck, USA) medium, incubation was at 28 +2 °C and 150 rpm.

Initially promoting plant growth of the 12 strains of *Physalis peruviana* L. disinfected seeds under greenhouse conditions, using as an insoluble phosphate fertilizer phosphorus source such as tricalcium phosphate (FT) was evaluated. This

Colombia (5°32'N 73°22'W). Se utilizó para su crecimiento el medio King B (Merck, USA), su incubación fue a $28 \pm 2^\circ\text{C}$ y 150 rpm.

Inicialmente se evaluó la promoción de crecimiento vegetal de estas 12 cepas sobre semillas desinfectadas de *Physalis Peruviana* L., bajo condiciones de invernadero, utilizando como fertilización fosfórica una fuente insoluble de fósforo como el Fosfato tricálcico (FT). Para ello se empleó un diseño experimental completamente al azar con cinco replicas por tratamiento. Se implementaron 15 tratamientos: T1-testigo absoluto, T2-testigo químico (100% FT), T3-testigo químico (50% FT), T4-UVLO18 + 50% (FT), T5-UVLO22 + 50% (FT), T6-UVLO25 + 50% (FT), T7-UVLO26 + 50% (FT), T8-UVLO27 + 50% (FT), T9-UVAG37 + 50% (FT), T10-UVAG38 + 50% (FT), T11-UVAG41 + 50% (FT), T12-UVAG42 + 50% (FT), T13-UVAG45 + 50% (FT), T14-UVAAG57 + 50% (FT), T15-UVAG63 + 50% (FT). En cada tratamiento se inoculó 5 ml desuspensión bacteriana a una concentración celular de 1×10^8 UFC/ml en medio LB (g/L: 10 Triptona, 5 Extracto de levadura, 5 NaCl, pH: 7.0 ± 5). Las variables de respuesta evaluadas fueron: Longitud de la parte área (cm), longitud radical (cm), peso seco de la parte aérea (g), peso seco de la raíz (g), peso fresco de la parte aérea (g), peso fresco de raíz (g), aérea foliar (cm^2). Se realizó un muestreo destructivo al mes de establecido el ensayo. Las cuatro cepas que reportaron los mejores resultados, durante el experimento en invernadero, se identificaron a nivel molecular mediante el estudio del 16S rDNA usando el Kit DNeasy Blood & Tissue (Qiagen, Alemania) y el Kit PCR Super Mix (Invitrogen, Brasil). Los productos de PCR fueron secuenciados por la empresa MACROGEN. Mediante la herramienta bioinformática Geneious 4.8 y la base de datos GenBank del NCBI, se extrajeron mediante BLAST las secuencias cercanamente relacionadas con un 98% de identidad y un 100% de cobertura.

Luego, se determinaron características de promoción de crecimiento vegetal, como solubilización de fosfato tricálcico y producción de indoles, a las cuatro cepas. La determinación cuantitativa de solubilización de fosfato tricálcico, se llevó a cabo por la técnica de azul de fosfomolibdeno (Fiske y Subbarow, 1925), evaluando cinco fuentes de carbono (1M): glucosa, sacarosa, manitol, ácido málico, y ácido glutámico a $30 \pm 2^\circ\text{C}$ y 150 rpm durante cinco días. Mientras que la determinación de indoles totales se realizó mediante el ensayo colorimétrico basado en el reactivo Salkowsky (12 g/L FeCl_3 en 7.9 M H_2SO_4) (Glickmann y Dessaux, 1995), a 540 nm, empleando el medio K-lactato suplementado con triptófano a 100 mg/L (Carreno-López *et al.*, 2000).

requires a completely randomized experimental design with five replicates per treatment was used. 15 treatments were implemented: T1-control whatsoever, T2-chemical control (100% FT), T3-chemical control (50% FT), T4-UVLO18 + 50% (FT), T5-UVLO22 + 50% (FT) T6-UVLO25 + 50% (FT), T7-UVLO26 + 50% (FT), T8-UVLO27 + 50% (FT), T9-UVAG37 + 50% (FT), T10-UVAG38 + 50% (FT), T11-UVAG41 + 50% (FT), T12-UVAG42 + 50% (FT), T13-UVAG45 + 50% (FT), T14-UVAAG57 + 50% (FT), T15-UVAG63 + 50% (FT). For each treatment, 5 ml of bacterial suspension was inoculated at a cell concentration of 1×10^8 CFU/ml in LB medium (g/L: tryptone 10, yeast extract 5, 5 NaCl, pH: 7.0 ± 5).

