

Caracterización morfológica y optimización de bio-insumo a base de microorganismos eficientes

Jorge Abel Crespo Ávila
<https://orcid.org/0000-0002-7127-2818>
jcrespoa@uteq.edu.ec
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo, Ecuador

Cecibel Carolina Carranza Cárdenas
<https://orcid.org/0009-0003-8289-975X>
cecibel.carranza2016@uteq.edu.ec
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo-Ecuador

Manuel Benjamín Suquilanda Valdivieso
<https://orcid.org/0009-0004-5764-7435>
msuquilandav@uteq.edu.ec
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo, Ecuador

Ketty Vanessa Arellano Ibarra
<https://orcid.org/0000-0001-7168-7485>
ketty.arellano2017@uteq.edu.ec
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo, Ecuador

Luis Fernando Vera Benites
<https://orcid.org/0000-0003-4567-1919>
luisverabenites.ec@gmail.com
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo, Ecuador

*Autor de correspondencia: jcrespoa@uteq.edu.ec

Recibido (27/11/2024), Aceptado (17/01/2025)

Resumen: El estudio de la caracterización morfológica y la optimización de bioinsumos basados en microorganismos eficientes es esencial para la agricultura y la biotecnología. En esta investigación se aislaron y caracterizaron microorganismos autóctonos, evaluando su crecimiento en medios de cultivo alternativos. Se prepararon tres medios suplementados con fuentes alternativas de energía según los requerimientos nutricionales bacterianos en distintas concentraciones. Para el análisis, se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 25 tratamientos. En el Medio 1, todas las cepas mostraron conteos bacterianos incontables debido a un crecimiento excesivo. Los resultados de crecimiento colonial proporcionan información valiosa sobre las preferencias nutricionales y las respuestas adaptativas de bacterias ante diferentes condiciones de cultivo proporcionando datos clave para el desarrollo de bioinsumos más eficientes y sostenibles.

Palabras clave: bio-insumo, microorganismos, medios de cultivo.

Morphological characterization and optimization of bio-input based on efficient microorganisms

Abstract.- The study of morphological characterization and optimization of bio-inputs based on efficient microorganisms is essential for agriculture and biotechnology. In this research, indigenous microorganisms were isolated and characterized, evaluating their growth in alternative culture media. Three media supplemented with alternative energy sources according to bacterial nutritional requirements at different concentrations were prepared. For the analysis, a Completely Randomized Design (CRD) with 25 treatments was used. In Medium 1, all strains showed uncountable bacterial counts due to excessive growth. The colonial growth results provide valuable information on the nutritional preferences and adaptive responses of bacteria to different culture conditions, providing key data for developing more efficient and sustainable bio-inputs.

Keywords: bio-input, microorganisms, culture media.



I. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales desafíos de la agricultura es reducir el impacto ambiental de los agroquímicos sintéticos sin comprometer la productividad. Actualmente, el 50 % de los nutrientes para el crecimiento vegetal proviene de fertilizantes químicos; sin embargo, su uso excesivo disminuye la biodiversidad, contamina el ambiente, genera desbalances de nutrientes y materia orgánica, y ocasiona pérdidas económicas a los agricultores. [1].

La caracterización morfológica y la optimización de bioinsumos a base de microorganismos eficientes son áreas de creciente interés en la agricultura sostenible, que incluyen una amplia diversidad de microorganismos que consisten en productos formulados líquidos que contienen más de 80 especies de microorganismos, capaces de coexistir como comunidades microbianas potenciando la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas [2]. La caracterización morfológica de los microorganismos eficientes permite identificar sus estructuras celulares, adaptaciones fisiológicas y posibles interacciones con el medio ambiente, proporcionando información crucial para su aplicación efectiva. Asimismo, la optimización de bioinsumos implica la evaluación de condiciones específicas de cultivo y formulación que maximizan su viabilidad y funcionalidad en distintos sistemas agrícolas.

El uso de bioinsumos formulados en base a microorganismos que favorezcan el crecimiento vegetal, puede lograrse mediante la aplicación de combinaciones de microorganismos seleccionados que aportan diferentes beneficios al suelo y las plantas [3], pues la biofertilización con microorganismos presentes en enmiendas orgánicas u otros bioinsumos actúan como probióticos para ellas [4]. Esto se debe a su capacidad para mejorar la estructura física del suelo, incrementar la actividad fotosintética contribuyendo a una agricultura sostenible [5]. Este estudio tuvo como finalidad analizar las características morfológicas de microorganismos eficientes y desarrollar estrategias para la optimización de bioinsumos, contribuyendo al fortalecimiento de prácticas agrícolas sostenibles y al mejoramiento de la salud del ecosistema.

