Universidad Técnica de Manabí
Fundada en 1952

La Técnica
Revista de las Agrociencias

Ciencias de la vida

Dinámica estacional y eficiencia de sistemas de captura para el aislamiento de microorganismos autóctonos del suelo tropical en El Carmen, Ecuador

Seasonal dynamics and efficiency of capture systems for the isolation of native soil microorganisms in tropical conditions in El Carmen, Ecuador

Autores

[1]*Leonardo Avellán-Vásquez
leonardo.avellan@uleam.edu.ec

[2]Cesar Cruz-Rey
c.crey@hotmail.com

[2]María Chango-Quishpe
junior120112011@gmail.com

[1]Tamara Pinargote-Muñoz
tamara.pinargote@uleam.edu.ec

[1]Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, extensión El Carmen, Manabí, Ecuador.
[2]Investigadores independientes. https://ror.org/01m8gvd94

*Autor de correspondencia.

Citación sugerida: Avellán-Vásquez, L., Cruz-Rey, C., Chango-Quishpe, M. y Pinargote-Muñoz, M. (2026). Dinámica estacional y eficiencia de sistemas de captura para el aislamiento de microorganismos autóctonos del suelo tropical en El Carmen, Ecuador *La Técnica, 16*(1), 48-55. DOI: https://doi.org/10.33936/latecnica.v16i1.8427

Recibido: Mayo 12, 2026
Aceptado: Junio 22, 2026
Publicado: Junio 30, 2026

Resumen

El estudio tuvo como objetivo evaluar la dinámica estacional y la eficiencia de distintos sistemas de captura para el aislamiento de microorganismos autóctonos funcionales en suelo tropical de El Carmen, Ecuador. Se implementó un diseño factorial que integró tipo de trampa, tipo de sustrato, localidad y época (seca y lluviosa), y se cuantificaron microorganismos solubilizadores de fósforo, fijadores de nitrógeno, actinomicetos y microorganismos celulolíticos. Los resultados evidenciaron que la eficiencia de captura fue significativamente influenciada por la interacción entre factores experimentales. En microorganismos solubilizadores de fósforo, la combinación canecas–sustrato líquido alcanzó el mayor valor (2,57 × 103 UFC g^{-1}), mientras que en época seca el patrón de desempeño varió según la matriz empleada. Para actinomicetos, la trampa tipo tarrina presentó consistentemente los mayores recuentos, alcanzando hasta 3,0 × 10^8 UFC g^{-1}, lo que indicó mayor estabilidad microambiental del sistema. En microorganismos celulolíticos, aunque el sustrato líquido mostró promedios superiores, no se detectaron diferencias estadísticas entre la mayoría de los tratamientos. Asimismo, la época lluviosa registró un promedio general mayor (2,31 × 10^6 UFC g^{-1}) en comparación con la época seca (1,69 × 10^6 UFC g^{-1}), confirmando el efecto determinante de la disponibilidad hídrica en la actividad microbiana. Se concluye que la arquitectura del sistema de captura, su interacción con el sustrato y la estacionalidad constituyen factores clave para optimizar el aislamiento de microorganismos funcionales en suelos tropicales, aportando fundamentos metodológicos para programas de bioprospección y desarrollo de bioinsumos agrícolas.

Palabras clave: microbiología, aislamiento, bacterias funcionales, dinámica, suelos.

Abstract

The aim of this study was to evaluate seasonal dynamics and the efficiency of different capture systems for the isolation of functional native microorganisms in tropical soil from El Carmen, Ecuador. A factorial design was implemented, integrating trap type, substrate type, locality, and season (dry and rainy). Phosphate-solubilizing microorganisms, nitrogen-fixing bacteria, actinomycetes, and cellulolytic microorganisms were quantified. The results showed that capture efficiency was significantly influenced by the interaction among experimental factors. For phosphate-solubilizing microorganisms, the "caneca–liquid substrate" combination reached the highest value (2.57 × 10^3 CFU g^{-1}), whereas during the dry season the performance pattern varied according to the matrix used. Regarding actinomycetes, the tarrina-type trap consistently presented the highest counts, reaching up to 3.0 × 10^8 CFU g-1, indicating greater microenvironmental stability of the system. For cellulolytic microorganisms, although the liquid substrate showed higher average values, no robust statistical differences were detected among most treatments. Furthermore, the rainy season recorded a higher overall mean (2.31 × 10^6 CFU g^{-1}) compared to the dry season (1.69 × 10^6 CFU g^{-1}), confirming the determining role of water availability in microbial activity. It is concluded that capture system architecture, its interaction with substrate type, and seasonality are key factors for optimizing the isolation of functional microorganisms in tropical soils, providing methodological foundations for microbial bioprospecting and the development of agricultural bioinputs.

Keywords: microbiology, isolation, functional bacteria, dynamics, soils.