The response variables evaluated were: length area part (cm), root length (cm), dry aerial part (g) weight, root dry weight (g), fresh weight of the area portion (g) fresh root weight (g), leaf air (cm^2). Destructive sampling month established the assay was performed. The four strains reported the best results during the greenhouse experiment, were identified at the molecular level by studying the 16S rDNA using the DNeasy Blood & Tissue Kit (Qiagen, Germany) and PCR Super Mix Kit (Invitrogen, Brazil). The PCR products were sequenced by the company Macrogen. By Geneious 4.8 bioinformatics tool and NCBI GenBank data were extracted using BLAST closely related sequences with 98% identity and 100% coverage.

Then, characteristics of promoting plant growth; including tricalcium phosphate solubilization and production of "indoles", to the four strains were measured. Quantitative determination of tricalcium phosphate solubilization, was performed for blue phosphomolybdenum technique (Fiske and Subbarow, 1925), evaluated five carbon sources (1M): glucose, sucrose, mannitol, malic acid and glutamic acid $30 \pm 2^\circ\text{C}$ and 150 rpm for five days. While the determination of total "indoles" was performed by the colorimetric assay based on the Salkowsky reagent (12 g/L FeCl_3 in 7.9 M H_2SO_4) (Glickmann and Dessaux, 1995), at 540 nm, using the average K-lactate supplemented with tryptophan 100 mg/L (Carreno-López *et al.*, 2000).

Finally, we used 1) A principal component analysis (PCA) to analyze the data under greenhouse conditions; 2) an analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test for data under laboratory conditions; and 3) and a simple correlation analysis for associations between all variables. All tests were 95% confidence limit.

Por último, se utilizó (1) un análisis de componentes principales (ACP), para analizar los datos bajo condiciones de invernadero, (2) un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de Tukey, para los datos bajo condiciones de laboratorio, (3) y un análisis de correlación simple, para las asociaciones entre todas las variables. Todas las pruebas tuvieron un 95% como límite de confianza.

Con base en los resultados obtenidos a partir del ACP, donde F1 fue relacionada con el tamaño de la planta y F2 con captación de nutrientes, se concluyó que las plantas inoculadas con las cepas UVAG42, UVAG45, UVLO26 y UVLO22 fueron las que más favorecieron el crecimiento de las plantas. De éstas cuatro, la cepa UVAG42 mostró los mejores resultados (Figura 1). Así mismo, fue posible evidenciar que la dosis de fertilizante fosfórico empleada tuvo un efecto importante sobre el desarrollo de la planta, donde se observó que a medida que la dosis aumentó, el tratamiento se encontró más hacia la derecha de F1 en el plano de componentes principales. Los tratamientos inoculados con las bacterias UVAG42, UVAG45, UVLO26 y UVLO22 + 50% (FT) presentaron el mismo valor en F1 que el testigo + 100% (FT). Con base en el ACP se puede inferir que el efecto positivo de los microorganismos se pudo deber a un aumento en la disponibilidad de fósforo en suelo, lo que corrobora el hecho de que inoculación + 50% de fósforo igualara al testigo con fertilización fosfórica completa.

Para la identificación molecular de las cepas UVAG45, UVLO26 y UVLO22, y de UVAG42, la secuencia parcial de 16S rDNA mostró 98% y 99% de identidad con el género *Bacillus* sp. y *Pseudomonas* sp. respectivamente. Los bacterias pertenecientes a éstos géneros han sido ampliamente reportadas por llevar a cabo procesos de solubilización y mineralización de fosfato, y síntesis de hormonas vegetales como indoles, las cuales son capacidades definidas para una BPCV (Sánchez *et al.*, 2012).

Respecto a la capacidad de solubilización de fósforo de las cepas, los resultados permitieron visualizar un posible rol de todas las cepas en dicho proceso. Como la rizósfera es un ambiente rico en nutrientes (azúcares, ácidos orgánicos, aminoácidos, etc.), probablemente diferentes fuentes de carbono asociadas a los exudados radiculares podrían tener un efecto significativo sobre la solubilización de fósforo que sucede en la rizósfera (Liebersbach, 2004). Cinco fuentes adicionales de carbono fueron evaluadas, debido al importante papel que juega en la atracción de los microorganismos a la rizósfera (Walker *et al.*, 2003; Khorassani *et al.*, 2011). Los resultados observados en la

Based on the results obtained from the ACP, where F1 was related to the size of the plant and F2 with nutrient uptake, it was found that plants inoculated with UVAG42, UVAG45, UVLO26 and UVLO22 strains were the most favored plant growth. Of these four the UVAG42 strain showed the best results (Figure 1). It was also possible to show that the dose of phosphoric fertilizer used had a significant effect on the development of the plant, where it was observed that as the dose increased, treatment was again found to the right of F1 in terms of major components.