II. DESARROLLO

Los microorganismos eficientes (EM) constituyen una alternativa sostenible y ecológica para mejorar la salud, la fertilidad del suelo y productividad de los cultivos. Estos microorganismos, como bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas, levaduras y hongos, se encuentran en ecosistemas naturales y tienen propiedades funcionales que benefician finalmente a la producción de cultivos y por ende a los agricultores [2]. En la producción de inóculos bacterianos a gran escala con fines comerciales se deben considerar materias primas que garanticen la supervivencia de los microorganismos, desde la producción hasta la aplicación, siendo económico, estéril, no reactivo, fácilmente disponible y compatible con el medio ambiente.

Existen especies de *Pseudomonas* que al colonizar las raíces y tejidos pueden mitigar los impactos del estrés ambiental en la planta al contribuir a la obtención de nutrientes, regular los niveles de hormonas, inducir la acumulación de antioxidantes y permitir, regular o disminuir la expresión de los genes relacionados con el crecimiento. Algunos de los efectos comprenden: incremento en la asimilación de nutrientes, estimulación del sistema radicular, activación de respuestas de defensa, disminución del estrés abiótico. Las rizobacterias son capaces de mejorar la tasa fotosintética de las plantas debido al aumento en conductancia estomática y una mayor eficiencia fotoquímica particularmente bajo condiciones de estrés abiótico, mejorando la asimilación del CO₂, aumentan el contenido de clorofila [6].

A. Bioprospección de microorganismos

La bioprospección de microorganismos autóctonos conlleva la investigación de microorganismos capaces de potenciar la fertilidad del suelo y la asimilación de nutrientes por las plantas, reduciendo así la necesidad de emplear fertilizantes químicos. Estos microorganismos pueden ser capaces de fijar nitrógeno en el suelo, mejorar la disponibilidad de nutrientes o controlar enfermedades de las plantas de manera natural, al desarrollar consorcios microbianos o biofertilizantes a partir de microorganismos nativos, se busca promover prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Estos biofertilizantes pueden ser utilizados como una alternativa amigable con el ecosistema y reducir la dependencia de los fertilizantes químicos [7].

Los microorganismos normalmente se reproducen en medios nutritivos donde encuentran los nutrientes necesarios para su desarrollo que les proporcionan condiciones óptimas para su crecimiento en entornos controlados de laboratorio o de la industria [8]. El diseño de un medio de cultivo responde a las exigencias del microorganismo en cuestión y a la finalidad que se persigue con su multiplicación; por tanto, la selección y la concentración adecuada de los nutrientes es un factor de vital importancia. Un medio de cultivo optimizado garantiza el suministro adecuado de nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos empleados en la producción de bio-insumos. Este proceso implica la formulación y optimización de los medios de cultivo, que incluyen el diseño, la composición y la concentración de nutrientes, así como la consideración de factores como el pH, la temperatura y la agitación [9].

La relevancia de reemplazar los medios sintéticos por alternativas de bajo costo radica en que estos últimos suelen representar entre el 50 % y el 70 % de los costos de producción [10]. El uso de medios de cultivo alternativos para la producción de bio-insumos agrícolas es un tema relevante en la búsqueda de soluciones sostenibles y amigables con el medio ambiente en la industria agrícola. Los bio-insumos son productos que se emplean en el manejo integrado de plagas o en la mejora de la producción y productividad de los cultivos y los suelos, elaborándose a partir de microorganismos vivos, virus, macroorganismos, productos de ocurrencia natural o productos bioquímicos.

B. Diseño y formulación de medios de cultivo

La selección de medios, formulación adecuada, método y medio de propagación del inóculo (medio y sistema de cultivo), puede ser una limitante en el proceso de producción de un biofertilizante, además del alto costo de las materias primas industriales. Igualmente, se deben optimizar los parámetros de fermentación de los inóculos bacterianos para garantizar un adecuado crecimiento de las bacterias. El diseño y la optimización de medios de cultivo son fundamentales para promover el crecimiento de microorganismos en la producción de bio-insumos. Este proceso implica seleccionar nutrientes según las necesidades específicas del microorganismo, considerando sus rutas metabólicas y procesos de regulación. La composición del medio no solo influye en el rendimiento y la productividad, sino también en la facilidad y el costo de separar el producto final.

La formulación de los medios de cultivo implica calcular con precisión las concentraciones de nutrientes y regular factores clave como el pH, la temperatura y la agitación. Los medios no sintéticos, además de ser una opción económica y respetuosa con el medio ambiente, deben satisfacer las necesidades esenciales de los microorganismos para garantizar la producción de biomasa y metabolitos. No obstante, es fundamental analizar la procedencia de los insumos, ya que podrían contener sustancias tóxicas que comprometan el desarrollo microbiano. Un medio de cultivo diseñado y optimizado de manera adecuada resulta indispensable para lograr una producción eficiente y sostenible de bio-insumos [8].

III. METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló en condiciones controladas dentro del laboratorio de Biología y Microbiología de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), ubicado en la Finca Experimental "La María", garantizando la reproducibilidad de los experimentos mediante la estandarización de las variables y de los procedimientos empleados. Para la recolección y análisis de los datos, se aplicaron protocolos estandarizados en biología y microbiología y se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) garantizando la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

La preparación de los sustratos y la captura de los microorganismos, fundamental para el desarrollo del experimento, se realizó con precisión, utilizando contenedores plásticos con capacidad para 500 gramos, que contenían arroz cocido, harina de pescado y melaza como potenciadores del crecimiento microbiano. El sustrato preparado se colocó en los recipientes, que fueron sellados con malla o nylon y asegurados con una liga para evitar derrames. Para la obtención de la solución madre de microorganismos eficientes (EM) en medio líquido, se añadieron 9 litros de agua hervida pero fresca a la cosecha de arroz impregnado con microorganismos, se agregaron 3 litros de melaza, agitando luego la mezcla durante 5 minutos. El recipiente se selló herméticamente y se dejó reposar por 30 días para facilitar el proceso de propagación de los microorganismos.

El proceso de aislamiento y purificación de los microorganismos capturados fue fundamental para asegurar la obtención de cepas representativas. Para ello, se emplearon técnicas estándar de dilución seriada la cual se procedió a tomar una muestra de la solución madre obtenida, con la que se llevaron a cabo diluciones seriadas hasta 10^{-6} UFC en tubos Eppendorf con 900 μ L de agua destilada y 100 μ L homogenizados con vortex. Posteriormente, se prepararon medios de cultivo PDA (Papa- Dextrosa- Agar) y Agar Nutriente, que fueron esterilizados y vertidos en cajas Petri. En estas, se sembraron 20 μ L de las diluciones y se incubaron a 28 °C durante 48 horas. Para la purificación de cepas, se seleccionaron las colonias más representativas y se utilizó la técnica de siembra por estriado por agotamiento en los mismos medios. Esto incluyó dividir las cajas Petri en cuatro cuadrantes y estriar las muestras de manera progresiva, incubando las placas a 37 °C por 24-48 horas para obtener cepas puras y reactivadas.

B. Pruebas bioquímicas de las cepas aisladas

Las pruebas bioquímicas de las cepas aisladas incluyeron la tinción de Gram, la prueba de catalasa, la prueba de oxidasa, la prueba de auxinas y la prueba de fluorescencia. En la tinción de Gram, se diferenciaron las bacterias Gram-positivas y Gram-negativas según su pared celular, utilizando cristal violeta, yodo, etanol y safranina o rojo de metilo, resultando en bacterias Gram-positivas de color violeta oscuro y Gram-negativas de rosa o rojo. La prueba de catalasa se realizó aplicando peróxido de hidrógeno sobre una colonia, observando burbujas para indicar la presencia de la enzima. La prueba de oxidasa implicó el uso de tetrametil-p-fenilendiamina, con un cambio a azul-púrpura indicando actividad oxidasa-positiva. En la prueba de auxinas, se inoculó King B y se utilizó el reactivo de Salkowski para detectar auxinas, observando un cambio de color a rojo intenso. Finalmente, en la prueba de fluorescencia, se observó el crecimiento bacteriano en medio King B bajo luz ultravioleta para evaluar la emisión de fluorescencia. Para evaluar el crecimiento bacteriano bajo diferentes formulaciones de medios de cultivo suplementados con fuentes alternativas de energía, se prepararon diversas composiciones de medios en distintas concentraciones, ajustadas a los requerimientos nutricionales de las bacterias. Se elaboraron tres medios de cultivo, cuyas características y composiciones se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Formulación de los medios de cultivos alternativos.