LA TÉCNICA
Revista de las Agrociencias

e-ISSN 2477-8982

Introducción

La agricultura moderna enfrenta el desafío de optimizar la producción sostenible para garantizar la seguridad alimentaria global en escenarios de cambio climático. Las alteraciones en los regímenes de precipitación, el incremento de eventos extremos como sequías e inundaciones, así como el aumento sostenido de la temperatura, han intensificado el estrés ambiental sobre los cultivos y los suelos agrícolas (Alarcón et al., 2020). A esta problemática se suma el uso intensivo de agroquímicos para maximizar rendimientos, práctica que ha generado impactos negativos sobre la estructura, fertilidad y biodiversidad del suelo, comprometiendo su capacidad funcional a largo plazo. En este contexto, se ha vuelto imperativo desarrollar estrategias innovadoras que permitan mantener la productividad agrícola sin profundizar la degradación de los recursos naturales (De Souza et al., 2020).

El suelo constituye un sistema biológico complejo en el que los microorganismos desempeñan un papel determinante en los procesos de descomposición y reciclaje de nutrientes. Bacterias, hongos y actinomicetos transforman compuestos orgánicos complejos en formas minerales disponibles para las plantas, regulando los ciclos biogeoquímicos esenciales y sosteniendo la productividad primaria (Trivedi et al., 2021; Khmelevtsova et al., 2022). La respiración microbiana, la mineralización de nutrientes y la formación de bioestructuras edáficas configuran procesos clave para la estabilidad ecológica y la resiliencia de los agroecosistemas (Adeleke y Babalola, 2021). En consecuencia, la dinámica del microbioma edáfico es reconocida como un componente estructural de la salud del suelo y del funcionamiento de los ecosistemas terrestres.

Por otro lado, las actividades antrópicas como la deforestación asociada a la expansión agrícola, la minería y el cambio en el uso del suelo han generado alteraciones profundas en la estructura y funcionalidad de los ecosistemas (Saad et al., 2020; Iquebal et al., 2022). Estas transformaciones han favorecido la pérdida de biodiversidad microbiana y han debilitado los mecanismos naturales de reciclaje de nutrientes, incrementando la vulnerabilidad de los suelos frente a procesos de degradación (Batista y Singh, 2021). Bajo estas condiciones cambiantes, el establecimiento de comunidades microbianas estables y funcionales se ha vuelto más complejo, lo que repercute directamente en la productividad vegetal y en la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Martins et al., 2023).

El estudio del microbioma vegetal ha permitido evidenciar la diversidad estructural y funcional de las comunidades microbianas asociadas a la filosfera, rizosfera y endosfera. Estas comunidades influyen en la nutrición vegetal, la regulación hormonal, la respuesta inmunitaria y la tolerancia al estrés abiótico (Ke et al., 2021). La composición del microbioma está determinada por múltiples factores, entre ellos la especie hospedadora, el entorno edáfico, las prácticas de manejo y las presiones ambientales (De Corato, 2020).

Aun ante estos avances, existe una limitada información respecto a la eficiencia comparativa de diferentes sistemas de captura para el aislamiento de microorganismos autóctonos en condiciones tropicales, particularmente en ecosistemas ecuatorianos. Asimismo, no se ha estudiado en profundidad la interacción entre el tipo de trampa, el tipo de sustrato, la localidad y la estacionalidad como factores determinantes en la dinámica de colonización microbiana y en la recuperación de grupos funcionales específicos, lo que limita el desarrollo de estrategias metodológicas optimizadas para la bioprospección microbiana en sistemas agrícolas tropicales.

En este contexto, el objetivo del estudio fue evaluar la dinámica estacional y la eficiencia de distintos sistemas de captura para el aislamiento de microorganismos autóctonos funcionales en suelos tropicales del cantón El Carmen, Ecuador y se planteó como hipótesis que la eficiencia de captura microbiana está influenciada por la interacción entre el tipo de trampa, el tipo de sustrato, la localidad y la estacionalidad.

Materiales y métodos

Tipo de diseño

Se empleó un diseño experimental cuatrifactorial (3 × 2 × 2 × 2) bajo un arreglo completamente aleatorizado, con el propósito de evaluar los efectos individuales y combinados de los factores experimentales sobre la abundancia de grupos funcionales microbianos.

Los factores evaluados fueron:

Factor A: Tipo de trampa (tres niveles).

Factor B: Tipo de sustrato (sólido y semilíquido).

Factor C: Época climática (seca y lluviosa).

Factor D: Localidad (Pupusá y Granja ULEAM).

El experimento comprendió 24 combinaciones de tratamientos, con tres repeticiones por tratamiento, lo que generó un total de 72 unidades experimentales. Cada unidad experimental correspondió al conjunto compuesto de trampas instaladas bajo un mismo tratamiento dentro de cada repetición. La asignación de los tratamientos se realizó de manera aleatoria para minimizar sesgos sistemáticos asociados a variabilidad espacial.

CC BY NC ND

Con el fin de cumplir los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, las variables correspondientes a bacterias totales, actinomicetos, solubilizadores de fósforo y fijadores de nitrógeno fueron transformadas mediante $\log_{10}$ (x + 1), debido a la presencia de alta dispersión y coeficientes de variación elevados.

