Fecha de recibido: 23-10-2023
Fecha de aceptado:17/05/2024
DOI: 10.22490/21456453.7268

POTENCIAL NUTRICIONAL DE UN BIOFERTILIZANTE A BASE DE EQUINAZA EN EL CRECIMIENTO DE DOS SOLANÁCEAS AGROALIMENTARIAS

EVALUATION OF AN ECHINACEA-BASED BIOFERTILIZER ON THE GROWTH OF TWO AGRI-FOOD SOLANACEOUS PLANTS

Álvaro Isaac Díaz Alvarado [1]
Martha Liliana Pinzón Herrera [2]
Camilo Andrés Cárdenas Burgos [3]

[1] Agrónomo. Subdirección Científica–Sanidad Vegetal, Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, Colombia.
adiaz@jbb.gov.co

[2] Bióloga y Microbióloga, magíster en Gerencia Ambiental. Subdirección Científica–Sanidad Vegetal, Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, Colombia.
mpinzon@jbb.gov.co

[3] Biólogo, magíster en Ciencias Biológicas. Subdirección Científica–Propagación in vitro, Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, Colombia. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente-ECAPMA. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
cacardenas@jbb.gov.co

Citación: Díaz-Alvarado, A., Pinzón-Herrera, M., y Cárdenas-Burgos, C. (2025). Potencial nutricional de un biofertilizante a base de equinaza en el crecimiento de dos solanáceas agroalimentarias. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, *16*(1), 33 - 57.
https://doi.org/10.22490/21456453.7268

RESUMEN

Contextualización: las prácticas agroecológicas de manejo como la biofertilización son herramientas viables para mejorar la productividad de los cultivos de pequeños y medianos productores de especies vegetales alimenticias. Estas prácticas aumentan la disponibilidad de nutrientes para las plantas, haciendo uso de recursos propios de la naturaleza como los desechos orgánicos de origen animal y vegetal, así como minerales y microorganismos que solos o combinados, en formas líquidas o sólidas, ayudan a mejorar el suelo y la nutrición vegetal.

Vacío de conocimiento: ante el efecto negativo de las prácticas intensivas de fertilización inorgánica, surge la necesidad de implementar estrategias agroecológicas de biofertilización dirigidas a una producción de alimentos más eficiente. Esto en el marco de sistemas ajustados a requerimientos de calidad, inocuidad y sostenibilidad ambiental, con los que se logre una mayor aceptación para su comercialización y consumo.

Propósito: el principal objetivo de este estudio fue evaluar el potencial del caldo microbiano orgánico-mineralizado y los efectos de su aplicación sobre el crecimiento y desarrollo de *Capsicum pubescens* Ruiz y Pav., y *Solanum muricatum* Aiton, especies altoandinas promisorias de Bogotá D.C.

Metodología: se elaboró y caracterizó química y microbiológicamente un caldo microbiano obtenido de una fermentación aeróbica en soporte orgánico mineral con equinaza (CMOON). El caldo se aplicó a plántulas de *C. pubescens* y *S. muricatum* de forma edáfica (*drench*) en concentración del 10% a los 21, 42, 63, 85 y 106 días del trasplante. Se evaluaron 4 tratamientos y 30 réplicas. Las variables evaluadas fueron altura de la planta, número de hojas, diámetro del tallo e incidencia de afectaciones foliares. El experimento se analizó a través de un diseño en bloques completamente aleatorizado, en el que el factor de bloqueo correspondió a los días en los que se realizó la aplicación y seguimiento de los tratamientos; y la validación de los supuestos del modelo se realizó para cada una de las variables de respuesta.

Resultados y conclusiones: se encontró que el biofertilizante a base de equinaza contiene una gran variedad de nutrientes, macro y microelementos en concentraciones altas con respecto a los valores críticos propuestos por el IGAC, así como microorganismos benéficos como *Geotrichum* sp., que determinan al CMOON con alta efectividad en el equilibrio de la nutrición de las plantas. En el efecto sobre el crecimiento, desarrollo y sanidad de las plantas, el biofertilizante mostró ser el segundo mejor tratamiento después del testigo químico. Para una mayor efectividad, los caldos microbianos orgánicos -mineralizados conviene aplicarlos periódicamente para asegurar la multiplicación y activación de los microorganismos

introducidos y promover la actividad microbiana nativa. El AC indica que la aplicación del biofertilizante favorece el crecimiento y desarrollo vegetal en C. *pubescens,* pero no en *S. muricatum.*