Ingredientes	Concentraciones		
	Medio 1	Medio 2	Medio 3
Melaza	4 mL	6 mL	8 mL
Roca fosfórica	10 g	20 g	30 g
Harina de maíz	10 g	15 g	20 g
Silicio	2 g	4 g	6 g
Algas marinas	4 g	6 g	8 g
Sulfato de magnesio	1,5 g	3 g	4,5 g
Sulfato de zinc	1,5 g	3 g	4,5 g
Fosfato monopotásico	1,5 g	3 g	4,5 g

C. Carga bacteriana de los medios de cultivos medios alternativos

Se incubó en un matraz Erlenmeyer con 100 mL de medios de cultivo a 26 °C durante 48 horas con agitación continua a 150 rpm. Para el recuento de microorganismos viables, se utilizó la técnica de conteo de Unidades Formadoras de Colonia (UFC/mL) mediante microgotas, preparando diluciones seriadas hasta un factor de -4. En placas de Petri con medio King B, se depositaron 20 µL de cada dilución en cuadrantes definidos, dispersando las microgotas en un diámetro de 1.5-2 cm. Tras 24 horas de incubación, se contaron las diluciones que formaron entre 30 y 300 colonias. Para determinar el número de células viables por mililitro (mL) se utilizó la ecuación $UFC = (Nc * Fd) / Vs$ (1), donde UFC representa las unidades formadoras de colonia, Nc el número de colonias por caja, Fd el factor de dilución y Vs el volumen de siembra.

IV. RESULTADOS

A. Morfología bacteriana

El análisis de la morfología colonial indicó que el 62,5 % de los aislamientos presentaron una forma circular tras 72 horas de incubación, mientras que el 37,5 % restante exhibió una morfología puntiforme. En relación con la elevación de las colonias, se observó una predominancia del 87,5 % con elevación regular, excepto en el caso de la cepa CB7, que representó el 12,5 % de la población analizada y mostró una elevación puntiforme. Respecto a la caracterización del borde, el 87,5 % de las colonias mostró un borde entero, siendo la cepa CB3 la única que presentó un borde ondulado (tabla 2).

Tabla 2. Morfología bacteriana.

CEPA	FORMA COLONIA			ELEVACIÓN			FORMA DE BORDE		
	CR	PT	GN	CV	EV	PN	ET	OD	DD
CB1	+	-	-	-	+	-	+	-	-
CB2	-	+	-	-	+	-	+	-	-
CB3	+	-	-	-	+	-	-	+	-
CB4	+	-	-	-	+	-	+	-	-
CB5	-	+	-	-	+	-	+	-	-
CB6	+	-	-	-	+	-	+	-	-
CB7	+	-	-	-	-	+	+	-	-
CB8	-	+	-	-	+	-	+	-	-

Nota: CR (Circular); PT (Puntiforme); GN (Granular); CV (Convexa); EV (Elevada); PN (Plana); ET (Entera); OD (Ondulada); DD (Dentada); + (Presencia de morfología); - (Ausencia de morfología).

B. Pruebas bioquímicas

Los estudios bioquímicos realizados en las cepas en estudio indicaron que el 100% de ellas son productoras de complejos auxínicos. Se destacó que las cepas CB1, CB6 y CB7 exhibieron los niveles más altos de producción, como se detalla en la (Tabla 3). Además, la mayoría de las cepas exhibieron actividad de oxidasa y catalasa, con la excepción de la cepa CB7, que no demostró actividad enzimática catalasa. Asimismo, se observó que todas estas cepas son bacterias Gram negativas y presentan fluorescencia, una característica típica del género *Pseudomonas*.

Tabla 3. Pruebas bioquímicas.

Cepa	Auxina	Catalasa	Oxidasa	Tinción de Gram	Fluorescencia
CB1	++	+	++	-	+
CB2	+	+	++	-	+
CB3	+	+	++	-	+
CB4	+	+	++	-	+
CB5	+	++	+	-	+
CB6	++	++	+	-	+
CB7	++	++	-	-	+
CB8	+	++	+	-	+

Los estudios bioquímicos realizados en las cepas en estudio indicaron que el 100 % de ellas son productoras de complejos auxínicos. Mazzoni et al. [11] mencionan que los complejos auxínicos son compuestos químicos que pertenecen a una clase de hormonas vegetales conocidas como auxinas. Bajo dicho contexto Calatrava et al. [12] determinaron que la producción de complejos auxínicos de las cepas microbianas ocurre debido a la presencia de enzimas específicas en su metabolismo.

El análisis de la producción enzimática de catalasa mostró resultados significativos, evidenciando que las bacterias evaluadas alcanzaron niveles óptimos de síntesis de la enzima. En particular, las cepas CB5, CB6, CB7 y CB8 (figura 1) destacaron los niveles más altos de producción. La elevada actividad enzimática observada en estas cepas sugiere una mayor eficiencia en la descomposición de peróxidos, así como una notable capacidad para resistir condiciones oxidativas adversas.