Los supuestos de normalidad y homocedasticidad fueron evaluados mediante las pruebas de Shapiro–Wilk y Levene, respectivamente. El número de repeticiones se estableció considerando la naturaleza exploratoria del estudio y las condiciones logísticas de instalación en campo, características propias de sistemas tropicales. Adicionalmente, se aplicaron transformaciones logarítmicas para reducir la variabilidad intrínseca y garantizar el cumplimiento de los supuestos del análisis estadístico.

Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) factorial considerando los efectos principales y las interacciones entre los cuatro factores experimentales. Se evaluaron interacciones de primer, segundo y tercer orden. Las comparaciones múltiples entre medias se realizaron mediante la prueba de Tukey (α= 0,05).

Todo el análisis estadístico se ejecutó en el entorno RStudio (2024), empleando los paquetes stats, agricolae, car y rstatix. El uso de este software permitió garantizar reproducibilidad, trazabilidad de los scripts y validación transparente de los resultados.

Procedimiento de campo

Selección y caracterización de los puntos de instalación

Previo a la instalación de las trampas, se realizó un muestreo exploratorio sistemático con el fin de identificar microambientes representativos dentro de cada predio experimental. La selección de los árboles se basó en criterios fitosanitarios y edáficos previamente definidos: (i) ausencia de síntomas visibles de estrés o enfermedad, (ii) cobertura foliar superior al 70%, (iii) acumulación homogénea de mantillo superficial y (iv) estructura del suelo con agregación granular estable y sin evidencias de compactación mecánica (Quiñónez et al., 2018).

Cada árbol seleccionado fue georreferenciado mediante sistema de posicionamiento global (GPS) con precisión submétrica y codificado según tratamiento experimental. La instalación de las trampas se efectuó en la zona correspondiente al perímetro externo de la proyección de la copa (línea de goteo), área caracterizada por elevada densidad de raíces finas y mayor actividad rizosférica, condición que favorece la interacción planta-microorganismo y la colonización microbiana (Campo et al., 2014).

Preparación del sustrato base

El arroz blanco pulido fue empleado como matriz carbonada debido a su alto contenido de almidón fácilmente hidrolizable, lo que facilitó la colonización inicial por comunidades microbianas heterotróficas (Alarcón et al., 2019). El arroz fue cocido en agua destilada, en una proporción aproximada de 1:2 (arroz:agua) durante 10-15 minutos hasta alcanzar una textura semiblanda, garantizando uniformidad estructural sin gelatinización excesiva. Posteriormente se enfrió hasta temperatura ambiente (25-28 °C) en condiciones higiénicas para evitar contaminación externa.

Para el tratamiento con sustrato sólido, se preparó una solución nutritiva compuesta por agua, melaza y harina de pescado, llevada a ebullición durante 10 minutos con el objetivo de reducir carga microbiana exógena y favorecer un ambiente selectivo controlado. Esta mezcla actuó como fuente adicional de carbono y nitrógeno orgánico. En el sustrato semilíquido, se incorporó salsa de soya como fuente nitrogenada soluble, favoreciendo la disponibilidad inmediata de aminoácidos y péptidos para la proliferación microbiana. Todos los sustratos fueron preparados el mismo día de instalación para evitar variaciones en la fermentación previa.

Instalación de las trampas en campo

La instalación se realizó bajo condiciones ambientales naturales, siguiendo un protocolo estandarizado para minimizar variabilidad experimental.

Preparación del sitio:

Se excavó manualmente un orificio de 15 ± 2 cm de profundidad y aproximadamente 20 cm de diámetro, procurando no alterar excesivamente la estructura del suelo circundante (Orduz-Tovar et al., 2020).

Colocación de la trampa:

Las trampas fueron posicionadas a 10 cm por debajo de la superficie edáfica, asegurando contacto directo con el suelo circundante. Posteriormente se cubrieron con el mismo suelo extraído y con mantillo original, con el fin de mantener condiciones microclimáticas similares a las naturales (humedad, temperatura y actividad biológica) (Crespo et al., 2025).

Codificación experimental:

Cada unidad experimental fue identificada mediante estacas numeradas resistentes a la intemperie y registro cartográfico, asegurando trazabilidad espacial.

Manejo en época lluviosa:

Para evitar saturación hídrica y condiciones anóxicas no controladas, se construyeron zanjas de drenaje perimetral de 5-8 cm de profundidad alrededor de cada punto de instalación.

Tiempo de exposición y colonización

El período de exposición fue establecido con base en la dinámica de colonización microbiana en suelos tropicales:

21 días para el protocolo con sustrato sólido

10-15 días para los protocolos semilíquidos

Estos intervalos permitieron alcanzar un equilibrio entre colonización efectiva y evitar sobrefermentación o degradación excesiva del sustrato.

p-ISSN 1390-6895/e-ISNN 2477-8982 | Vol. 16, Núm. 1 (48-55): Enero-Junio, 2026 | DOI: 10.33936/latecnica.v16i1.8427

LA TÉCNICA
Revista de las Agrociencias
e-ISSN 2477-8982

Durante el periodo de exposición no se realizaron intervenciones adicionales, manteniendo las condiciones naturales del ecosistema (Crespo Ávila et al., 2025).