Palabras clave: biofertilización, caldos microbianos, fermentación, fitoprotección, microorganismos, nutrición vegetal

ABSTRACT

Contextualization: Agroecological cultivation practices such as biofertilization are a viable tool for improving the productivity of small and medium-sized producers of food crops. These practices increase the availability of nutrients for plants, making use of nature's own resources such as organic wastes of animal and vegetable origin, as well as minerals and microorganisms that alone or combined, in liquid or solid forms, help to improve soil and plant nutrition.

Knowledge gap: in view of the negative effect of intensive inorganic fertilization practices, there is a need to implement agroecological biofertilization strategies aimed at more efficient food production, within the framework of production systems that meet quality, safety, and environmental sustainability requirements, to achieve greater acceptance for marketing and consumption.

Purpose: the main objective of the study was to evaluate an organic-mineralized microbial broth and the effects of its application on the growth and development of Capsicum pubescens Ruiz & Pav. and Solanum muricatum Aiton, promising high Andean species in Bogotá D.C.

Methodology: a microbial broth obtained from an-aerobic fermentation in an organic mineral support was elaborated and characterized chemically and microbiologically. The broth was applied to C. pubescens and S. muricatum seedlings in edaphic form (drench) at a 10% concentration 21, 42, 63, 85 and 106 days after transplanting. Four treatments and 30 replicates were evaluated. The variables evaluated were plant height, number of leaves, stem diameter and incidence of leaf damage. The experiment was analyzed using a completely randomized block design, in which the blocking factor corresponded to the days on which the treatments were applied and monitored; and the assumptions of the model were validated for each of the response variables.

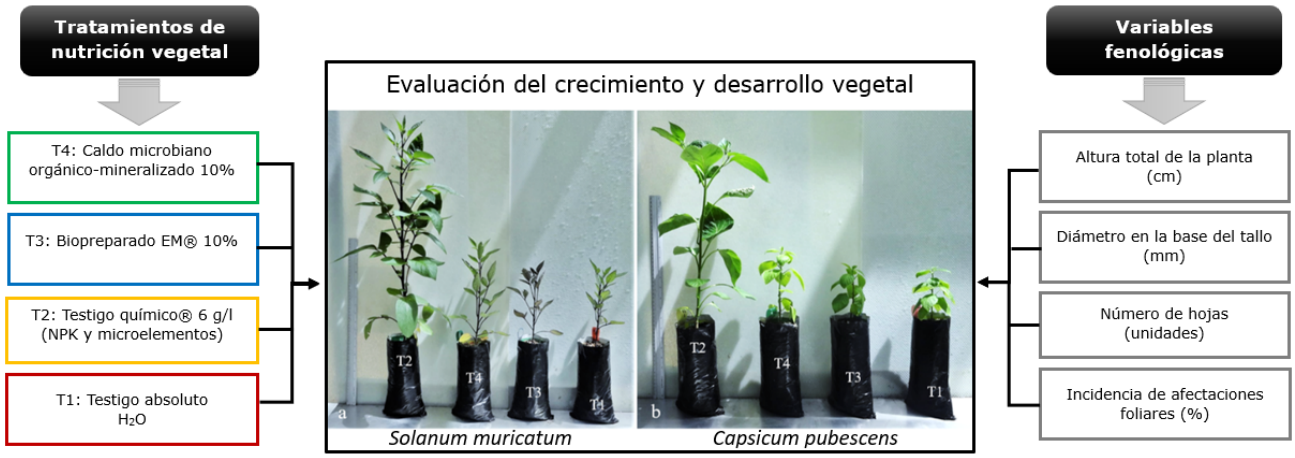
Results and conclusions: Regarding the chemical and microbiological composition of the biofertilizer based on echinacea, it was found that it contains a great variety of nutrients, macro, and microelements, as well as microorganisms essential for the balance in plant nutrition. In the effect on plant growth, development, and health, the biofertilizer proved to be the second-best treatment after the chemical control. For greater effec-

tiveness, the organic-mineralized microbial broths should be applied periodically to ensure the multiplication and activation of the introduced microorganisms and to promote native microbial activity.