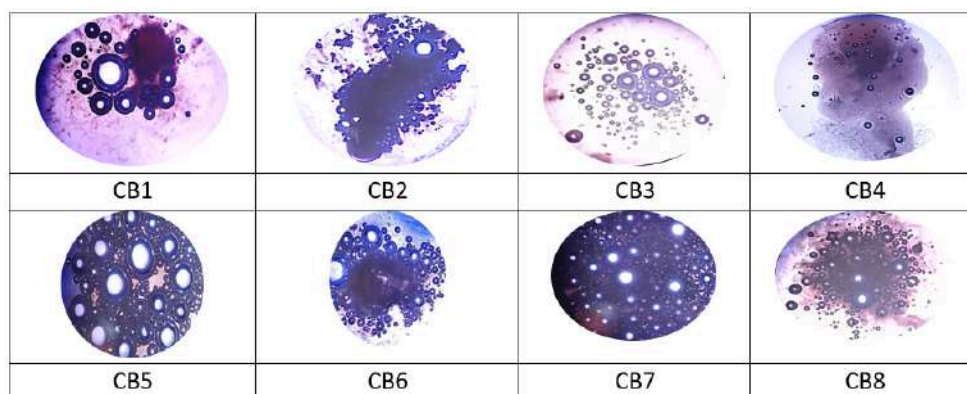


Fig. 1. Prueba de catalasa.

El análisis enzimático realizado para evaluar la actividad de las oxidasas en la cepa CB7 no mostró evidencia de actividad enzimática detectable. Este resultado sugiere la ausencia de enzimas oxidasas en dicha cepa, lo cual podría estar asociado con su perfil metabólico característico. En contraste, las demás cepas analizadas bajo las mismas condiciones exhibieron una reacción notablemente positiva, evidenciando una actividad enzimática significativa de las oxidasas (fig. 2). Estos hallazgos indican una alta presencia de estas enzimas en las cepas mencionadas, lo que podría repercutir en su capacidad metabólica y en su adaptación a entornos o sustratos específicos.

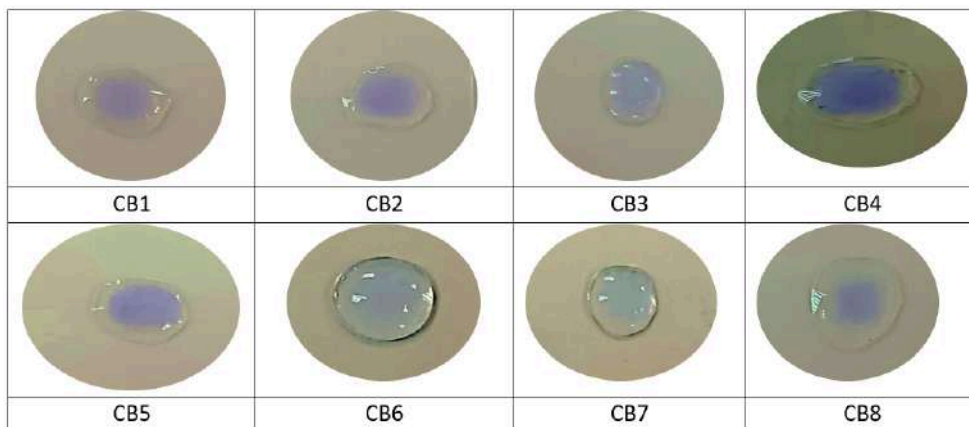


Fig. 2. Prueba de oxidasas.

Las cepas analizadas presentaron una composición de pared celular típica de bacterias Gram negativas, lo que permitió establecer una relación entre ellas basada en características bioquímicas y patrones de crecimiento. Dichas cepas se agrupan dentro de clados relacionados que comparten esta característica distintiva, como las bacterias del género *Pseudomonas*, reconocidas por su capacidad para asociarse con el sistema radicular de las plantas (fig. 3).

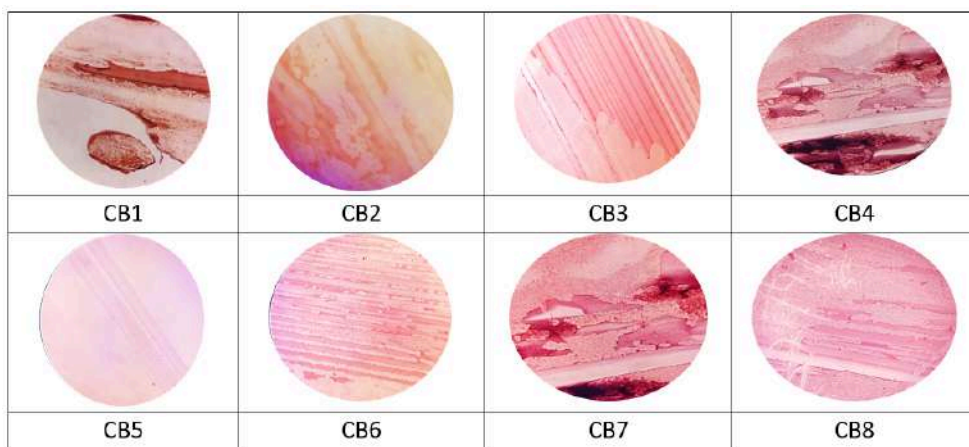


Fig. 3. Tinción de Gram.