Extracción, conservación y transporte

La extracción se realizó manualmente, evitando disturbios adicionales del suelo circundante. Las trampas fueron inmediatamente selladas en recipientes herméticos estériles para prevenir contaminación cruzada y exposición al oxígeno ambiental (Alarcón et al., 2019). Las muestras fueron colocadas en contenedores isotérmicos con acumuladores de frío (4-8 °C) y transportadas al laboratorio en un tiempo máximo de 4 horas posteriores a la extracción. El procesamiento microbiológico inició el mismo día de recolección para minimizar alteraciones en la viabilidad microbiana.

Resultados y discusión

Efectos combinados de factores experimentales sobre la abundancia de microorganismos eficientes autóctonos

El análisis cuatrifactorial (tipo de trampa × tipo de sustrato × localidad × época) evidenció un efecto significativo de la interacción entre factores (P<0,001), lo que indicó que la eficiencia de captura microbiana no dependió de manera aislada de cada componente experimental, sino de su combinación bajo condiciones edáficas y ambientales específicas.

Los tratamientos clasificados en la categoría estadística “a” presentaron los mayores recuentos, expresados como unidades formadoras de colonias por gramo (UFC g^{-1}). Destacó la combinación tarrinas–pupusá–sustrato líquido, con $6{,}65\times10^{6}$ UFC g^{-1}, seguida de tarrinas–pupusá–sustrato sólido, con $5{,}55\times10^{6}$ UFC g^{-1}, lo que sugiere que en la localidad Pupusá y las condiciones del suelo favorecieron la colonización microbiana con independencia relativa del tipo de sustrato. Esta respuesta pudo asociarse a mayor contenido de materia orgánica, mejor agregación estructural o mayor actividad biológica basal (tabla 1).

El tratamiento vasos–granja ULEAM–sustrato líquido registró el valor numéricamente más alto del experimento, con $8{,}20\times10^{6}$ UFC g^{-1}; sin embargo, su inclusión dentro del grupo estadístico “ab” indicó que la variabilidad experimental limitó su diferenciación respecto a otros tratamientos de alto desempeño.

En contraste, la combinación tarrinas–granja ULEAM–sustrato sólido presentó la menor eficiencia de captura, con $4{,}76\times10^{5}$ UFC g^{-1}, agrupándose en categorías estadísticas inferiores. Esta reducción pudo relacionarse con menor disponibilidad hídrica efectiva o con diferencias en la dinámica microbiana local durante la época seca (tabla 1).

Desde la perspectiva estacional, la época lluviosa mostró un promedio general superior ($2{,}31\times10^{6}$ UFC g^{-1}) en comparación con la época seca ($1{,}69\times10^{6}$ UFC g^{-1}), lo que confirmó que la disponibilidad de humedad constituyó un factor determinante en la actividad, proliferación y movilidad de los microorganismos autóctonos en suelos tropicales de El Carmen (tabla 1).

La mayor captura de microorganismos durante la época lluviosa confirmó el papel determinante de la humedad del suelo en la activación metabólica y movilidad microbiana en ecosistemas tropicales (Crespo et al., 2025). La disponibilidad hídrica incrementó la conectividad porosa del suelo y facilitó la difusión de sustratos solubles, favoreciendo procesos de colonización y crecimiento heterotrófico. Estudios recientes han demostrado que la estacionalidad climática modificó significativamente la estructura y abundancia del microbioma edáfico, particularmente en sistemas tropicales con marcada alternancia seca-lluviosa (Schmidt et al., 2019).

Tabla 1. Efecto combinado de tipo de trampa, localidad y sustrato sobre la captura de microorganismos eficientes autóctonos en dos épocas climáticas.

Trampa	Localidad	Sustrato	Lluviosa (UFC g^{-1})	Seca (UFC g^{-1})	Media ($\bar{X}$)	Tukey (α=0,05)
Tarrinas	Pupusá	Sólido	$5{,}9\times10^{6}$	$5{,}2\times10^{6}$	$5{,}55\times10^{6}$	a
Vasos	Pupusá	Líquido	$2{,}2\times10^{6}$	$2{,}4\times10^{6}$	$2{,}30\times10^{6}$	a
Tarrinas	Pupusá	Líquido	$5{,}6\times10^{6}$	$7{,}7\times10^{6}$	$6{,}65\times10^{6}$	a
Vasos	Pupusá	Sólido	$3{,}33\times10^{6}$	$6{,}9\times10^{5}$	$2{,}01\times10^{6}$	ab
Canecas	Granja ULEAM	Líquido	$3{,}2\times10^{6}$	$6{,}8\times10^{6}$	$5{,}0\times10^{6}$	ab
Canecas	Pupusá	Sólido	$6{,}3\times10^{6}$	$2{,}1\times10^{6}$	$4{,}2\times10^{6}$	ab
Vasos	Granja ULEAM	Líquido	$9{,}9\times10^{6}$	$6{,}5\times10^{6}$	$8{,}2\times10^{6}$	ab
Canecas	Pupusá	Líquido	$1{,}7\times10^{6}$	$1{,}4\times10^{6}$	$1{,}55\times10^{6}$	abcde
Tarrinas	Granja ULEAM	Líquido	$4{,}4\times10^{6}$	$4{,}0\times10^{6}$	$4{,}2\times10^{6}$	bcde
Tarrinas	Granja ULEAM	Sólido	$8{,}7\times10^{5}$	$8{,}2\times10^{4}$	$4{,}76\times10^{5}$	cde
Vasos	Granja ULEAM	Sólido	$5{,}2\times10^{6}$	$5{,}3\times10^{6}$	$5{,}25\times10^{6}$	de
Canecas	Granja ULEAM	Sólido	$5{,}5\times10^{6}$	$1{,}9\times10^{6}$	$2{,}85\times10^{6}$	e