Treatments inoculated with bacteria UVAG42, UVAG45, UVLO26 and UVLO22 + 50% (FT) had the same value in the witness F1 + 100% (FT). Based on the ACP can be inferred that the positive effect of microorganisms could be due to an increase in the availability of phosphorus in soil, which corroborates the fact that inoculation + 50% phosphorus equaled the witness with full P fertilization.

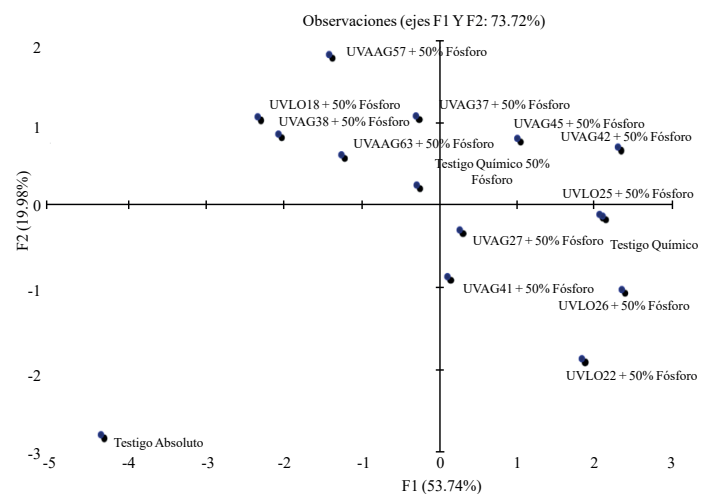


Figura 1. Coordenadas de las correlaciones de los tratamientos evaluados entre F1 (el tamaño de la planta) vs F2 (Nutrición vegetal).

Figure 1. Coordinates of the treatments evaluated correlations between F1 (the size of the plant) vs F2 (plant nutrition).

For the molecular identification of UVAG45, UVLO22 UVLO26 and strains, and UVAG42, partial sequence of 16S rDNA showed 98% and 99% identity with the *Bacillus* sp. and *Pseudomonas* sp. respectively. The bacteria belonging to these genera have been widely reported by carrying out processes of phosphate solubilization and mineralization, and synthesis of plant hormones such as “indoles”, which are defined capacities for PGPR (Sánchez *et al.*, 2012).

Cuadro 1, pueden inferir que la solubilización de fósforo por las bacterias en estudio posiblemente fue influenciada por la fuente de carbono presente. Adicionalmente, las cuatro cepas evaluadas respondieron de manera similar con las diferentes fuentes de carbono utilizadas en el presente estudio; la que estimuló en mayor cantidad la solubilización de fósforo fue el ácido málico, seguido por manitol, sacarosa, glucosa, y ácido glutámico. Es importante resaltar que el ácido málico ha sido ampliamente reportado como uno de los compuestos que mayor atracción microbiana genera en la rizósfera de diversos cultivos, inclusive a concentraciones mínimas de 4 mM (Law y Aitken, 2005; Bais *et al.*, 2006). Este resultado sugiere que la solubilización de fósforo en la rizósfera puede ser afectada por muchos factores ambientales, particularmente la composición de los exudados de la planta.

Regarding phosphorus solubilizing capacity of the strains, the results allowed us to visualize a possible role of all strains in the process. As the rhizosphere is an environment rich in nutrients (sugars, organic acids, amino acids, etc.). Probably different carbon sources associated with root exudates it could have a significant effect on the solubilization of phosphorus occurs in the rhizosphere (Lieberbach, 2004). Five additional carbon sources were evaluated, due to the important role in attracting the rhizosphere microorganisms (Walker *et al.*, 2003; Khorassani *et al.*, 2011). The results observed in Table 1, may infer that the solubilization of phosphorus by the bacteria under study was possibly influenced by the carbon source. Additionally, the four strains responded similarly evaluated with the different carbon sources used in this study; which stimulated the

Cuadro 1. Solubilización de fosfatos tricálcico con diferentes fuentes de carbono.