Keywords: biofermentation, microbial broths, microorganisms, plant nutrition, phytoprotection

RESUMEN GRÁFICO

La aplicación del caldo microbiano orgánico-mineralizado mostró ser una alternativa agroecológica complementaria en la nutrición vegetal, ideal para disminuir la contaminación de agroecosistemas y el uso de fertilizantes de síntesis química.



Fuente: autores.

1 INTRODUCCIÓN

Se prevé que para el año 2030 las condiciones naturales serán menos propicias para la producción de la mayoría de los cultivos agrícolas, esto mediado por el cambio climático y agudizado por el uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados que aumentarían un 50% las emisiones de óxido nitroso (N_2O) a nivel mundial (González-Estrada y Camacho, 2017). Así, en la dinámica de oferta y demanda de especies vegetales agroalimentarias, influenciadas por el crecimiento demográfico, se proyecta un aumento de 56% para el 2050 (Van Dijk *et al.*, 2021), incrementando el uso de fertilizantes de sín-

tesis química para dar alcance a los requerimientos de producción de cultivos y de sus derivados para la alimentación (Seenivasagan y Babalola, 2021).

En esta línea, la agricultura convencional ha transformado el uso de recursos naturales como el suelo, en una formula universal enfocada en la fertilización inorgánica como única fuente para la nutrición vegetal, dejando de lado aspectos fundamentales como la interacción entre los microbiomas nativos y la agricultura sostenible (Singh *et al*., 2020; Cruz-Cárdenas *et al*., 2021). De acuerdo con Pradel y Aissani (2019) el uso generalizado de fertilizantes inorgánicos ha generado graves impactos negativos como la degradación del suelo, eutrofización, contaminación de aguas superficiales y subterráneas y del aire, además de desequilibrios biológicos a nivel de la fauna y flora que inducen a la reducción de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos.

Por lo anterior, es urgente reorganizar el sistema agroquímico de manejo y promover la agroecología como alternativa para aprovechar de mejor manera los recursos de la agrobiodiversidad, a fin de hacer más eficiente la producción de alimentos en torno al resguardo de la salud humana y la conservación de los ecosistemas.

Según Jacoby *et al.* (2017) la elaboración, evaluación y uso de caldos microbianos como biofertilizantes en la producción vegetal, además de mejorar la forma en cómo se nutren las especies agroalimentarias, son una estrategia de fitoprotección sostenible, ya que los materiales orgánicos y microorganismos benéficos pueden remediar las dinámicas microbianas del suelo afectadas por el continuo uso de agroquímicos (Areeshi, 2022). Adicionalmente, los biopreparados obtenidos de la fermentación aeróbica o anaeróbica con microorganismos benéficos, minerales de polvos de roca y otros compuestos orgánicos, son insumos respetuosos con el ambiente y bastante empleados en sistemas de producción orgánica y agroecológica (Trivedi *et al*., 2020).

Dentro de los residuos orgánicos sólidos aprovechables, la equinaza tiene potencial para usarse en la elaboración de biopreparados líquidos fermentados, ya que, así como el estiércol vacuno, es rica en celulosa, nitrógeno y tiene la capacidad de eliminar bacterias fitopatógenas, evitar el crecimiento de arvenses y mejorar la estructura del suelo cultivable (Téllez *et al*., 2019). Además, puede utilizarse como fuente de nutrientes para cultivos agroalimentarios, aumentando su ciclo y reduciendo los costos relacionados con la adquisición de fertilizantes industriales (Loss *et al*., 2019).

Dentro de los cultivos agroalimentarios, Solanaceae es una de las familias botánicas más grandes y extensas del mundo (Hernández *et al*., 2019), abarcando muchas especies básicas de la dieta humana (Murillo-Pérez y Rodríguez, 2021; Añibarro-Ortega *et al*., 2022); dentro de ellas, el ají *Capsicum pubescens* Ruiz y Pav. y el pepino dulce *Solanum muricatum* Aiton. Estas se caracterizan por su bajo contenido calórico y altos niveles de vitamina C y potasio, entre otros compuestos de importancia nutraceútica y medicinal (Botrel *et al*., 2020). Además, se usan como remedios naturales valiosos para la preven-

ción y tratamiento de enfermedades y problemas de salud (Duranova *et al*., 2022).