La reducción observada en época seca puede atribuirse a estados de latencia microbiana inducidos por estrés hídrico, fenómeno ampliamente documentado en suelos tropicales donde la disponibilidad de agua regula la respiración y mineralización de nutrientes (Ray et al., 2020).

CC BY NC ND

Conteo de microorganismos celulolíticos

La dinámica de captura de microorganismos celulolíticos evidenció una variabilidad marcada entre las combinaciones experimentales evaluadas. El valor máximo se registró en el sistema de vasos durante la época lluviosa en la localidad Granja ULEAM bajo sustrato líquido, con $7{,}3\times10^{3}$ unidades formadoras de colonias por gramo (UFC g^{-1}; tabla 2). No obstante, el análisis de comparación múltiple mostró una amplia superposición entre tratamientos, sin conformación de grupos estadísticos claramente diferenciados en la mayoría de las combinaciones (P>0,05).

Tabla 2. Captura de microorganismos celulolíticos según tipo de trampa, época, localidad y sustrato.

Tipo de trampa	Época	Localidad	Sólido (UFC g^{-1})	Líquido (UFC g^{-1})	Media ($\bar{X}$)	Tukey (α=0,05)
Vasos	Seca	Pupusá	$1{,}7\times10^{3}$	$2{,}0\times10^{3}$	$1{,}85\times10^{3}$	a
Vasos	Seca	Granja ULEAM	$1{,}7\times10^{3}$	$5{,}0\times10^{2}$	$1{,}10\times10^{3}$	ab
Canecas	Seca	Pupusá	0	$3{,}3\times10^{3}$	$1{,}65\times10^{3}$	ab
Canecas	Lluviosa	Pupusá	$5{,}0\times10^{2}$	0	$2{,}5\times10^{2}$	abc
Vasos	Lluviosa	Granja ULEAM	0	$1{,}7\times10^{3}$	$8{,}5\times10^{2}$	abc
Vasos	Lluviosa	Granja ULEAM	0	$7{,}3\times10^{3}$	$3{,}65\times10^{3}$	abcd
Tarrinas	Lluviosa	Granja ULEAM	0	0	0	bcd
Canecas	Lluviosa	Granja ULEAM	0	0	0	bcd
Tarrinas	Seca	Granja ULEAM	0	0	0	e
Tarrinas	Seca	Pupusá	0	0	0	e
Tarrinas	Lluviosa	Pupusá	0	0	0	e
Canecas	Seca	Granja ULEAM	0	0	0	e

En términos globales, el sustrato líquido presentó un promedio superior de captura respecto al sustrato sólido, lo que sugiere que la mayor disponibilidad de compuestos solubles favoreció la actividad metabólica de los microorganismos con capacidad celulolítica. Sin embargo, varias combinaciones experimentales registraron valores bajos o incluso ausencia de crecimiento detectable (0 UFC g^{-1}), lo que indica que la presencia de este grupo funcional fue limitada y estuvo condicionada por factores microambientales específicos asociados a la estacionalidad y a la interacción entre sistema de captura y sustrato.

La mayor captura de microorganismos eficientes autóctonos durante la época lluviosa evidencia la fuerte dependencia del microbioma edáfico respecto a la disponibilidad hídrica en ecosistemas tropicales. La humedad del suelo regula la actividad metabólica microbiana al incrementar la conectividad del espacio poroso y la difusión de sustratos solubles, lo que favorece la colonización de matrices carbonadas experimentales. Aguilar-Paredes et al. (2023), demostraron que los pulsos de humedad activan procesos microbianos latentes y modifican la dinámica de comunidades edáficas a través de cambios en respiración y mineralización. En ambientes tropicales con marcada estacionalidad Sokol et al. (2022), reportaron variaciones significativas en estructura y abundancia bacteriana entre estaciones, asociadas principalmente a contenido de humedad y disponibilidad de carbono.

El mejor desempeño de los tratamientos con sustrato líquido sugiere que la disponibilidad inmediata de compuestos fácilmente metabolizables favoreció el crecimiento de microorganismos heterotróficos. La incorporación de fuentes solubles de carbono y nitrógeno ha sido identificada como un factor determinante en la estructuración funcional del microbioma del suelo (Trivedi et al., 2021). La mayor captura observada en determinadas combinaciones puede interpretarse como una respuesta funcional a la calidad del sustrato más que al tipo físico de trampa.

