

CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DE MICROORGANISMOS DE MONTAÑA Y SUS EFECTOS EN EL RENDIMIENTO DE *Eryngium foetidum*¹

**Lisbeth L. Rodríguez²; Rito Herrera³; Betzaida Bernal⁴;
José Luis Causadías⁵; Joaquín López Zúñiga⁶; Octavio De La Cruz Sánchez⁷**

RESUMEN

Los microorganismos de montaña (MM), se han aplicado artesanalmente como fertilizantes orgánicos en los suelos agrícolas, obteniéndose resultados prometedores. Los objetivos de esta investigación fueron: caracterizar las bacterias presentes en un biol obtenido a partir de suelos de montaña, cuantificar el rendimiento como fertilizante del cultivo de culantro coyote (*Eryngium foetidum* L.) y determinar su dosis óptima. El trabajo de campo se realizó en la comunidad de Bajo Bonito, ubicada en Capira, Panamá Oeste. El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con seis tratamientos (dosis de biol) y cuatro bloques. Se evaluó el nivel de clorofila y rendimiento (kg/tratamiento). El análisis estadístico concluyó que el tratamiento 5 (100 ml biol/17,90 L agua) fue el más eficiente para la fertilización del culantro. El suelo de estudio, al no ser tratado con agroquímicos mantiene su estructura y función, por lo que resultó ser apto para la producción agrícola. En cuanto al trabajo de laboratorio, se lograron aislar 34 cepas, a las cuales se le realizó diferentes pruebas bioquímicas, resultando estas ser eficientes para la promoción del crecimiento vegetal, destacando entre todos los grupos las productoras de sideróforos. Adicionalmente, se identificaron las cepas: *Lysinibacillus fusiformis*, *Bacillus kochii*, *Methylobacterium* sp. y *Bacillus velezensis*, mediante la secuenciación del gen 16S RNA ribosomal. La aplicación del biol se presenta como una alternativa sostenible para el ambiente, así como para los pequeños y medianos agricultores que buscan mejorar el rendimiento de sus cosechas y dar un producto de mayor calidad a los consumidores.

Palabras clave: Biol, culantro, fertilizante orgánico, promotores de crecimiento vegetal, secuenciación.

¹Recepción: 10 de septiembre de 2024. Aceptación: 11 de noviembre de 2024. Tesis de Licenciatura de Biología con orientación en Biología Ambiental.

²Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Laboratorio de Análisis y Biología Molecular Aplicada (LABMA). Licda. en Biología Ambiental. e-mail: lisbethl.rodriguez@up.ac.pa;
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1750-9228>

³IDIAP, Centro de Innovación Agropecuaria en Recursos Genéticos (CIARG). Departamento de Genética y Biología Molecular, Universidad de Panamá. Ph.D. Microbiología. e-mail: rito.herrera@up.ac.pa;
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2509-0391>

⁴IDIAP, CIARG. M.Sc. en Recursos Genéticos Vegetales. e-mail: betzbiotech@gmail.com
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8670-5065>

⁵IDIAP, CIARG. M.Sc. Agricultura Sostenible. e-mail: jcausadias04@gmail.com;
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8249-5497>

⁶Ministerio de Ambiente, CEDESAM. Lic. Recursos Naturales y Ambiente. e-mail: jlzuniga@ambiente.gob.pa;
ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0004-2864-4614>

⁷Ministerio de Ambiente, CEDESAM. Ing. Forestal. e-mail: odelacruz@miambiente.gob.pa;
ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0007-3299-6518>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

FUNCTIONAL CHARACTERIZATION OF MOUNTAIN MICROORGANISMS (BIOLES) AND THEIR EFFECTS ON *Eryngium foetidum* YIELD

ABSTRACT

Mountain microorganisms (MM) have been applied artisanally as organic fertilizers in agricultural soils, obtaining promising results. The objectives of this research were: to characterize the bacteria present in a biol obtained from mountain soils, to quantify the performance as a fertilizer of the coyote culantro crop (*Eryngium foetidum* L.) and to determine its optimal dose. The field work was carried out in the community of Bajo Bonito, located in Capira, Panamá Oeste. The experimental design was a randomized complete block, with six treatments (biol dose) and four blocks. The chlorophyll level and yield (kg/treatment) were evaluated. The statistical analysis concluded that treatment 5 (100 ml biol/17.90 L water) was the most efficient for the fertilization of culantro. The soil studied, not being treated with agrochemicals, maintains its structure and function, so it turned out to be suitable for agricultural production. Regarding laboratory work, 34 strains were isolated, which were subjected to different biochemical tests, proving to be efficient in promoting plant growth, with siderophore producers standing out among all the groups. Additionally, the following strains were identified: *Lysinibacillus fusiformis*, *Bacillus kochii*, *Methylobacterium* sp. and *Bacillus velezensis*, through 16S ribosomal RNA gene sequencing. The application of bioles is presented as a sustainable alternative for the environment, as well as for small and medium-sized farmers seeking to improve their crop yields and provide a higher quality product to consumers.

Keywords: Biol, culantro, organic fertilizer, plant growth promoters, sequencing.

INTRODUCCIÓN

La caracterización microbiológica ha permitido identificar y aplicar microorganismos benéficos de manera eficiente en la agricultura (Molina-Romero et al., 2015). El efecto positivo de estos en los cultivos dependerá de su capacidad para: fijar nitrógeno, solubilizar fósforo, secretar sideróforos y producir fitohormonas (Rodríguez-Chávez, 2020).

En los últimos años se ha destacado el papel de los biofertilizantes como alternativa tecnológica de fertilización sostenible (Tomer et al., 2016). El biol es un fertilizante orgánico líquido rico en microorganismos y nutrientes (Álvarez-Solís et al., 2010).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El culantro coyote (*Eryngium foetidum* L.) es una planta aromática originaria de la región amazónica y centroamericana (Villachica, 1996) con gran importancia comercial debido a su uso en la gastronomía (Morales et al., 2013). En la comunidad de Bajo Bonito ubicada en Capira, Panamá Oeste, hay familias que se dedican al cultivo de este rubro en condiciones orgánicas (libre de agroquímicos), ya que como fertilizante utilizan un biol artesanal a base de microorganismos de montaña (MM), el cual es preparado por los agricultores del área.

Lo que distingue al biol de este estudio, es que dentro de sus ingredientes destacan los MM, los cuales están constituidos por colonias de hongos, bacterias y levaduras benéficas que se encuentran de manera natural en bosques que no han sido perturbados por las acciones antropogénicas. Estos microorganismos tienen la capacidad de promover el crecimiento vegetal y suprimir o controlar microorganismos fitopatógenos (Suchini-Ramírez, 2012).

El principal método utilizado para controlar las plagas y/o enfermedades, y aumentar el rendimiento de los cultivos es la aplicación de agroquímicos (Salazar y Aldana, 2011). Sin embargo, su uso desmesurado ha traído repercusiones en el ambiente, como lo son: la eutrofización, contaminación y pérdida de biodiversidad (Zepeda-Jazo, 2018). Adicional a esto, presentan precios bastante elevados, lo que no es sostenible para los pequeños y medianos productores, quienes en ocasiones se ven obligados a detener sus cosechas por falta de recursos.

El ingreso de compuestos sintéticos en el suelo afecta a los microorganismos presentes y su actividad, por consiguiente, ocasionan modificaciones en los procesos biológicos que son necesarios para la productividad y fertilidad de los cultivos (Cycon et al., 2013). En Panamá la contaminación por la actividad agropecuaria data desde 1960, con el incremento marcado en el uso de plaguicidas, producto de la revolución verde en América Latina y el Caribe (Espinosa-Tasón y Barba, 2014). En búsqueda de alternativas más amigables con el ambiente surgió esta investigación.