De acuerdo con Fischer *et al.* (2021), las condiciones climáticas de la región altoandina en países como Chile, Perú, Ecuador y Colombia son favorables para su cultivo y producción anual; sin embargo, también fomentan el desarrollo de limitantes fitosanitarias como plagas, enfermedades y deficiencias nutricionales que afectan su crecimiento y desarrollo (CyD), obligando al uso intensivo de agroquímicos para la fitoprotección durante su cultivo (Qi *et al*., 2021).

Por lo anterior, para contribuir con el mejoramiento de la capacidad productiva del suelo y reducir el impacto negativo sobre el ambiente, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar un biopreparado microbiano orgánico-mineralizado de elaboración artesanal y los efectos sobre el crecimiento y desarrollo de dos solanáceas de interés agroalimentario; esto como una aproximación a la implementación de prácticas agroecológicas que reduzcan y complementen, en lo posible, el uso de fertilizantes e insumos de síntesis química en la producción agrícola.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y material vegetal

El experimento se desarrolló bajo condiciones controladas (20 °C y HR 58%) en el Banco Plantular de la Subdirección Científica, ubicado en el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis (JBBJCM), con coordenadas 4°39'57.9"N 74°05'58.8"W y 2550 m de altitud. La obtención de las plantas de *C. pubescens* (Cp) y *S. muricatum* (Sm) se realizó por propagación tradicional, mediante la siembra de semillas extraídas de frutos maduros de plantas madre establecidas en el Jardín Agroecológico (4°40'03.0"N 74°06'03.6"W) del JBBJCM. Cuando las plantas desarrollaron entre cuatro y ocho hojas verdaderas, se trasplantaron a bolsas plásticas de 1 kg que contenían una mezcla de tierra negra y cascarilla de arroz en relación 4:1, donde permanecieron por un periodo de 20 días para su adaptación; las plantas se regaron tres veces por semana.

Preparación del bioinsumo

El Caldo Microbiano Orgánico Mineralizado (CMOM) se elaboró en el JBBJCM a partir de un proceso de fermentación aeróbica en soporte orgánico mineral y microbiano, utilizando como biodigestor la adaptación de un contenedor plástico con capacidad de 500 litros. Se emplearon insumos locales entre estos equinaza como fuente de materia orgánica (MO), así como la adición continua y programada de glucosa en forma de melaza, microorganismos lácticos y diferentes sales minerales (Anexo 1).

El proceso de fermentación del biopreparado estuvo determinado por la temperatura

ambiental de Bogotá D.C. Antes de su aplicación, el CMOM se analizó química, biológica y microbiológicamente, para este último la identificación de fitopatógenos bacterianos la realizó el Laboratorio Nacional de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) , mientras que la caracterización de hongos microscópicos se llevó a cabo en el laboratorio de microbiología del JBBJCM mediante la técnica de diluciones seriadas y siembra directa en Agar Papa Dextrosa (PDA), Agar Extracto de Malta (EM), Agar Dextrosa Sabouraud (SDA) y Base de Agar Glucosa Oxitetraciclina (OGYE).

Montaje del experimento

Se definieron cuatro tratamientos compuestos por agua, fertilizante químico, caldo microbiano comercial y CMOM, cuyas composiciones se detallan en la Tabla 1.

Tabla1.

Tratamientos evaluados durante el Crecimiento y Desarrollo (CyD) de *C. pubescens* y *S. muricatum*

Tratamiento	Composición
T1	Control: Agua
T2	Químico®: NPK 15-15-15 y microelementos FORZA®, 6g/l de agua (equivalente a una aplicación de 1.000 $kg.ha^{-1}$)
T3	Caldo microbiano EM® al 10% (100 ml/900 ml de agua)
T4	Caldo Microbiano Orgánico Mineralizado-CMOM al 10% (100ml/900 ml de agua)

Fuente: autores.