El estudio bioquímico de las cepas de microorganismos eficientes EM obtenidas demostró que el 100 % son bacterias Gram negativas y presentan fluorescencia, una característica típica del género *Pseudomonas*. Molina et al. [13] mencionan que este género es conocido por su diversidad metabólica y su capacidad para colonizar una amplia gama de ambientes, desde suelos hasta ambientes acuáticos y la rizosfera de las plantas. Además, Shaikh et al. [14] evidencian que muchas especies de *Pseudomonas* son conocidas por su versatilidad en la degradación de compuestos orgánicos y su potencial en aplicaciones industriales.

Los aislados bacterianos exhibieron una distintiva fluorescencia verde al ser expuestos a luz ultravioleta (figura 4), tras un periodo de incubación de 72 horas en el medio de cultivo *Pseudomonas* Agar F. Entre las cepas analizadas, CB2, CB4 y CB5 destacaron por la intensidad de su fluorescencia y su rápido crecimiento en dicho medio. Las cepas CB1, CB3, CB6 y CB8 también mostraron crecimiento y fluorescencia, aunque en menor intensidad en comparación con CB2, CB4 y CB5. A pesar de la atenuación en la fluorescencia, el desarrollo observado en el medio *Pseudomonas* Agar F sugiere una adaptación compartida a las condiciones del entorno. Este comportamiento podría reflejar características metabólicas y genéticas comunes entre las cepas evaluadas.

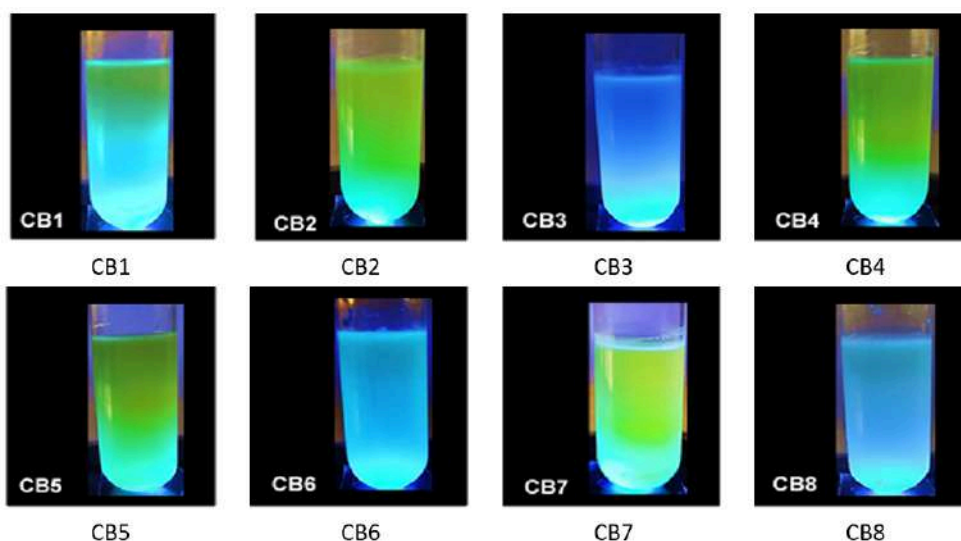


Fig. 4. Prueba de fluorescencia.

C. Análisis del crecimiento bacteriano sometido a diferentes formulaciones de medios de cultivo suplementado con fuentes alternativas de energía.

En el estudio presentado en la tabla 4, se evaluó el crecimiento bacteriano de distintas cepas (CB) utilizando tres medios de cultivo alternativos. En el medio 1, todas las cepas mostraron conteos bacterianos incontables, lo que indica un crecimiento excesivo que no pudo ser cuantificado de manera precisa.

En el medio 2, se observaron diferencias significativas en el crecimiento bacteriano entre las cepas. Los resultados fueron los siguientes: CB1 alcanzó un crecimiento de 22,33 unidades; CB2, 30,67 unidades; CB3, 30,33 unidades; CB4 registró el mayor crecimiento con 104,67 unidades; CB5 alcanzó 61,00 unidades; CB6, 60,50 unidades; CB7, 60,68 unidades; y CB8 presentó el menor crecimiento con 14,33 unidades. Mientras que, en el medio 3, también se evidenció variabilidad en el crecimiento bacteriano. CB1 presentó un crecimiento de 46,00 unidades; CB2, 53,33 unidades; CB3 alcanzó 123,33 unidades; CB4 mostró un crecimiento de 49,33 unidades; CB5 registró 121,00 unidades; CB6 presentó el menor crecimiento con 7,00 unidades; CB7 alcanzó 62,46 unidades; y CB8 mostró el crecimiento más bajo, con 1,50 unidades.