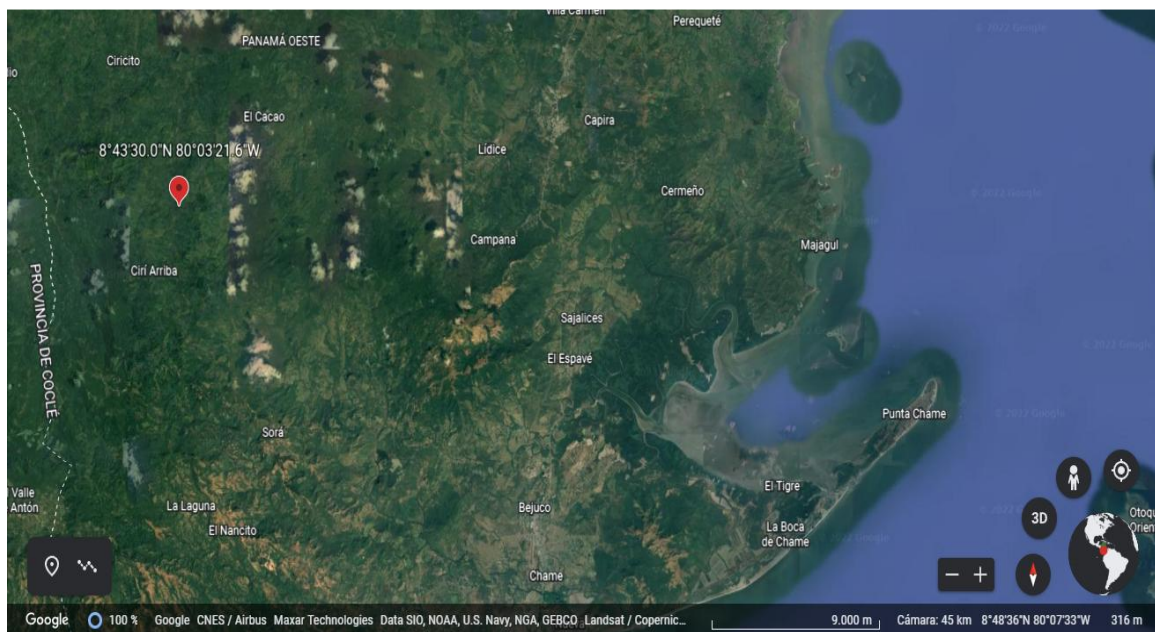
Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El objetivo principal de este trabajo fue caracterizar funcionalmente los microorganismos presentes en un biol obtenido a partir de suelos de montaña. En cuanto los objetivos específicos están: Determinar la dosis óptima del biol de microorganismos de montaña y cuantificar el rendimiento del biol utilizado como fertilizante en el cultivo del culantro coyote (*E. foetidum* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El trabajo de campo se realizó de julio de 2021 a febrero de 2022 en la comunidad de Bajo Bonito, ubicada en el corregimiento de El Cacao, distrito de Capira, provincia de Panamá Oeste, a una altitud de 600 msnm en las coordenadas geográficas latitud 8°43'30,0"N y longitud 80°03'21,6"W (Figura 1). El sitio se encuentra en la zona de vida bosque húmedo tropical (Holdridge, 1987), con una temperatura promedio de 24° C, precipitación media anual de 2 500 mm.



Fuente: Google Earth, 2022.

Figura 1. Mapa de ubicación del sitio de estudio.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Preparación del biol

Se agregaron 12 kg de suelo de montaña en un saco y se amarró, posteriormente se sumergió en 180 L de agua junto con 4 L de melaza. Se introdujo este saco en un tanque con capacidad para 200 L y se procedió a tapar con una tela para evitar el ingreso de insectos, luego de esto se colocó el recipiente en un lugar fresco, sin exponer al sol y a temperatura ambiente durante 15 días. Esta fue la “solución madre” de donde se obtuvieron los Microorganismos de Montaña (MM) líquidos en condición aeróbica. La preparación fue realizada por los productores de la comunidad con la asesoría de los técnicos del Ministerio de Ambiente, específicamente del Centro de Desarrollo Sostenible Ambiental (CEDESAM). Finalmente se realizó la siembra de manera manual, según cantidad utilizada regularmente por los agricultores.

Diseño experimental

El área total del ensayo fue de 161 m², se utilizó el diseño de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones y seis tratamientos (Cuadro 1). Las unidades experimentales fueron de 3x1 m separados por pasillos de 1 m.

Cuadro 1. Tratamientos aplicados

Tratamiento	Dosis del biol (ml)/ en agua (L)
1	1000 / 17
2	750 / 17,25
3	500 / 17,50
4	250/17,75
5	100 /17,90
6	18 L de agua (Testigo absoluto)

Aislamiento microbiano

El análisis del biol se realizó en el Laboratorio de Microbiología Agrícola del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) entre los meses de febrero y septiembre de 2022. La muestra utilizada se tomó el 17 de febrero del mismo año. Siguiendo la metodología de Hernández et al. (2016) se realizaron diluciones seriadas de 10⁻¹ a 10⁻⁶. Posteriormente se extendieron 100 µl de cada dilución en platos Petri de 20 ml, con sus correspondientes réplicas.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Los medios de cultivo seleccionados para este ensayo fueron: el agar tripticasa soya (TSA) por ser un medio nutritivo general con variedad de usos y el medio Ashby, libre de nitrógeno, ya que este se emplea para el aislamiento de microorganismos con capacidad de fijar nitrógeno atmosférico (Salazar y Ordoñez, 2013). La incubación fue a 28° C durante 48-72 horas.

CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DE MICROORGANISMOS

Producción de sideróforos

Este ensayo se basa en una competencia por el hierro entre el complejo férrico de un colorante indicador, cromoazurol S (CAS), y un sideróforo producido por el microorganismo (Milagres et al., 1999).

Siguiendo la metodología de (Schwyn y Neilands, 1987) se preparó la solución de CAS y se almacenó a 4° C hasta el momento de su uso. Para la estimación cualitativa se preparó medio TSA y se sirvió en platos Petri de 10 ml, luego se procedió a cortar en dos mitades y se retiró una de ellas. El espacio vacío se reemplazó con el Agar CAS preparado previamente. Se inocularon los aislados en la mitad con el medio TSA, teniendo en cuenta no sobrepasar el borde que divide ambos medios.

La incubación se realizó en la temperatura de crecimiento adecuada para cada cepa y se situaron en un lugar oscuro por dos semanas. Pasado este tiempo se observó el crecimiento de las cepas y se verificó la reacción CAS mediante el avance en el cambio de color del medio selectivo, iniciando a partir de la línea borde que divide ambos medios. Se tomaron mediciones al 5^{to}, 10^{mo} y 15^{vo} día.

La cuantificación de la producción de sideróforos se realizó siguiendo la metodología propuesta por (Arora y Verma, 2017). Para esto se cultivaron las cepas en medio TSA líquido durante 48 horas a 28° C. Después de la incubación, se tomó 1 ml de cada cepa y se colocó en un tubo de centrífuga de 1,5 ml, estos cultivos bacterianos se centrifugaron a 10 000 rpm durante 10 minutos. Luego se tomó el sobrenadante (0,5 ml) y se mezcló con 0,5 ml del reactivo CAS. Esto se incubó en oscuridad por 20 minutos, transcurrido este tiempo se realizó la lectura de la densidad óptica a 630 nm. El sideróforo



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

producido por las cepas se midió en unidad porcentual de sideróforo (psu) que se calculó de acuerdo con la siguiente fórmula (Payne, 1993):

$$\frac{(A_r - A_s) \times 100}{A_r}$$

Ar

donde Ar = absorbancia de referencia (solución CAS y sin inocular caldo), y As= absorbancia de la muestra (CAS solución y sobrenadante libre de células de la muestra).