Se aplicaron 200 ml de cada tratamiento a las especies vegetales, utilizando diez plantas de cada especie (unidad experimental, UE) con tres repeticiones. El seguimiento se llevó a cabo a los 21, 42, 63, 85 y 106 días después del trasplante, registrando altura total de la planta (cm), diámetro en la base del tallo (mm), n**úmero de hojas totales por planta** (unidades foliares) e incidencia de alteraciones foliares (presencia - ausencia); al tiempo que se realizó el seguimiento se efectuó la aplicación edáfica (*drench*) de los tratamientos. Por la similitud en los patrones de afectación en Cp y Sm, la incidencia de las alteraciones se caracterizó a partir de la evaluación de tres síntomas foliares: amarillamiento, necrosis y entorchamiento. Con base en esas afectaciones, se realizó la medición del porcentaje (%) de incidencia cumplidos los 106 días de evaluación utilizando la Ecuación 1:

$$\% \text{ Incidencia} = \frac{\textit{Número de plantas con afectaciones}}{\textit{Número total de plantas en la muestra}} X\ 100$$

(Ecuación 1)

Análisis estadístico

El experimento se analizó a través de un diseño en bloques completamente aleatorizado, en el que el factor de bloqueo se consideró los días en los cuales se realizó la aplicación y el seguimiento a los tratamientos; para ello, se utilizó el software gratuito R versión 4.2.1 (The R Foundation for Statistical Computing, 2022). Con los datos que no se ajustaron a una distribución normal (supuesto de normalidad, test Kolmogórov-Smirnov $p \leq 0{,}05$) o sus varianzas no eran constantes (supuesto de homocedasticidad, Test de Levene), se utilizó la trasformación de campos grandes de variación a través del $X' = \log(x)$. Se realizó un Análisis de Varianza ANOVA de dos factores, en donde se compararon los tratamientos aplicados y las observaciones registradas que corresponden a los días de aplicación de los tratamientos, a fin de establecer efectos en las variables evaluadas (Anexo 2); con el propósito de hallar diferencias significativas entre los tratamientos se utilizó la diferencia mínima significativa del test de Tukey HSD ($\alpha = 0{,}05$). En los casos en los que la trasformación no fue significativa se usaron pruebas no paramétricas (Prueba de Kruskal-Wallis, **$\alpha = 0{,}05$**); finalmente, para observar el comportamiento multivariable de los tratamientos ensayados, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) utilizando las librerías "ggplot y ggplot2".

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La base orgánica del proceso de fermentación aeróbica del CMOM fue estiércol fresco de caballo y su producción se realizó en un biodigestor simple, al igual que en otros estudios en los que emplearon excretas de bovinos y residuos de leguminosas (Cando y Malca, 2016); este tipo de sistemas resultan efectivos para obtener productos con propiedades funcionales como biofertilizantes compatibles para su uso en la agricultura ecológica (Jara-Samaniego *et al.*, 2021). Pasados 150 días de co-digestión aeróbica, el biopreparado llegó al punto de maduración para su aplicación y el producto final presentó color ámbar, olor de fermentación alcohólica y en el fondo algunos sedimentos; aspectos que, de acuerdo con Restrepo (2007), indican buena calidad y estabilidad en este tipo de biofermentados.

Composición química

El análisis químico determina que el CMOM contiene una gran variedad de macro y microelementos esenciales para el equilibrio en la nutrición de las plantas. Ahora, dado que no existe un sistema preestableci-

do para categorizar el contenido nutricional de productos agroecológicos empleados como biofertilizantes (Gonzálvez y Pomares, 2008), para la interpretación, a cada uno de los resultados de las determinaciones del análisis químico se le asignó un nivel crítico de referencia tomando como base los rangos establecidos por IGAC (Tabla 2).

Tabla 2.

Composición química del caldo elaborado como biofertilizante en el JBBJCM

Determinación	Caldo Microbiano Orgánico Mineralizado		
	Contenido	Rangos de referencia	Nivel crítico*
pH	6.20	6,1 – 6,5	Ligeramente ácido
N Total (%)	3.15	>0,5	Alto
P (P_2O_5) (ppm)	1116.53	>40	Alto
K (meq·100 g^{-1})	78.07	>0,4	Alto
Ca (meq·100 g^{-1})	81.72	>3,0	Alto
Mg (meq·100 g^{-1})	35,67	>1,5	Alto
Mn (ppm)	5.83	5 – 10	Medio
Fe (ppm)	62.80	>50	Alto
Cu (ppm)	45.86	>3,0	Alto
B (ppm)	131.27	>0,4	Alto
S Total (%)	1.34	>1,2	Alto
C Total (%)	36.53	>8,1	Alto
B.T. (meq·100 g^{-1})	207.32	>7,5	Alto

*Valor asignado según los niveles críticos establecidos por el IGAC para la interpretación de análisis químicos de suelos.