Los valores compartidos con letras indican agrupaciones estadísticamente similares, donde la letra "a" representa los valores más altos y "d" los más bajos. Esta categorización permite identificar patrones significativos en la respuesta de las cepas a los diferentes medios de cultivo. Sin embargo, Pattnaik et al. [15] mencionan que, además de carbono, las bacterias necesitan otros nutrientes esenciales, como nitrógeno, fósforo, potasio y otros minerales, para sintetizar proteínas, ácidos nucleicos y otras biomoléculas. En otra investigación hacen referencia a que las sales minerales presentes en el medio proporcionan estos nutrientes esenciales, ayudando así al crecimiento y desarrollo bacteriano.

Tabla 4. Crecimiento bacteriano de los distintos medios de cultivo alternativos.

Cepas	Medio 1	Medio 2		Medio 3	
CB1	Incontable	22,33	cd	46,00	bc
CB2	Incontable	30,67	c	53,33	bc
CB3	Incontable	30,33	cd	123,33	a
CB4	Incontable	104,67	a	49,33	bc
CB5	Incontable	61,00	b	121,00	a
CB6	Incontable	60,50	b	7,00	c
CB7	Incontable	60,68	b	62,46	b
CB8	Incontable	14,33	d	1,50	c

CONCLUSIONES

Los hallazgos de este estudio evidencian una marcada predominancia de grupos bacterianos con concentraciones microbianas significativas. En particular, se identificaron cepas productoras de complejos auxínicos y bacterias Gram negativas con propiedades fluorescentes, características distintivas del género *Pseudomonas*. Estos resultados sugieren la implicación de dichas bacterias en procesos biológicos relevantes, destacando su potencial aplicación en la promoción del crecimiento vegetal y en estrategias biotecnológicas orientadas a la sostenibilidad agrícola.

Los análisis del crecimiento colonial evidenciaron una notable diversidad en las preferencias nutricionales y en las respuestas adaptativas de las cepas bacterianas frente a distintos medios de cultivo alternativos. Proporcionan información relevante sobre su capacidad metabólica y ecológica, destacando su potencial para ser utilizadas en aplicaciones biotecnológicas y en la optimización de estrategias de cultivo microbiológico.

Además, la caracterización bioquímica y genética de estas cepas permitió identificar la producción de metabolitos secundarios con actividad promotora del crecimiento vegetal. Entre ellos, se destacan sideróforos, compuestos antifúngicos y enzimas degradadoras de moléculas complejas, lo que resalta su papel en la mejora de la disponibilidad de nutrientes y en la protección de las plantas contra patógenos. Estos hallazgos refuerzan la importancia de estas bacterias en el microbiota del suelo, no solo como facilitadores del crecimiento vegetal, sino también como agentes clave en el equilibrio ecológico de los ecosistemas agrícolas.

Por otro lado, la evaluación de la resistencia y tolerancia de las cepas a diversas condiciones de estrés ambiental, como variaciones en el pH, disponibilidad de nutrientes y exposición a compuestos antimicrobianos, evidenció su notable plasticidad fenotípica. Esta capacidad adaptativa sugiere un alto potencial para su aplicación en biotecnología agrícola, en particular en el desarrollo de bioinoculantes y biofertilizantes que puedan mejorar la productividad de cultivos en suelos con características desafiantes.

REFERENCIAS

- [1] L. L. Luna Castellanos and D. B. Sánchez López, "Optimización de medios de cultivos con fuentes agroindustriales para el crecimiento del ñame espino (*Dioscorea rotundata* Poir)," *FAVE Sección Ciencias Agrar.*, vol. 21, no. 1, pp. 67–83, 2022.
- [2] T. Morocho and M. Leiva, "Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas," *Cent. Agrícola*, vol. 46, no. 2, pp. 93–103, 2019.
- [3] M. C. Mestre et al., "de lechuga y zanahoria , en la Patagonia argentina carrot crops , in Argentinean Patagonia," vol. 11, 2024.
- [4] V. Gaveliene, B. Socik, E. Jankovska, and S. Jurkoniene, "Plant microbial biostimulants as a promising tool to enhance the productivity and quality of carrot root crops," *Microorganisms*, vol. 9, no. 9, 2021.