Solubilización de fosfatos

Esta prueba se realiza con la finalidad de encontrar microorganismos solubilizadores de fosfato, los cuales son reconocidos por ser promotores del crecimiento vegetal (Beltrán-Pineda, 2014). Siguiendo la metodología propuesta por (Cisneros-Rojas y Sánchez de Prager, 2015) se utilizó el medio de cultivo selectivo agar Pikovskaya (PVK), el mismo se agregó en platos petri de 20 ml.

Los aislados bacterianos se inocularon puntualmente en el centro de los platos manteniendo las técnicas de asepsia. Todas las placas se incubaron en oscuridad a 28° C±2 durante 7 días. Transcurrido este tiempo se midió el índice de solubilización de fosfato en aquellos que presentaron un halo claro alrededor de la colonia de crecimiento. Con estos resultados se calculó el índice de solubilización de fosfato (PSI): relación del diámetro total (colonia + zona de halo) a la colonia diámetro.

$$\text{PSI} = \frac{\text{Diámetro de la colonia} + \text{Diámetro de la zona de halo}}{\text{Diámetro de la colonia}}$$

Diámetro de la colonia

Concentración de ácido indolacético (AIA)

La metodología de Mantilla (2007) y Ozdal et al. (2017) se realizó inicialmente con una curva patrón a partir de diferentes concentraciones de (AIA) (Cuadro 2). A cada patrón se le adicionó 2 mL, del reactivo de Salkowski, esto se incubo en oscuridad durante 30 minutos y se determinó la absorbancia a 530 nm. Para el blanco se utilizó agua destilada sin adición del reactivo.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 2. Soluciones para la curva patrón.

Soluciones patrón ($\mu\text{g/ml}$)	AIA en metanol μl	Agua destilada μl
0	0	1000
1	10	990
5	50	950
10	100	900
15	150	850
20	200	800
30	300	700
40	400	600
60	600	400

Se preparó un pre-cultivo bacteriano en medio (TSA), el mismo se colocó en un rotador a 150 rpm por 24 horas. Una vez transcurrido el tiempo de crecimiento, se llevó cada cepa a una concentración conocida de 1×10^6 UFC/ml, en 20 ml de medio TSA (conteniendo 0,1 g/L de L-triptófano).

Los aislados se incubaron en oscuridad a 150 rpm, por 144 horas. Después del periodo de incubación, se procedió a tomar 1,3 ml de cada solución bacteriana y se colocó en tubos de 1,5 ml para su centrifugación a 12 000 rpm por 5 minutos. Se retiró 1 ml del sobrenadante y se mezcló con 2 ml del reactivo de Salkowski. Se agitó por inversión e incubó por 30 minutos a temperatura ambiente y en oscuridad. Transcurrido este tiempo se tomó la lectura en el espectrofotómetro a 530 nm.

La cantidad de AIA cuantificada se comparó con la curva estándar de AIA preparada previamente. Las lecturas se realizaron a las 24, 48, 72, 96, 120 y 144 horas. A partir de los datos de absorbancia y la ecuación de la recta de la curva de calibración, se determinó la concentración de AIA producida.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Fijación no simbiótica de nitrógeno

A partir de un cultivo bacteriano en medio sólido (TSA) se realizó un pre-cultivo de las bacterias seleccionadas en medio Ashby y TSA líquido. Con asa bacteriológica estéril, se tomó una pequeña porción y se inoculó en matraces con 25 ml de medio líquido. Luego, a partir del pre-cultivo, se estableció el cultivo bacteriano con una concentración inicial de 0,1 células por millón. Seguidamente, se monitoreo el crecimiento bacteriano por un periodo de 9 horas, haciendo mediciones cada 30 minutos a 540 nm. Con los datos obtenidos se realizó la curva de crecimiento.

Extracción y Cuantificación de ADN

Como material de muestra se utilizaron aproximadamente 40 mg de pellet de cultivo celular microbiano de peso húmedo. Para la extracción de ADN se utilizó un kit de extracción comercial. La cuantificación del ADN genómico total se realizó agregando 2 µl de cada muestra en un espectrofotómetro de microvolúmenes.

Caracterización Molecular de las cepas bacterianas

Para la identificación molecular se utilizaron las regiones 16S RNA ribosomal. Se realizó una reacción en cadena de la polimerasa (PCR) usando los siguientes cebadores: 9_F 5'-GAGTTTGATCCTGGCTCAG-3' y 1490R 5'-GGTACCTTGTTACGACTT-3'. Las condiciones de PCR corresponden a (Bruner et al., 2013). La secuenciación de los productos de PCR se llevó a cabo por Next Generation Sequence (NGS) y se utilizó la base datos Gene Bank.

Análisis físico químico del suelo

En campo se tomó la muestra de suelo correspondiente para el análisis fisicoquímico, este se realizó en el Laboratorio de Nutrición y Suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Análisis estadístico

Los datos utilizados para el análisis estadístico se obtuvieron después de tres giras de campo, en donde se tomaron en cuenta el nivel de clorofila y peso (kg). Esto con la finalidad de determinar la dosis óptima del biol y cuantificar el rendimiento de este como fertilizante en el cultivo del culantro. Los datos fueron analizados por análisis de varianza (ANOVA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de sideróforos

Los 34 aislados bacterianos se sometieron a la reacción de CAS para evaluar la producción de sideróforos de manera cualitativa y cuantitativa (Cuadro 4). La unidad porcentual de sideróforo más alta a las 24h está representada por la cepa 19 con un valor de $64,7 \pm 21,4$ mientras que la más baja que corresponde a la cepa 4 con un valor de $8,9 \pm 2,8$. Pasadas las 48h se observó un aumento del (psu) en el 64% de las cepas, obteniendo la unidad porcentual de sideróforo más alta en la cepa 6 con un valor de $57,8 \pm 4,7$ y la más baja de $12,9 \pm 5,3$ en el aislado 26.

Un estudio de rizobacterias productoras de sideróforos realizado por Barrera (2016) indica que la producción máxima de sideróforos después de 24h de cultivo fue de $22,8 \pm 2,5$ psu, el resto de los aislados se encontraron en un rango de 8,5-15,6. Mientras que Arora y Verma (2017) en una investigación para optimizar la metodología detección de sideróforos producidos por bacterias, obtuvieron como mayor psu $69,16 \pm 0,71$ a las 48h, oscilando el resto de las cepas entre 07,97 y 45,99. En nuestro caso la mayor producción de sideróforos a las 24h fue de $64,7 \pm 21,4$ en el aislado 19. A las 48h, 28 de las 34 cepas presentaron valores mayores a 30 psu, lo que se considera una alta producción de sideróforos (psu). Este tipo de bacterias implican un gran beneficio en los cultivos, ya que los sideróforos pueden secuestrar el hierro del ambiente rizosférico, impidiendo que sea disponible para los patógenos, siendo esto un mecanismo de control (Kloepper et al., 1980; Loper y Schroth, 1986).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 3. Producción de sideróforos.