Table 1. Solubilization of tricalcium phosphate with different carbon sources.

Cepas Bacteriana	Solubilización de fosfatos tricálcico con diferentes fuentes de carbono				
	Glucosa	Sacarosa	Manitol	Ácido málico	Ácido glutámico
UVLO22	12 ± 0.9 ^b	6.08 ± 0.99 ^c	11.9 ± 0.65 ^b	39.62 ± 1.13 ^a	2.18 ± 0.08 ^d
UVLO26	5.43 ± 0.8 ^b	5.25 ± 0.51 ^b	5.25 ± 0.51 ^b	39.25 ± 0.26 ^a	3.28 ± 0.23 ^c
UVLO42	2.71 ± 0.14 ^d	9.32 ± 0.7 ^c	25.38 ± 0.96 ^b	39.69 ± 1.02 ^a	2.18 ± 0.07 ^d
UVLO45	2.73 ± 0.19 ^d	8.56 ± 0.85 ^c	30.34 ± 0.71 ^b	34.79 ± 0.56 ^a	2.56 ± 0.15 ^d

Los valores presentados en la tabla corresponden a la media de tres repeticiones. Para cada columna media con igual letra no presentan diferencias estadísticamente significativas (P≤0.05).

Estudios adicionales mostraron que las cepas fueron capaces de producir compuestos tipo indol (Cuadro 2), alcanzando una producción máxima de 6,21 ugIAA/ml por parte de *Bacillus* sp. UVLO22. Una correlación entre los datos del experimento de laboratorio y las variables morfométricas de la planta podría indudablemente demostrar el rol de los caracteres definidos para una BPCV. Sin embargo, el análisis de correlación mostró que no existe relación entre estas variables.

Por lo tanto, se demostró que la inoculación con la cepa *Pseudomonas* sp. UVAG42 permitió reducir en un 50% la dosis de fertilización fosfórica *Physalis peruviana* L. Además, de manera preliminar se concluye que la promoción de crecimiento vegetal de *Physalis peruviana* L. con las cepas en estudio se produjo no solo por la solubilización de fósforo y la producción de auxinas, sino posiblemente por la integración de diversas capacidades definidas para una BPCV. Sin embargo, se necesita una amplia investigación para elucidar cómo las bacterias intervienen sobre el crecimiento de *Physalis peruviana* L. El uso selectivo

greatest amount in the solubilization of phosphorus was malic acid, followed by mannitol, sucrose, glucose, and glutamic acid. Importantly, malic acid has been widely reported as one of the greatest microbial compounds generates attraction in the rhizosphere of various crops, including a minimum concentration of 4 mM (Law and Aitken, 2005; Bais *et al.*, 2006). This result suggests that solubilization of phosphorus in the rhizosphere can be affected by numerous environmental factors, particularly the composition of the plant exudates.

Cuadro 2. Producción de indoles totales.

Table 2. Total production of “indoles”.

Cepas Bacterianas	Producción de indoles totales (µg IAA/ml)
UVLO22	6.21 ± 0.41 ^a
UVLO26	1.56 ± 0.12 ^c
UVAG42	2.14 ± 0.38 ^b
UVAG45	2.93 ± 0.29 ^b

Los valores presentados en la tabla corresponden a la media de tres repeticiones. Las letras representan diferencias estadísticamente significativas (P≤0.05).

de bacterias promotoras de crecimiento vegetal podría ser una alternativa viable y sostenible para disminuir los costos ecológicos, económicos y sociales por el rubro de fertilización fosfórica para este cultivo.

Agradecimientos

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Colombiano
- Laboratorio de Microbiología de Suelos CORPOICA.