- [5] J. Alarcón, D. Recharte, F. Yanqui, M. Moreno, and M. Buendia, "Fertilizing with native efficient microorganisms has a positive effect on the phenology, biomass and production of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill)," *Sci. Agropecu.*, vol. 11, no. 1, pp. 67–73, 2020.
- [6] A. Velasco, O. Castellanos, G. Acevedo, R. Aarland, and A. Rodríguez, "Rhizospheric bacteria with potential benefits in agriculture," *Terra Latinoam.*, vol. 38, no. 2, pp. 343–355, 2020.
- [7] J. Connor, "Descifrando el contenido microbiano de bioinsumos comerciales para el diseño de un consorcio con potencial biofertilizante," 2019.
- [8] K. Rivera, J. Villegas, and L. Moreno, "Escalado del Proceso de Producción de un Biofertilizante a Base de un Consorcio Bacteriano," pp. 1–82, 2021.
- [9] M. Pérez, J. García, E. Sotolongo, and A. Galuzzo, "Optimización del medio de cultivo y las condiciones de fermentación para la producción de un biofertilizante a base de *Pseudomonas fluorescens*," vol. 19, no. 2, pp. 127–138, 2019.
- [10] J. Rodríguez, "Evaluación de la cinética de crecimiento de PGPR y su actividad antagonista hacia *Meloidogyne incognita* 'in vitro,'" pp. 43–44, 2018.
- [11] S. M. Mazzoni-Putman, J. Brumos, C. Zhao, J. M. Alonso, and A. N. Stepanova, "Auxin interactions with other hormones in plant development," *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.*, vol. 13, no. 10, pp. 1–39, 2021.
- [12] V. Calatrava, E. F. Y. Hom, Q. Guan, A. Llamas, E. Fernández, and A. Galván, "Genetic evidence for algal auxin production in *Chlamydomonas* and its role in algal-bacterial mutualism," *iScience*, vol. 27, no. 1, 2024.
- [13] Chavéz-Cruz; and Herrera-Freire, "Nic 41 y su incidencia en el precio por caja de banano ecuatoriano, período 2019-2020," *Pap. Knowl. . Towar. a Media Hist. Doc.*, vol. 3, no. 2, p. 6, 2021.
- [14] S. Shaikh, N. Yadav, and A. R. Markande, "Interactive potential of pseudomonas species with plants," *J. Appl. Biol. Biotechnol.*, vol. 8, no. 6, pp. 101–111, 2020.
- [15] S. Pattnaik, B. Mohapatra, and A. Gupta, "Plant Growth-Promoting Microbe Mediated Uptake of Essential Nutrients (Fe, P, K) for Crop Stress Management: Microbe–Soil–Plant Continuum," *Front. Agron.*, vol. 3, no. August, pp. 1–20, 2021.

LOS AUTORES



Jorge Abel Crespo Ávila Profesional agrícola con maestría en Agroecología y Desarrollo Sostenible, Con una sólida formación técnica y un enfoque en la producción orgánica, se dedica a la importación y distribución de insumos diseñados para el manejo responsable de cultivos. Su experiencia combina conocimientos en agroecología con estrategias de sostenibilidad.



Cecibel Carolina Carranza Cárdenas es una profesional ecuatoriana con una maestría en agroecología y desarrollo sostenible. Con una sólida formación en el sector agrícola, se ha comprometido con la mejora de la productividad de manera sostenible. Su carrera se caracteriza por su impulso a la innovación en el sector agrícola. Trabaja en una asociación de pequeños productores de cacao.



Manuel B. Suquilanda Valdivieso, Ingeniero Agrónomo, Magister Scientiae. Investigador, agrarista y académico Es uno de los precursores de la Agroecología en el Ecuador, siendo autor de 47 libros, sobre el tema. Por su labor a favor del ambiente y la búsqueda de alternativas tecnológicas al uso de agroquímicos en la agricultura, ha recibido el reconocimiento nacional e internacional.



Ketty Vanessa Arellano Ibarra, Estudiante de un Masterado en Agronomía con mención en Producción Agrícola Sostenible. Es una profesional con experiencia en el sector agrícola y de investigación. Consultora del CIAT en Ecuador para el proyecto Clima-Locha, que impulsa innovaciones de producción baja en cadmio y resilientes al clima en la cadena de cacao en Colombia, Ecuador y Perú.



Luis Fernando Vera Benites Ingeniero Agrónomo, profesional independiente, relacionado al campo de la agronomía durante 4 años. He colaborado en trabajos de investigación y proyectos nacionales en la rama de la microbiología, fisiología y edafología. Actualmente, presto servicios profesionales a la Estacion Experimental Tropical Pichilingue del INIAP (Ecuador).