Cepa	Estimación cualitativa	Estimación cuantitativa (psu)	
		24h	48h
1	+	27,9±6,4	33,0±11,6
2	+	9,7±7,0	41,4±10,5
3	+++	13,1±1,9	36,7±24,4
4	++	26,6±1,6	46,2±18,2
5	++	8,9±2,8	50,2±12,8
6	+++	24,8±9,9	43,5±6,4
7	+++	25,4±10,8	57,8±4,7
8	+++	32,2±11,3	56,1±11,6
9	+++	13,8±0,5	55,0±5,1
10	+++	11,7±1,8	40,1± 3,3
11	+++	41,0±4,5	28,5±15,6
12	+++	38,3±2,5	24,5±20,9
13	+++	33,9±11,1	36,5±21,0
14	+++	29,0±12,1	36,1±4,3
15	+++	31,0±28,9	33,9±8,6
16	+++	54,2±13,7	43,5±14,9
17	+++	61,5±9,9	38,7±22,3
18	+++	33,4±12,5	48,0±2,6
19	+++	64,7±21,4	45,8±9,0
20	+++	51,9±12,0	48,5±7,0
21	+++	37,5±3,5	46,7±12,3
22	+++	34,5±11,8	49,2±9,1
23	+++	45,7±0,2	49,3±10,2
24	++	36,6±8,0	45,1±5,9
25	+++	44,3±27,2	52,3±3,9
26	+	18,1±11,8	12,9±5,3
27	++	9,4±15,6	22,0±1,2
28	+++	37,3±16,7	36,8±24,1
29	+++	43,0±24,1	41,2±25,2
30	++	41,3±21,5	28,7±4,7
31	+++	42,0±10,2	31,6±20,8
32	+	27,4±12,3	22,3±12,3
33	++	32,2±8,6	41,1±15,3
34	++	31,9±6,5	43,8±4,9

Los datos están representados por la media de tres repeticiones.

± desviación estándar.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Solubilización de fosfatos

De las 34 cepas analizadas dos presentaron la capacidad de solubilizar fosfato tricálcico en medio PVK (Figura 2). Con los resultados obtenidos se midió el índice de solubilización de fosfato (PSI) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Índice de solubilización (PSI) de las cepas.

Cepas	Diámetro halo (mm)	Diámetro colonia (mm)	Índice de solubilización (IS)
33	11,6±1,2	4,6±0,5	3,5±0,3
34	11,3±1,5	4,6±0,5	3,4±0,7

Los datos están representados por la media de tres repeticiones. ± desviación estándar

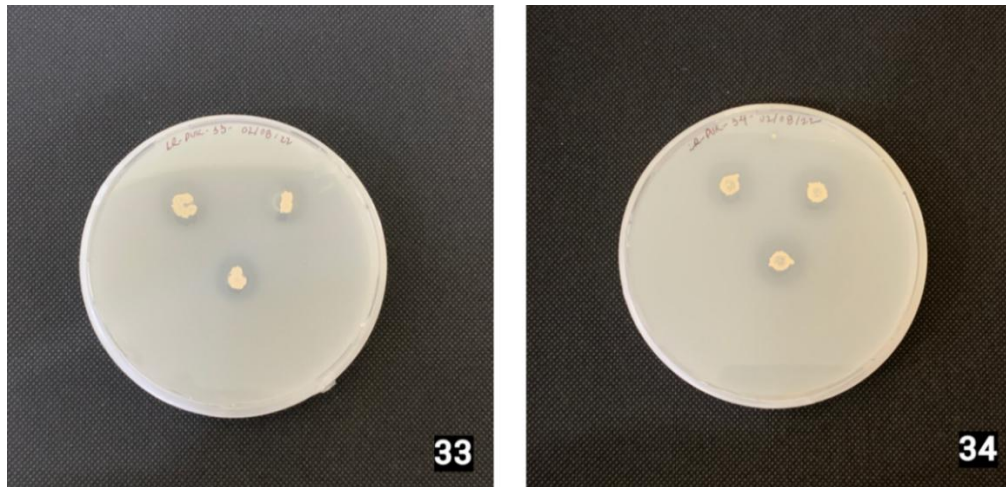


Figura 2. Halos de solubilización de fosfato a los 7 días. Medio PVK.

En los suelos ácidos se forman fosfatos de aluminio y de hierro (Parfitt y Kimble, 1989; Sanyal y De Datta, 1991), mientras que en suelos neutros-alcálinos predominan fosfatos de calcio (Lindsay et al., 1989). Estas formas de fosfato son insolubles, por lo que no son asimilables por las plantas.

La detección de cepas con capacidad de solubilizar fosforo insoluble se mide cualitativamente mediante el medio selectivo sólido de Pikovskaya, calculando así el índice de solubilización. En esa línea la tesis de Ibarra (2016) indica para *Sinorhizobium* spp.,



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

índices que van de 3,04 a 3,39. Por su parte Tripti et al. (2012) reportaron para *Pseudomonas* sp. y *Bacillus* sp. índices de solubilización de 3,1 a 3,0, respectivamente. Mientras que en cepas aisladas por Restrepo-Franco et al. (2015) en el cultivo de arroz los valores van de 2,14 a 2,61. En nuestro caso dos de las 34 cepas estudiadas mostraron la capacidad de solubilizar fosfato obteniendo IS de 3,04 a 3,05. En este trabajo no se realizó la estimación cuantitativa de fósforo por lo que no podemos asegurar que el resto de las cepas no presenten la capacidad de solubilizar fosfato insoluble.

Cuantificación de AIA

La producción más alta de ácido indolacético se dio a las 144h y corresponde a la cepa 27 con un valor de $27,9 \pm 10,8$, mientras que la más baja fue de $5,6 \pm 4,2$ para la cepa 25 a las 96h. Se observó un aumento en la producción de la fitohormona al día 6 en 70% de las cepas (Cuadro 4).

Varios factores pueden influir en la biosíntesis de esta auxina, tales como el pH y la concentración de triptófano (Lebrazi et al., 2020; Spaepen et al., 2009). En base a esto, Lebrazi et al. (2020) realizó un estudio donde determinó que el mejor pH para rizobacterias aisladas de *Acacia cyanophylla* es uno básico, ya que la máxima producción de AIA se detectó en un pH de 9 ($116,07 \mu\text{g ml}^{-1}$), para Mohite (2013) las mayores cantidades se produjeron en pH neutros-básicos (7-9), en cambio un pH de 6 resultó ser desfavorable para la producción. Chandra et al. (2018) indican resultados similares a lo mencionado por Mohite (2013), ya que la cantidad de AIA varió de $74,3 \mu\text{g ml}^{-1}$ a pH 5 a $91,7 \mu\text{g ml}^{-1}$ a pH 9. En nuestro trabajo de caracterización se utilizó un pH de 6,7 y el mayor valor fue de $27,9 \mu\text{g ml}^{-1}$, bastante inferior a lo reportado por otros autores. Con respecto al efecto de las concentraciones L-Trp en la síntesis de ácido indolacético, Patten y Glick (2002) utilizaron diferentes concentraciones, estas fueron: 0, 50, 100, 200 y 500 $\mu\text{g/ml}$ de triptófano, reportando que conforme aumentaba la concentración era mayor la producción de AIA. En cambio, Lebrazi et al. (2020) observó que a mayor concentración de L-Trp, menor la cantidad de AIA producido. En nuestro caso se utilizó 50 $\mu\text{g/ml}$ de triptófano. De manera general, Escobar et al. (2011) obtuvieron valores de 10,44; 11,99; 14,21 y 57,99 $\mu\text{g ml}^{-1}$ para cepas nativas de *Azotobacter* spp. aisladas del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Nuestros valores oscilaron entre 5,6 y $27,9 \mu\text{g ml}^{-1}$, manteniéndose principalmente



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

por debajo de 20 µg ml⁻¹. En base a lo obtenido por otros autores le podemos atribuir este hecho a la baja concentración de triptófano y al pH ácido presente en el medio de cultivo.