Fuente: adaptado del análisis emitido por el Laboratorio Nacional de Suelos IGAC.

De acuerdo con los niveles críticos y siguiendo las consideraciones generales para la interpretación de los resultados de análisis de suelos (IGAC, 2014), los contenidos en el CMOM de N Total, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, B, así como el S, C y Base Totales (B.T.) resultan altos, a excepción del Mn cuyo contenido se encuentra por debajo de 15–30 ppm. La variación de elementos nutricionales, cuyos contenidos superan los niveles críticos, permite inferir que el biopreparado elaborado en el JBBJCM puede caracterizarse y utilizarse como suplemento de la fertilización química aplicada generalmente a los cultivos, ya que contiene altas dosis de N, P y K, y otros elementos nutricionales (Mengmeng *et al.*, 2021), por lo que este producto, de tipo orgánico, puede ser una alternativa a los problemas en torno a la producción de cultivos agroalimentarios tanto para el agricultor como para el consumidor.

La variedad de elementos que el biopreparado presentó en el análisis químico es concordante con su elaboración, ya que además del estiércol de caballo como principal fuente orgánica de NPK (Raksun *et al.*2021), se adicionaron sales minerales como sulfato de zinc, magnesio, sodio y cobre, nitrato de potasio y amonio, fosfato de potasio, amonio y hierro, amonio molibdato, azufre y harina de rocas, ingredientes que en gran medida le conceden su riqueza y potencial nutricional. Además, gracias al proceso bioquímico que ejerce la carga microbiana también incorporada, los nutrientes se transforman en hormonas como adeninas, purinas, auxinas, giberelinas y citoquininas (Sánchez-Llevat *et al.*, 2022) que sin duda le confieren mayor capacidad nutricional al biopreparado.

Análisis microbiológico

En el análisis microbiológico se identificaron bacterias gram negativas como *Escherichia coli* y gram positivas como *Corynebacterium xerosis* (Tabla 3), cuya presencia puede asociarse a los cultivos lácticos utilizados como fuente de probióticos durante la preparación del caldo, además se considera no patógena y por ende poco probable que impacte la salud humana y el medio ambiente (Hahne *et al.*, 2018). Aunque el análisis detectó coliformes totales y fecales, los valores (<0,2 NMP/ml) se ubican muy por debajo de los permitidos para el agua de uso agrícola 5.000 y 1.000 NMP/ml respectivamente (Decreto 1594 de 1984). Este tipo de microorganismos comúnmente se usan para evaluar la contaminación fecal en aguas superficiales (Aram *et al.*, 2021) y en este caso sirven como indicadores de la calidad microbiana del CMOM. Cuando el contenido de microorganismos Clase B con restricción para uso agrícola se encuentran presentes posterior al finalizar el ciclo de fermentación del biofertilizante, conviene realizar la estabilización alcalina para mejorar su calidad microbiológica empleando cal (hidratada o viva)(Sánchez *et al.*, 2020).

Tabla 3.

Análisis microbiológico del caldo elaborado como biofertilizante en el JBBJCM

Microorganismo - ensayo	Caldo Microbiano Orgánico Mineralizado	Unidad
Bacterias *Corynebacterium xerosis*	D.	Gram-
Coliformes totales	<0.2	NMP/ml
Coliformes fecales	<0.2	NMP/ml
Escherichia coli	<0.2	NMP/ml
Salmonella spp.	N.D.	NMP/ml

Nota. NMP Número Más Probable: 95%. El dato del análisis se expresa en un intervalo: Límite inferior < NMP < Límite superior
D: Detectado; N.D: No detectado.

Fuente: autores.