Conteo de microorganismos actinomicetos capturados

La captura de actinomicetos durante la época seca mostró una distribución marcadamente heterogénea entre las combinaciones experimentales evaluadas. Los valores más altos se registraron en la trampa tipo tarrina, tanto en sustrato sólido ($3{,}0\times10^{8}$ UFC g^{-1}) como en sustrato líquido ($2{,}39\times10^{8}$ UFC g^{-1}), conformando el grupo estadístico superior (P<0,05; tabla 3). En contraste, las canecas presentaron los recuentos más bajos en ambos sustratos ($2{,}75\times10^{7}$ y $3{,}0\times10^{7}$ UFC g^{-1}), mientras que los vasos exhibieron valores intermedios, con una disminución más pronunciada en sustrato líquido ($6{,}75\times10^{7}$ UFC g^{-1}).

Tabla 3. Efecto del tipo de trampa y tipo de sustrato sobre el conteo de actinomicetos capturados (UFC g^{-1}) durante la época seca en suelo tropical de El Carmen, Ecuador.

Tipo de trampa	Sólido (UFC g^{-1})	Líquido (UFC g^{-1})
Tarrina	$3{,}0\times10^{8}$ a	$2{,}39\times10^{8}$ a
Vasos	$2{,}55\times10^{8}$ b	$6{,}75\times10^{7}$ b
Canecas	$2{,}75\times10^{7}$ c	$3{,}0\times10^{7}$ c

Este comportamiento fue coherente con lo señalado por Maestre et al. (2015), quienes demostraron que la estructura microambiental influye de manera directa en la distribución y actividad de comunidades microbianas del suelo, especialmente en ecosistemas tropicales donde la variabilidad hídrica modula los procesos biogeoquímicos. En este contexto, la mayor eficiencia observada en el sistema tipo tarrina podría explicarse por una mayor estabilidad térmica y capacidad de retención de humedad, factores reconocidos como determinantes para la proliferación de actinobacterias edáficas (Placella et al., 2012) Brodie y Firestone, 2012.

La ausencia de diferencias estadísticas consistentes entre sustrato sólido y líquido dentro del sistema más eficiente indica que la matriz de captura no constituyó el factor limitante principal, sino que fue la generación de un microambiente favorable lo que permitió maximizar la colonización. Diversos estudios han señalado que los actinomicetos presentan elevada plasticidad fisiológica y capacidad para desarrollarse en distintas matrices siempre que exista disponibilidad de carbono utilizable y condiciones de aireación adecuadas (Maestre et al., 2015).

p-ISSN 1390-6895/e-ISNN 2477-8982 | Vol. 16, Núm. 1 (48-55): Enero-Junio, 2026 | DOI: 10.33936/latecnica.v16i1.8427

LA TÉCNICA
Revista de las Agrociencias
e-ISSN 2477-8982

Conteo de microorganismos solubilizadores

En sustrato sólido, las trampas tipo vasos (4,81 $\log_{10}$ UFC g^{-1}) y canecas (5,63 $\log_{10}$ UFC g^{-1}) presentaron los valores más altos, mientras que la tarrina registró un valor menor (4,89 $\log_{10}$ UFC g^{-1}). Este comportamiento indicó que, bajo matriz sólida, la eficiencia de captura fue superior en sistemas con mayor volumen interno o superficie efectiva de contacto (Tabla 4).

En contraste, en sustrato líquido, la tarrina alcanzó el mayor valor (5,63 $\log_{10}$ UFC g^{-1}), superando a vasos (1,35 $\log_{10}$ UFC g^{-1}) y canecas (3,13 $\log_{10}$ UFC g^{-1}). Esta respuesta evidenció que la eficiencia del sistema estuvo condicionada por el tipo de sustrato, lo que modificó el patrón de desempeño entre sistemas de captura bajo condiciones de época seca en suelos tropicales.

En ecosistemas tropicales, la disponibilidad de fósforo se encuentra frecuentemente limitada por procesos de fijación en complejos con hierro y aluminio, lo que restringe la fracción biodisponible para los microorganismos solubilizadores (Maestre et al., 2015). En este contexto, la limitada diferenciación estadística entre tratamientos podría explicarse por una homogeneización funcional de las comunidades microbianas frente al estrés hídrico, fenómeno descrito en estudios de suelos tropicales donde la sequía reduce la actividad enzimática asociada a la solubilización de fósforo (Trivedi et al., 2021).

Tabla 4. Interacción tipo de trampa × tipo de sustrato sobre microorganismos solubilizadores de fósforo ($\log_{10}$ UFC g^{-1}).

Tipo de sustrato	Tarrina ($\log_{10}$ UFC g^{-1})	Vasos ($\log_{10}$ UFC g^{-1})	Canecas ($\log_{10}$ UFC g^{-1})
Sólido	4,89 b	4,81 a	5,63 a
Líquido	5,63 a	1,35 b	3,13 b

La respuesta diferencial observada entre sistemas de captura puede estar asociada a variaciones en microambientes internos, particularmente en términos de oxigenación y estabilidad térmica, factores clave en la dinámica de comunidades microbianas edáficas (tabla 5).

Tabla 5. Interacción tipo de trampa × tipo de sustrato sobre microorganismos fijadores de nitrógeno capturados (UFC g^{-1}) en época lluviosa.