Cuadro 4. Producción de AIA.

Cepa	24h	48h	72h	96h	120h	144h
1	8,4±3,3	9,3±1,8	8,5±3,4	9,0±4,2	7,7±4,9	13,2±2,3
2	16,7±14,1	15,1±7,8	14,1±4,0	15,5±5,8	15,8±3,9	21,5±10,9
3	10,6±3,3	13,4±3,6	13,4±3,9	21,0±4,9	14,4±5,4	23,2±3,1
4	8,2±4,2	11,9±5,0	13,6±9,4	16,2±9,1	15,0±9,5	19,2±6,2
5	8,4±4,0	8,6±4,6	16,1±6,8	23,0±6,7	24,9±15,3	23,5±8,2
6	9,8±1,4	10,6±4,5	12,2±2,9	15,8±1,5	14,3±2,9	15,9±2,2
7	9,5±1,4	10,9±4,9	10,2±4,9	14,5±1,6	15,5±1,6	14,4±2,6
8	17,2±13,0	10,9±4,0	14,5±4,1	15,0±1,9	16,7±3,9	16,0±2,2
9	11,1±5,5	10,2±4,0	13,0±4,6	13,1±4,2	12,5±2,9	13,9±2,5
10	8,3±3,9	8,9±5,7	16,3±10,8	13,6±2,4	12,6±3,1	17,8±3,0
11	9,2±2,5	9,9±3,2	12,5±6,4	11,6±5,5	14,9±5,7	12,5±0,5
12	9,4±3,5	9,5±5,2	13,5±5,2	14,3±1,0	11,8±3,6	13,6±3,4
13	9,0±4,2	10,7±3,8	13,0±6,2	18,4±6,6	16,8±1,3	15,6±1,3
14	7,6±2,4	10,7±3,6	9,7±4,6	11,2±5,3	12,9±4,3	13,8±3,4
15	6,7±2,9	9,0±4,7	11,3±3,1	11,1±3,1	12,7±4,0	16,7±3,8
16	6,0±1,5	8,0±4,4	11,5±2,6	10,6±1,8	14,2±4,6	14,6±0,3
17	16,2±16,3	10,5±2,7	8,9±1,2	10,3±3,2	12,1±0,6	14,1±1,3
18	8,3±1,5	10,4±4,8	8,6±0,3	8,4±2,9	8,2±4,2	11,2±6,0
19	9,2±1,4	12,3±3,0	13,1±5,4	15,3±9,3	14,2±1,6	16,0±3,1
20	7,1±3,7	12,7±8,4	10,4±2,7	10,0±1,1	10,6±5,1	12,9±2,7
21	6,7±2,6	12,2±5,3	17,8±9,8	16,6±7,4	14,6±3,0	23,2±3,7
22	7,2±3,3	12,9±9,4	15,3±2,0	17,2±10,9	13,9±3,0	24,5±7,4
23	7,1±1,8	10,8±1,1	14,9±4,2	14,7±3,9	20,3±5,7	21,1±3,0
24	8,1±2,6	9,8±3,0	10,3±2,9	8,4±5,0	18,4±7,7	13,9±0,8
25	5,9±1,9	11,5±6,9	7,9±0,9	5,6±4,2	11,9±3,4	9,6±5,6
26	13,2±14,8	10,6±2,9	10,8±1,0	15,5±1,7	16,3±4,0	15,4±1,4
27	8,2±4,8	11,9±2,4	15,4±3,3	16,1±2,3	18,6±4,0	27,9±10,8
28	7,8±3,3	10,3±1,5	15,8±3,3	18,5±2,4	21,4±5,9	18,3±6,5
29	7,7±3,0	10,4±3,0	11,8±3,2	12,9±3,0	14,0±5,8	23,4±6,8
30	7,3±4,2	9,6±1,0	8,9±4,8	13,9±4,3	10,5±5,5	18,1±4,9
31	9,0±4,0	10,4±2,3	13,5±2,0	16,5±1,6	15,8±1,3	24,9±1,6
32	10,8±4,8	10,7±1,5	14,2±2,4	15,5±1,7	21,3±5,1	23,4±1,5
33	5,7±1,9	15,5±8,2	10,5±1,5	18,2±9,1	14,6±5,6	21,9±3,6
34	6,8±3,4	16,1±8,8	17,9±1,5	16,1±4,3	18,3±4,2	21,9±1,5

Los datos están representados por la media de tres repeticiones. ± desviación estándar



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Fijación no simbiótica de nitrógeno

Para esta prueba se seleccionaron cinco de los 34 aislados bacterianos. En la Figura 3 se presenta el promedio de las densidades ópticas a 540 nm de las cepas 7, 15, 30, 32 y 34, en función del tiempo (h).

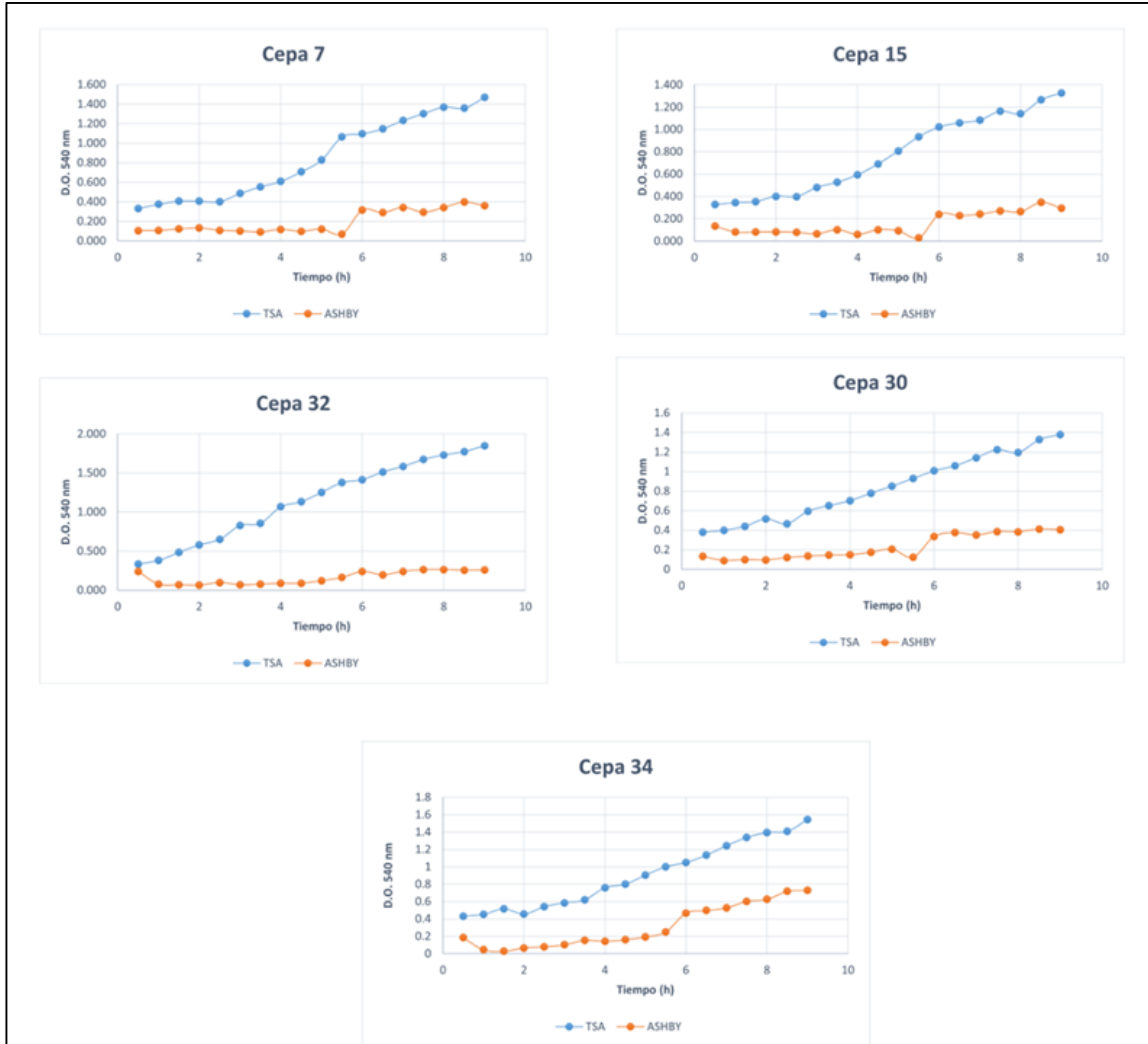


Figura 3. Curva de crecimiento de las cepas 7,15, 30, 32 y 34.