Literatura citada

- Bais, H.; Weir, T; Perry, L; Gilroy, S and Vivanco, J. 2006. The Roles of Root Exudates in Rhizosphere Interactions with Plant and Other Organisms. *The Annual Review of Plant Biology*. USA. 57:233-266.
- Carreno-Lopez, R.; Campos-Reales, N; Elmerich, C and Baca, B. 2000. Physiological evidence for differently regulate tryptophan-dependent pathways for indole-3-acetic synthesis in *Azospirillum brasilense*. *Mol. Gen. Genet.* USA. 264: 521-530.
- Compant, S.; Duffy, B; Nowak, J; Cle'ment, C and Barka, E.A. 2005. Use of Plant Growth-Promoting Bacteria for Biocontrol of Plant Diseases: Principles, Mechanisms of Action, and Future Prospects. *Applied and environmental microbiology*. USA. 71(9): 4951-4959.
- Fiske, C.H and Subbarow, Y. 1925. The colorimetric determination of phosphorus. *J. Biol. Chem.* USA. 66: 375-400.
- Fu, Q.; Liu, C; Ding, N; Lin, Y and Guo, B. 2010. Ameliorative effects of inoculation with the plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas* sp. DW1 on growth of eggplant (*Solanum melongena* L.) seedlings under salt stress. *Agric. Water Manage.* Holanda. 97: 1994-2000.
- Graham, P and Vance, C. 2000. Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. *Field Crop Res.* Holanda. 65: 93-106.
- Glickman, E and Dessaux, Y. 1995. A Critical examination of the specificity of the salicylic acid reagent for indolic compounds produced by phytopathogenic bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* United States. 61(2):793-796.
- Katiyar, V and Goel, R. 2003. Solubilization of inorganic phosphate and plant growth promotion by cold tolerant mutants of *Pseudomonas fluorescens*. *Microbiological Research*. Francia. 158(2):163-168.
- Khorassani, R; Hettwer, U; Ratzinger, A; Steingrobe, B; Karlovsky, P and Claassen N. 2011. Citramalic acid and salicylic acid in sugar beet root exudates solubilize soil phosphorus. *Plant Biology*. United States. 11:121.
- Kumar, V.; Behl, R and Nurula, N. 2001. Establishment of phosphate solubilizing strains of *Azotobacter chroococcum* in rhizosphere and their effect on wheat cultivars under green house conditions. *Microbiol Res.* USA. 156: 87-93.
- Further studies showed that the strains were able to produce "indole" type compounds (Table 2), reaching a maximum production of 6.21 ug IAA/ml by *Bacillus* sp., UVLO22. A correlation between the laboratory experiment data and the morphometric variables of the plant could undoubtedly demonstrate the role of the characters defined for a PGPR. However, the correlation analysis showed that there is no relationship between these variables.
- Therefore, it was demonstrated that the inoculation with the strain *Pseudomonas* sp. UVAG42 possible to reduce the dose of 50% phosphoric fertilization *Physalis peruviana* L. also preliminarily concluded that promote plant growth of *Physalis peruviana* L. with the strains under study are produced not only by the solubilization of phosphorus and production auxin, but possibly by integrating various capabilities defined for a PGPR. However, extensive research is needed to elucidate how bacteria involved on the growth of *Physalis peruviana* L. The selective use of plant growth promoting bacteria could be a viable and sustainable alternative to reduce the ecological, economic and social costs by category phosphate fertilizer for this crop.

End of the English version



- Law, A and Aitken, M. 2005. Continuous-flow capillary assay for measuring bacterial chemotaxis. *Appl Environ Microbiol.* United States. 71(6):3137-3143.
- Liebersbach, H.; Steingrobe, B and Claassen, N. 2004. Roots regulate ion transport in the rhizosphere to counteract reduced mobility in dry soil. *Plant Soil*. Netherlands. 260:79-88.
- Ramani, V. 2011. Effect of pesticides on phosphate solubilization by *Bacillus sphaericus* and *Pseudomonas cepacia*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. USA. 99 (3):232-236.
- Sánchez, D; Gómez, R; Garrido, M and Bonilla, R. 2012. Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc. Mexico*. 3(7):1401-1415.
- Walker, TS.; Bais, HP; Grotewold E and Vivanco JM. 2003. Root exudation and rhizosphere biology. *Plant Physiol.* United States. 132:44-51.
- Yadav, K. S and Dadarwal, K. R. 1997. Biotechnological approaches in soil microorganisms for sustainable crop production. Scientific publishers, Jodhpur, India. 293-308.
- Yazdani, M; Bahmanyar, M. A; Pirdashti, H., and Esmaili, M. A. 2009. Effect of Phosphate solubilization microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of Corn (*Zea mays* L.). *Proc World Acad Sci Eng Technol.* USA. 37:90-92.
- Zapata, J; Saldarriaga, A; Londoño, M and Díaz, C. 2002. Manejo del cultivo de la Uchuva en Colombia. Medellín- Colombia. Editorial Tiraje. Boletín técnico. 42 p.