Tipo de trampa	Sólido (UFC g^{-1})	Líquido (UFC g^{-1})
Tarrina	$9{,}0\times10^{2}$ a	$5{,}5\times10^{2}$ b
Vasos	$2{,}25\times10^{2}$ c	$3{,}0\times10^{2}$ b
Canecas	$5{,}5\times10^{2}$ b	$2{,}57\times10^{3}$ a

La mayor recuperación observada en el tratamiento canecas–sustrato líquido sugiere que, bajo condiciones de alta humedad ambiental, la matriz líquida favoreció la activación metabólica y proliferación de microorganismos solubilizadores de fósforo. Este comportamiento es consistente con estudios que señalan que la disponibilidad hídrica incrementa la actividad biológica del suelo y favorece la disponibilidad de nutrientes mediante la difusión de compuestos solubles y la movilidad microbiana (Trivedi et al., 2021).

La respuesta diferencial observada entre sistemas de captura puede estar asociada a variaciones en microambientes internos, particularmente en términos de oxigenación y estabilidad térmica. Los microorganismos solubilizadores de fósforo pueden verse afectados por condiciones de oxigenación y disponibilidad de sustratos, factores que influyen en su actividad metabólica y capacidad de solubilización (Trivedi et al., 2021).

Conclusión

La eficiencia de captura microbiana estuvo significativamente determinada por la interacción entre tipo de trampa, tipo de sustrato y estacionalidad, evidenciándose que la arquitectura del sistema y la disponibilidad hídrica condicionaron el aislamiento de microorganismos funcionales en suelo tropical, con mayores rendimientos en combinaciones específicas y durante la época lluviosa.

La estacionalidad constituyó un factor determinante en la dinámica microbiana, registrándose mayor promedio general de captura en época lluviosa ($2{,}31\times10^{6}$ UFC g^{-1}) en comparación con la época seca ($1{,}69\times10^{6}$ UFC g^{-1}), lo que confirma la influencia crítica de la disponibilidad hídrica en la actividad y proliferación de microorganismos autóctonos del suelo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

Adeleke, B. S. and Babalola, O. O. (2021). The endosphere microbial communities, a great promise in agriculture. *International Microbiology*, *24*(1), 1-17. https://doi.org/10.1007/s10123-020-00140-2

Aguilar-Paredes, A., Valdés, G., Araneda, N., Valdebenito, E., Hansen, F. and Nuti, M. (2023). Microbial community in the composting process and its positive impact on the soil biota in sustainable agriculture. *Agronomy*, *13*(2), 542. https://doi.org/10.3390/agronomy13020542

Alarcón Camacho, J., Recharte Pineda, D. C., Yanqui Díaz, F., Moreno Llacza, S. M., Montes Yarasca, I. M., Buendía Molina, M. A. (2019). Elaboración de un biofertilizante a partir de microorganismos eficientes autóctonos en Perú.

CC BY NC ND

Anales Científicos, *80*(2), 515-522. DOI: http://dx.doi.org/10.21704/ac.v80i2.1484

Alarcón, J., Recharte, D. C., Yanqui, F., Moreno, S. M., Buendía, M. A. (2020). Fertilizar con microorganismos eficientes autóctonos tiene efecto positivo en la fenología, biomasa y producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 67-73. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2020.01.08

Batista, B. D. and Singh, B. K. (2021). Realities and hopes in the application of microbial tools in agriculture. *Microbial Biotechnology*, *14*(4), 1258-1268. https://doi.org/10.1111/1751-7915.13866

Campo Martínez, A. del P., Acosta Sánchez, R. L., Morales Velasco, S. y Prado, F. A. (2014). Evaluación de microorganismos de montaña (mm) en la producción de acelga en la meseta de Popayán. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *12*(1), 79-87. https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/322

Crespo Ávila, J. A., Suquilanda Valdivieso, M. B., Carranza Cárdenas, C. C., Arellano Ibarra, K. V. y Vera Benites, L. F. (2025). Caracterización morfológica y optimización de bio-insumo a base de microorganismos eficientes. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, *29*(126), 89-99. https://doi.org/10.47460/uct.v29i126.925

De Corato, U. (2020). Soil microbiota manipulation and its role in suppressing soil-borne plant pathogens in organic farming systems under the light of microbiome-assisted strategies. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *7*(1), 17. https://doi.org/10.1186/s40538-020-00183-7

De Souza, R. S. C., Armanhi, J. S. L. and Arruda, P. (2020). From microbiome to traits: designing synthetic microbial communities for improved crop resiliency. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1179. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01179

Iquebal, M. A., Jagannadham, J., Jaiswal, S., Prabha, R., Rai, A. and Kumar, D. (2022). Potential use of microbial community genomes in various dimensions of agriculture productivity and Its management: A review. *Front. Microbiol*. *13*:708335. doi:10.3389/fmicb.2022.708335

Ke, J., Wang, B. and Yoshikuni, Y. (2021). Microbiome engineering: synthetic biology of plant-associated microbiomes in sustainable agriculture. *Trends in Biotechnology*, *39*(3), 244-261.