Identificación Molecular

Se identificaron mediante secuenciación del gen 16S RNA ribosomal las cepas *Lysinibacillus fusiformis*, *Bacillus kochii*, *Methylobacterium* sp., *Bacillus velezensis*.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Análisis de suelo

Se presentó un alto contenido de Fósforo - P (115 ppm), Calcio - Ca (24,55 meq/100g), Magnesio - Mg (1,99 meq/100g), Manganeso - Mn (103 ppm) y Zinc - Zn (43 ppm). En un rango medio se ubica la Materia Orgánica - MO (3,04%) y el Hierro - Fe (40 ppm). Finalmente, en concentraciones bajas se encuentra el Potasio - K (43 ppm), Sodio - Na (38 ppm), Aluminio - Al (0 meq/100g) y Cobre - Cu (2 ppm) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de suelo.

Parámetro	Contenido
Textura (Arena-Limo-Arcilla %)	26-31-43
pH en Agua (1:2:5)	6,31
Fósforo (ppm)	115
Potasio (ppm)	43
Sodio (ppm)	38
Calcio (meq/100g)	24,55
Magnesio (meq/100g)	1,99
Acidez (meq/100g)	0,2
Aluminio (meq/100g)	0
Materia Orgánica (%)	3,04
Hierro (ppm)	40
Cobre (ppm)	2
Manganeso (ppm)	103
Zinc (ppm)	43

En el corregimiento de Río Hato se encuentran diferentes fincas dedicadas a la producción agrícola, estudios de estos suelos indican una baja materia orgánica, bajo contenido de nutrientes y un pH ácido. Reportando así suelos francos-arenosos, valores de MO de 0,66% y 0,48%; Fe: 16,90 y 14,70 (ppm); P: 3,0 y 7,0 (ppm) y pH de 5,80 y 5,80 para fincas en las comunidades de Santa Cruz Isidro y Los Aleo, respectivamente. Nuestro sitio de estudio, ubicado en la comunidad de Bajo Bonito, presentó un suelo arcilloso con un pH de 6,31 por lo que se considera poco ácido, en cuanto a los nutrientes esenciales tenemos alto contenido de fósforo y medio de materia orgánica y hierro.

Análisis estadístico

Para evaluar el rendimiento del biol se tomó el peso acumulado de cada tratamiento en tres cosechas. En el gráfico caja y bigotes Figura 4 se muestra que el



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

tratamiento 5 (T5) presenta la mediana Q2 por arriba del valor promedio (1,048) kg y en la Figura 5 se compara el T5 vs el control.

El tratamiento 4 (T4) resulto ser el más eficiente para aumentar la concentración de clorofila en las hojas de culantro, ya que presento la mediana por encima del valor promedio (40,81), tal y como se muestra en el gráfico de caja y bigotes Figura 6 y en la Figura 7 se compara el T4 vs el control (T6).

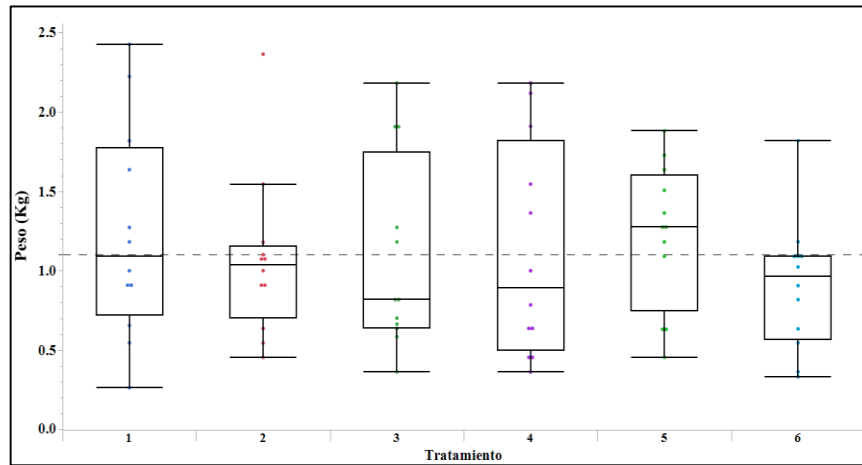


Figura 4. Rendimiento de los tratamiento y control (T6).

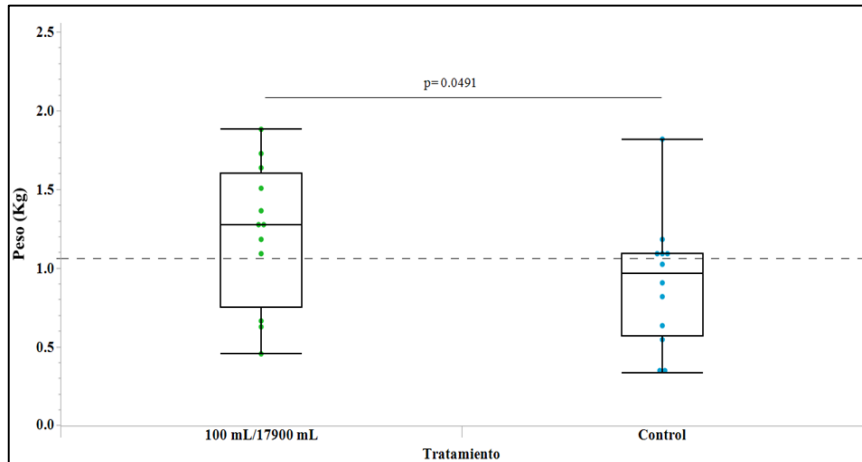


Figura 5. Rendimiento del tratamiento 5 vs control (T6).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

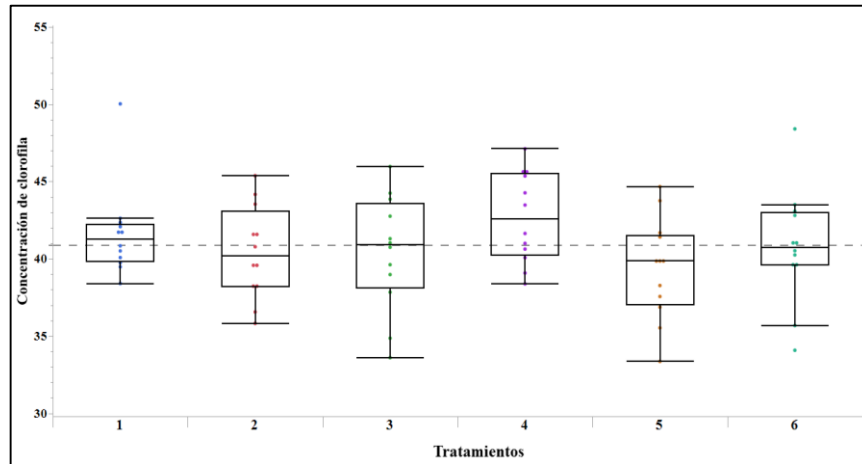


Figura 6. Concentración de clorofila de los tratamientos.