Por otra parte, a partir de los crecimientos obtenidos en las diluciones seriadas, se cuantificaron las unidades formadoras de colonias fúngicas (UFC), teniendo en cuenta el rango recomendado entre 30 y 300 colonias por dilución para el recuento de UFC·ml^{-1}. Las diluciones 10^{-4} y 10^{-5} arrojaron el crecimiento de hongos levaduriformes con densidades de población en PDA:1.11x10^{8}, EM: 9.80x10^{7}, SDA: 1.08x10^{8} y OGY: 8.20x10^{7} UFC/ml; resultados que de acuerdo con Delgado *et al*. (2023) y Viteri *et al*. (2008) se ajustan a las normas de control de calidad de biofertilizantes que establecen una densidad mínima de 10^{8} UFC·g^{-1} para que la población de microorganismos introducidos por estos tenga posibilidad de colonizar el suelo.

A nivel macroscópico se describieron colonias de crecimiento rápido y circular casi cubriendo todo el medio, color crema por el anverso y reverso, apariencia húmeda levaduriforme y desarrollo en la periferia de hifas sumergidas en el medio (Anexo 2). Microscópicamente se identificaron hifas gruesas vegetativas y tabicadas, con abundante producción de artroconidios hialinos unicelulares rectangulares en cadena y tamaño variable (Figura 1), lo que coincide con descripciones macro y micro morfofisiológicas del género *Geotrichum* Link. (Bonifaz, 2012; Walsh *et al*., 2018; Perkins *et al*., 2020).

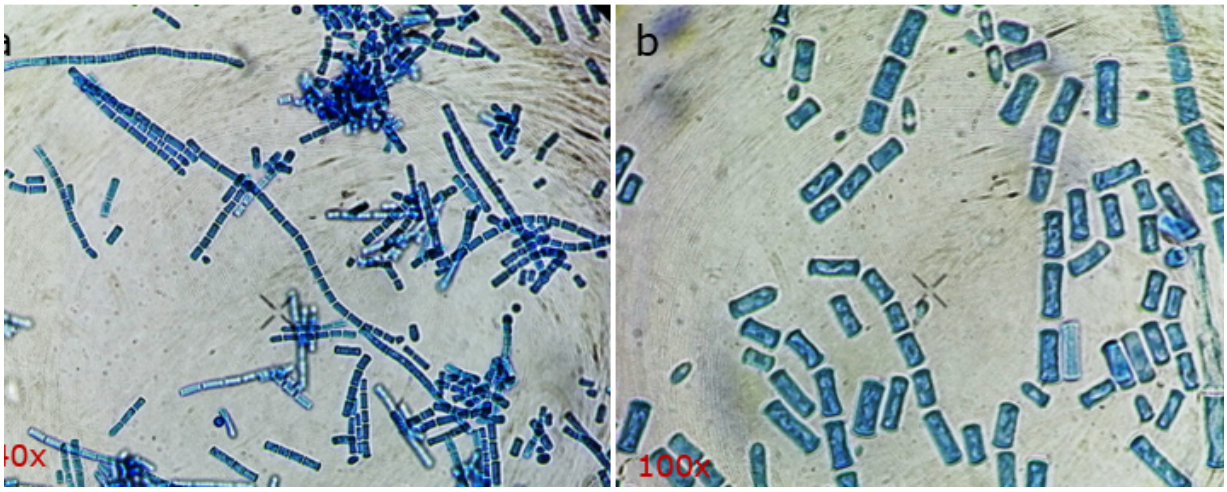


Figura 1. Estructuras fúngicas: artroconidios unicelulares en cadena de *Geotrichum* sp., observados en 40x (a) y en 100x (b)

Fuente: autores.

Geotrichum es considerado un microorganismo cosmopolita y saprótrofo, aislado frecuentemente de plantas, en especial de frutas, así como de leche y sus derivados (Cepero *et al*., 2012), los cuales son utilizados en el CMOM para favorecer la fermentación. Este generó cuenta con una proyección de uso en el crecimiento de sistemas productivos agrícolas, ya que, recientemente Bonilla *et al* (2021), mencionaron a *Geotrichum pe-*

nicillatum como uno de los microorganismos benéficos utilizados en formulaciones de inoculantes biológicos para la inducción de crecimiento vegetal, pues una vez fermentados potencializan su capacidad para incrementar la disponibilidad de nutrientes en el suelo como el nitrógeno y el fósforo (Glick, 2012).