Khmelevtsova, L. E., Sazykin, I. S., Azhogina, T. N. and Sazykina, M. A. (2022). Influence of agricultural practices on bacterial community of cultivated soils. *Agriculture*, *12*(3), 371. https://doi.org/10.3390/agriculture12030371

Maestre, F. T., Delgado-Baquerizo, M., Jeffries, T. C., Eldridge, D. J., Ochoa, V., Gozalo, B., Quero, J. L., García-Gómez, M., Gallardo, A., Ulrich, W., Bowker, M. A., Arredondo, T., Barraza-Zepeda, C., Bran, D., Florentino, A., Gaitán, J., Gutiérrez, J. R., Huber-Sannwald, E., Jankju, M., Mau, R. L., Miriti, M., Naseri, K., Ospina, A., Stavi, I., Wang, D., Woods, N. N., Yuan, X., Zaady, E. and Singh, B. K. (2015). Increasing aridity reduces soil microbial diversity and abundance in global drylands. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, *112*(51), 15684-15689, https://doi.org/10.1073/pnas.1516684112.

Martins, S. J., Pasche, J., Silva, H. A. O., Selten, G., Savastano, N., Abreu, L. M., Bais, H. P., Garrett, K. A., Kraisitudomsook, N., Pieterse, C. M. J. and Cernava, T. (2023). The use of synthetic microbial communities to improve plant health. *Phytopathology*, *113*(8), 1369-1379. https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-23-0016-IA

Orduz-Tovar, S. A., Machado-Cuellar, L., Rojas-Basto, L. C. y Amaya-Ucue, E. D. (2020). Dinámica biogeoquímica por microrganismos edáficos en sistemas agroforestales de cacao: Revisión de literaria científica. *Revista Sennova: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*, *5*(1), 53-72. https://doi.org/10.23850/23899573.2496

Placella, S. A., Brodie, E. L. and Firestone, M. K. (2012). Rainfall-induced carbon dioxide pulses result from sequential resuscitation of phylogenetically clustered microbial groups. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *109*(27), 10931-10936. https://doi.org/10.1073/pnas. 1204306109

Quiñónez Martínez, M., Enríquez Anchondo, I. D., Flores Margez, J. P., Palacios Ramírez, K. Y., Olivas Sánchez, M. P., Garza Ocañas, F., Lebgue Keleng, T. y Nájera Medellin, J. A. (2018). Comunidades vegetales en suelo de ecosistema semiárido y su relación con hongos micorrízicos. *Terra Latinoamericana*, *36*, 381-391. DOI: https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.401

Ray, P., Lakshmanan, V., Labbé, J. L. and Craven, K. D. (2020) Microbe to microbiome: A paradigm shift in the application of microorganisms for sustainable agriculture. *Front. Microbiol. 11*, 622926. doi: 10.3389/fmicb.2020.622926

Saad, M. M., Eida, A. A. and Hirt, H. (2020). Tailoring plant-associated microbial inoculants in agriculture: a roadmap for successful application. *Journal of Experimental Botany*, (13), 3878-3901. https://doi.org/10.1093/jxb/eraa11171

Schmidt, J. E., Kent, A. D., Brisson, V. L. and Gaudin, A. C. M. (2019). Agricultural management and plant selection interactively affect rhizosphere microbial community structure and nitrogen cycling. *Microbiome*, *7*, 146. https://doi.org/10.1186/s40168-019-0756-9

LA TÉCNICA
Revista de las Agrociencias

e-ISSN 2477-8982

Sokol, N. W., Slessarev, E., Marschmann, G. L., Nicolas, A., Blazewicz, S. J., Brodie, E. L., Firestone, M. K., Foley, M. M., Hestrin, R., Hungate, B. A., Koch, B. J., Stone, B. W., Sullivan, M. B., Zablocki, O., LLNL Soil Microbiome Consortium, and Pett-Ridge, J. (2022). Life and death in the soil microbiome: how ecological processes influence biogeochemistry. *Nature Reviews. Microbiology*, *20*(7), 415-430. https://doi.org/10.1038/s41579-022-00695-z

Trivedi, P., Mattupalli, C., Eversole, K. and Leach, J.E. (2021), Enabling sustainable agriculture through understanding and enhancement of microbiomes. *New Phytol*, *230*: 2129-2147. https://doi.org/10.1111/nph.17319

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial

Durante la preparación de este trabajo, los autores utilizaron herramientas de inteligencia artificial como apoyo para la orientación metodológica en el uso del software R y para mejorar la gramática y ortografía del manuscrito. El análisis estadístico, la interpretación de los resultados y la redacción científica final fueron realizados íntegramente por los autores. Después de utilizar estas herramientas, los autores revisaron y editaron cuidadosamente el contenido y asumen la plena responsabilidad de la publicación.

Declaración de contribución a la autoría según CRediT

Leonardo Avellán-Vásquez: metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Cesar Cruz-Rey:** investigación, metodología, recursos. **María Chango-Quishpe:** investigación, metodología, recursos. **Tamara Pinargote-Muñoz:** redacción, revisión y edición del artículo.

CC BY NC ND