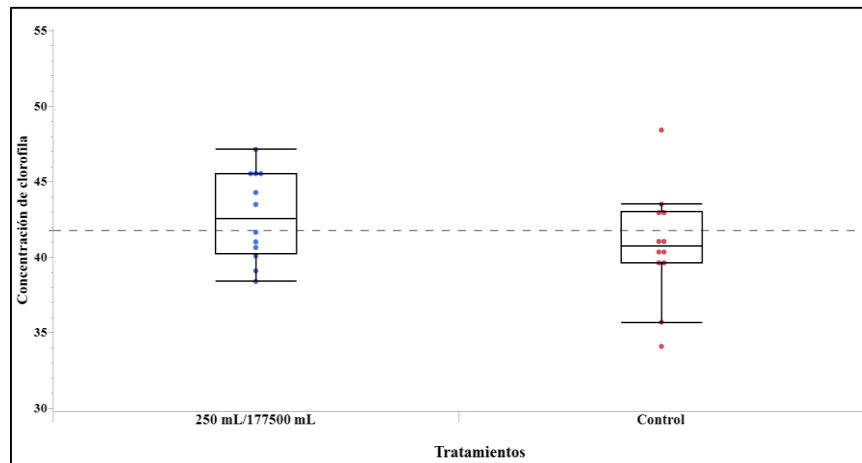


Figura 7. Concentración de clorofila del tratamiento 4 vs control (T6).

Determinar la dosis óptima del biol para el cultivo del culantro permite una mayor optimización de los recursos para los productores. Cárdenas y Hondoy (2017) estudiaron para su trabajo de graduación el efecto del biol como fertilizante orgánico en tres cultivares de *Pennisetum purpureum*, llegando a la conclusión de que el uso de biol en combinaciones de Urea 25% o Urea 50% resultan ser combinaciones más eficaces que el uso de biol 100%. Presentando así aproximaciones cercanas a nuestros resultados, ya que una mayor cantidad de biol no asegura un mejor rendimiento por cosecha. De igual manera, es importante tener en consideración que para nuestro estudio se trabajó con un suelo libre



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

de agroquímicos y las cepas encontradas en el biol son nativas del área, lo que explica porque con el tratamiento 6 correspondiente al control (18 L de agua) se obtuvo un buen rendimiento.

CONCLUSIONES

- Las 34 cepas aisladas mostraron la capacidad de ser promotoras de crecimiento vegetal en diferentes pruebas, resaltando en la producción de sideróforos.
- Los tratamientos mostraron ser eficientes para aumentar el rendimiento del cultivo del culantro coyote (*Eryngium foetidum* L.), y con menor cantidad de biol se obtuvieron los mejores resultados.
- El tratamiento 5 con 100 ml de biol en 17,90 L de agua, resultó ser la dosis óptima para la fertilización del culantro coyote.
- El suelo de estudio mostró tener un buen contenido de materia orgánica y nutrientes por lo que se considera apto para el cultivo del culantro coyote.

REFERENCIAS

- Álvarez-Solís, J. D., Gómez-Velasco, D. A., León-Martínez, N. S., & Gutiérrez-Miceli, F. A. (2010). Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia*, 44(5), 575-586.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000500007
- Arora, N. K., & Verma, M. (2017). Modified microplate method for rapid and efficient estimation of siderophore produced by bacteria. *Biotech*, 7, 381.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s13205-017-1008-y>
- Barrera, G. (2016). *Análisis y caracterización de sideróforos producidos por rizobacterias para el control de la antracnosis causada por Colletotrichum gloeosporioides en*



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

frutos de aguacate. [Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional].

<https://repositorio.cinvestav.mx/bitstream/handle/cinvestav/1578/SSIT0014029.pdf?sequence=1>

Beltrán-Pineda, M. E. (2014). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 101-113. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-87062014000100009&lng=en&tlng=es

Bruner, G., Jimenez, L., Mendoza, Y., Chial, B., & de Chial, M. (2013). Bacterial Diversity and Physicochemical Stratification of the Water Column during the Rainy Season in Las Cumbres Lake, Panama. *The Internet Journal of Microbiolog*, 12(1). <http://ispub.com/IJMB/12/1/14553>

Cárdenas, M., & Hondoy, D. (2017). Efecto del biol como fertilizante orgánico en tres cultivares de *Pennisetum purpureum*. [Tesis de Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional Agraria]. <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-una-ni-3610/Description> ; <https://repositorio.una.edu.ni/3610/1/tnf04c266e.pdf>

Chandra, S., Askari, K., & Kumari, M. (2018). Optimization of indole acetic acid production by isolated bacteria from *Stevia rebaudiana* rhizosphere and its effects on plant growth. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 16(2), 581-586. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2018.09.001>

Cisneros-Rojas, C. A., & Sánchez de Prager, M. (2015). Solubilización de fosfatos por hongos asociados a un Andisol de tres agroecosistemas cafeteros de la región andina colombiana. *Ingenium*, 9(25), 37-46. <https://repositorio.usc.edu.co/server/api/core/bitstreams/61e79143-e202-4a19-926a-a632e68f403a/content>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Cycon, M., Żmijowska, A., Wójcik, M., & Piotrowska-Seget, Z. (2013). Biodegradation and bioremediation potential of diazinon-degrading *Serratia marcescens* to remove other organophosphorus pesticides from soils. *Journal of Environmental Management*, 117, 7-16. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.12.031>
- Escobar, C., Horna, Y., Carreño, C., & Mendoza, G. (2011). Caracterización de cepas nativas de *Azotobacter* spp. y su efecto en el desarrollo de *Lycopersicon esculentum* Mill. "tomate" en Lambayeque. *Scientia Agropecuaria*, 2(1), 39-49. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2011.01.05>
- Espinosa-Tasón, J., & Barba, A. (2014). Reseña histórica de la problemática de contaminación por agroquímicos y mecanismos de regulación en Panamá. *Visión Antataura*, 2(1), 37-48. <https://core.ac.uk/reader/478586890>
- Google Earth. (2022). Capira, Panamá. Google Earth. <https://earth.google.com/web/@8.72500002,-80.05600001,455.51180484a,1000.40187406d,30y,0h,0t,0r/data=MikKJwolCiExcDRCZEVINWxzLTJVLXIEY2p0RkdCVXU2d0o4VF9aN1cgAToDCgEw?authuser=0>
- Hernández, B., Cornejo, H., & Mejía, F. (2016). *Manual de laboratorio del Curso de Microbiología Ambiental de suelos*. Panamá: Universidad de Panamá.
- Holdridge, L. (1987). Ecología: basada en zonas de vida. *IICA*, 216. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=oXutTpUKUb4C&oi=fnd&pg=PA54&dq=Holdridge,+L.+\(1987\).+Ecolog%C3%ADa:+basada+en+zonas+de+vida.+IICA,+216.&ots=7MCM3S_mim&sig=ijcSbAilvPHVKTsd9TYTCyF-tLA#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=oXutTpUKUb4C&oi=fnd&pg=PA54&dq=Holdridge,+L.+(1987).+Ecolog%C3%ADa:+basada+en+zonas+de+vida.+IICA,+216.&ots=7MCM3S_mim&sig=ijcSbAilvPHVKTsd9TYTCyF-tLA#v=onepage&q&f=false)
- Ibarra, J. (2016). Caracterización de bacterias solubilizadoras de fósforo nativas de los suelos de Sinaloa con potencial para incrementar el crecimiento y mejorar la nutrición fosforada del maíz (*Zea mays* L.). [Tesis de maestría en recursos naturales y medio ambiente. Instituto Politécnico Nacional].



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Kloepper, J., Leong, W., Teintze, M., & Schroth, M. N. (1980). Enhanced plant growth by siderophores produced by plant growth-promoting rhizobacteria. *Nature*, 885-886. <https://www.nature.com/articles/286885a0>
- Lebrazi, S., Fadil, M., Chraibi, M., & Fikri-Benbrahim, K. (2020). Screening and optimization of indole-3-acetic acid production by *Rhizobium* sp. strain using response surface methodology. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 18(1), 1-10. <https://igeb.springeropen.com/articles/10.1186/s43141-020-00035-9>
- Lindsay, W. L., Vlek, P. L., & Chien, S. H. (1989). Phosphate minerals. Minerals in soil, 1089-1130. <https://doi.org/10.2136/sssabookser1.2ed.c22>
- Loper, J. E., & Schroth, M. N. (1986). Importance of siderophores in microbial interactions in the Rhizosphere. *Iron, Siderophores, and Plant Diseases* 117, 85-98. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-9480-2_11
- Mantilla, M. (2007). Evaluación de la acción de un bioinoculante sobre un cultivo de crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* var. yoko ono) en período de enraizamiento. [Tesis de Microbiología Agrícola. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia]. <http://hdl.handle.net/10554/8381>
- Milagres, A., Machuca, A., & Napoleão, D. (1999). Detection of siderophore production from several fungi and bacteria by a modification of chrome azurol S (CAS) agar plate assay. *Journal of Microbiological Methods*, 37(1), 1-6. [https://doi.org/10.1016/S0167-7012\(99\)00028-7](https://doi.org/10.1016/S0167-7012(99)00028-7)
- Mohite, B. (2013). Isolation and characterization of indole acetic acid (IAA) producing bacteria from rhizospheric soil and its effect on plant growth. *Journal of soil science and plant nutrition*, 13(3), 638-649. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-95162013005000051&script=sci_arttext&tlng=en



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Molina-Romero, D., Bustillos-Cristales, M. R., Rodríguez-Andrade, O., Morales-García, Y. E., Santiago-Saenz, Y., Castañeda-Lucio, M., & Muñoz-Rojas, J. (2015). Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Biológicas*, 17(2), 24-34.

<https://www.biologicas.umich.mx/index.php?journal=biologicas&page=article&op=view&path%5B%5D=207&path%5B%5D=pdf>

Morales, J., Brunner, B., Flores, L., & Martínez, S. (2013). *Hoja Informativa: culantro orgánico*. Lajas, Puerto Rico : Proyecto de agricultura orgánica. Departamento de cultivos y ciencias agroambientales. Estación Experimental Agrícola de Lajas. Obtenido de Proyecto de agricultura orgánica. Departamento de cultivos y ciencias agroambientales.

Ozidal, M., Gur, O., Sezen, A., & Faruk, O. (2017). Continuous production of indole-3-acetic acid by immobilized cells of *Arthrobacter agilis*. *Revista 3 Biotech*, 7, 23.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s13205-017-0605-0>

Parfitt, R. L., & Kimble, J. M. (1989). Conditions for formation of allophane in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 53(3), 971-977.

<https://doi.org/10.2136/sssaj1989.03615995005300030057x>

Patten, C. L., & Glick, B. R. (2002). Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Applied and environmental microbiology*, 68(8), 3795-3801.

<https://journals.asm.org/doi/full/10.1128/aem.68.8.3795-3801.2002>

<https://doi.org/10.1128/AEM.68.8.3795-3801.2002>

Payne, S. M. (1993). Iron acquisition in microbial pathogenesis. *Trends in microbiology*, 1(2), 66-69.

[https://www.cell.com/trends/microbiology/abstract/0966-842X\(93\)90036-Q](https://www.cell.com/trends/microbiology/abstract/0966-842X(93)90036-Q)



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Restrepo-Franco, G. M., Marulanda-Moreno, S., de la Fe-Pérez, Y., Díaz-de la Osa, A., Lucia-Baldani, V., & Hernández-Rodríguez, A. (2015). Bacterias solubilizadoras de fosfato y sus potencialidades de uso en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 46(1), 63-76. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1010376/1/BacteriassolubilizadorasdefosfatoysuspotencialidadesdeusoBaldani.pdf>
- Rodríguez-Chávez, J. (11 de Marzo de 2020). *Microorganismos benéficos en la agricultura*. Recuperado el 27 de Agosto de 2024, de Centro Universitario CEICKOR.: <https://www.centrouniversitarioceickor.edu.mx/home/2020/01/10/microorganismos-beneficos-en-la-agricultura/>
- Salazar, A. M., & Ordoñez, C. A. (2013). Aislamiento de identificación de actinomicetos fijadores denitrógeno en el suelo del Jardín Botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira. [Trabajo de Grado, Química Industrial, Universidad Tecnológica de Pereira] 115p. <https://repositorio.utp.edu.co/entities/publication/97aa4803-79d1-4a48-9957-4279d0444230>
- Salazar, J., & Aldana, M. (2011). Herbicida glifosato: usos, toxicidad y regulación. *Biotecnia*, 13(2), 23-28. <https://www.redalyc.org/pdf/6729/672971155003.pdf>
- Sanyal, S. K., & De Datta, S. K. (1991). Chemistry of phosphorus transformations in soil. . *Advances in soil science*, 1-120. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4612-3144-8_1
- Schwyn, B., & Neilands, J. (1987). Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores. *Analytical Biochemistry*, 160(1), 47-56. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(87\)90612-9](https://doi.org/10.1016/0003-2697(87)90612-9)
- Spaepen, S., Vanderleyden, J., & Okon, Y. (2009). Chapter 7 Plant growth-promoting actions of rhizobacteria. *Advances in Botanical Research*, 51, 283-320. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(09\)51007-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(09)51007-5)



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Suchini-Ramírez, J. (2012). *Innovaciones agroecológicas para una producción agropecuaria sostenible en la región del Trifinio*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7790>

Tomer, S., Suyal, D. C., & Goel, R. (2016). Biofertilizers: A timely approach for sustainable agriculture. *Plant-Microbe Interaction: An Approach to Sustainable Agriculture*, 375-395. doi:10.1007/978-981-10-2854-0_17.

https://www.researchgate.net/publication/314263435_Biofertilizers_A_Timely_Approach_for_Sustainable_Agriculture

Tripti, K., Kumar, A., & Anshumali, V. (2012). Hosphate Solubilizing Activity of Some Bacterial Strains Isolated from Chemical Pesticide Exposed Agriculture Soil. *International Journal of Engineering Research and Development*.

https://www.researchgate.net/publication/282323814_Phosphate_Solubilizing_Activity_of_Some_Bacterial_Strains_Isolated_from_Chemical_Pesticide_Exposed_Agriculture_Soil

Villachica, H. (1996). Frutales y hortalizas promisorios de la Amazônia. *Lima: Tratado de Cooperacion Amazônica*, 385.

<https://agris.fao.org/search/en/providers/122452/records/6472488908fd68d546009bfb>

Zepeda-Jazo, I. (2018). Manejo sustentable de plagas agrícolas en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 15(1), 23-28.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-54722018000100099&script=sci_arttext



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)