Efecto del caldo microbiano sobre el CyD

A partir del seguimiento realizado al crecimiento y desarrollo vegetal, se encontró que la altura, el diámetro en la base del tallo y el número de hojas en las dos especies vegetales fueron influenciados significativamente (P <0,0001) por los tratamientos (Tabla 4 y Anexo 3). Donde claramente el mayor efecto lo registró el tratamiento Químico® (T2), seguido por el CMOM (T4), evidenciando cómo los fertilizantes químicos están diseñados para proveer los nutrientes esenciales que las plantas necesitan para crecer y aumentar su productividad (Pahalvi *et al.*, 2021).

Tabla 4.

Influencia de los tratamientos sobre el CyD vegetal de *S. muricatum* y *C. pubescens*

Tratamientos	*Solanum muricatum*			*Capsicum pubescens*		
	Altura	Diámetro	Hojas	Altura	Diámetro	Hojas
T1–H_2O	16,83 ± 09,67 c	3,23 ± 0,77 b	11,83 ± 4,25 b	13,67 ± 6,13 b	3,61 ± 1,26 c	17,09 ± 9,75 c
T2–Químico®	46,56 ± 35,33 **a**	4,12 ± 1,55 **a**	25,45 ± 20,31 a	24,70 ± 13,39 a	5,72 ± 2,76 a	29,98 ± 23,87 a
T3–EM®	21,87 ± 14,86 b	3,28 ± 0,77 b	13,23 ± 5,23 b	12,49 ± 5,81 b	3,41 ± 1,08 c	16,40 ± 10,26 c
T4–CMOM	28,78 ± 21,85 b	3,60 ± 1,11 b	15,45 ± 6,90 b	13,86 ± 5,45 b	4,12 ± 1,36 b	21,76 ± 14,55 b

Nota. Los valores se presentan como promedio± desviación estándar; promedios con letras diferentes entre la misma columna son significativamente diferentes (Tukey's HSD, α = 0,05).

Fuente: autores.

En cuanto a la fertilización química T2, aplicada para el mantenimiento de los cultivos de pepino dulce (Sm), Jana (2019) encontró que la mayor demanda de NPK en el crecimiento y desarrollo vegetal ocurre en las primeras ocho semanas del cultivo. No obstante, algunas investigaciones han demostrado que este tipo de fertilización, además de aumentar los costos de producción, debe ser inevitablemente suprimida para enfrentar la crisis climática actual (Billen *et al.*, 2013).

En *C. pubescens* se encontró que la altura de las plantas en los tratamientos T1, T3 y T4 no presentó diferencias significativas (Tabla 4), sin embargo, en términos del diámetro en la base del tallo y número de hojas, el T4 resultó mejor que T3 y T1 (Tabla 4), posicionándose de segundo después del tratamiento químico. Esta respuesta parece relacionarse con el ciclaje de nutrientes asociado a los biofermentados durante su mineralización, que mediante la secreción de hormonas de crecimiento de las plantas (por ejemplo, T4) se presenta como el segundo que indujo un mayor crecimiento y desarrollo vegetal en *C. pubescens*, contribuyendo con el aumento significativo de la productividad (Tian *et al*., 2022; Kai-lou *et al*., 2018), en el presente estudio, mediado probablemente por el incremento de la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes para el CyD vegetal.

Lo anterior coincide parcialmente con lo reportado por Anggraheni *et al* (2019), quienes concluyeron que el mayor rendimiento de ají se produce cuando se aplica al suelo una fuente inorgánica completa de nutrientes mezclado con una fuente de materia orgánica, generando una biofertilización como complemento de la fertilización química. También para el ají (Cp), Tlelo-Cuautle *et al*. (2020) revelaron que el crecimiento y desarrollo de tallos, hojas, flores, frutos y semillas generó mayor rendimiento cuando se combinó la fertilización química y orgánica. Según reportes de la FAO (2017), los fertilizantes sintéticos están vinculados con una mayor producción de alimentos a nivel mundial, principalmente en países en desarrollo, por lo tanto, más allá de combinar productos, es urgente sustituirlos por fuentes orgánicas desde un enfoque agroecológico de aprovechamiento de nutrientes naturales a favor de los cultivos.

El efecto de los tratamientos mostró diferencias significativas respecto a los parámetros de crecimiento vegetal en *S. muricatum* y *C. pubescens*, medidos en cinco fechas de observación: 21, 42, 63, 85 y 106 días después del trasplante respectivamente (Figura 2).

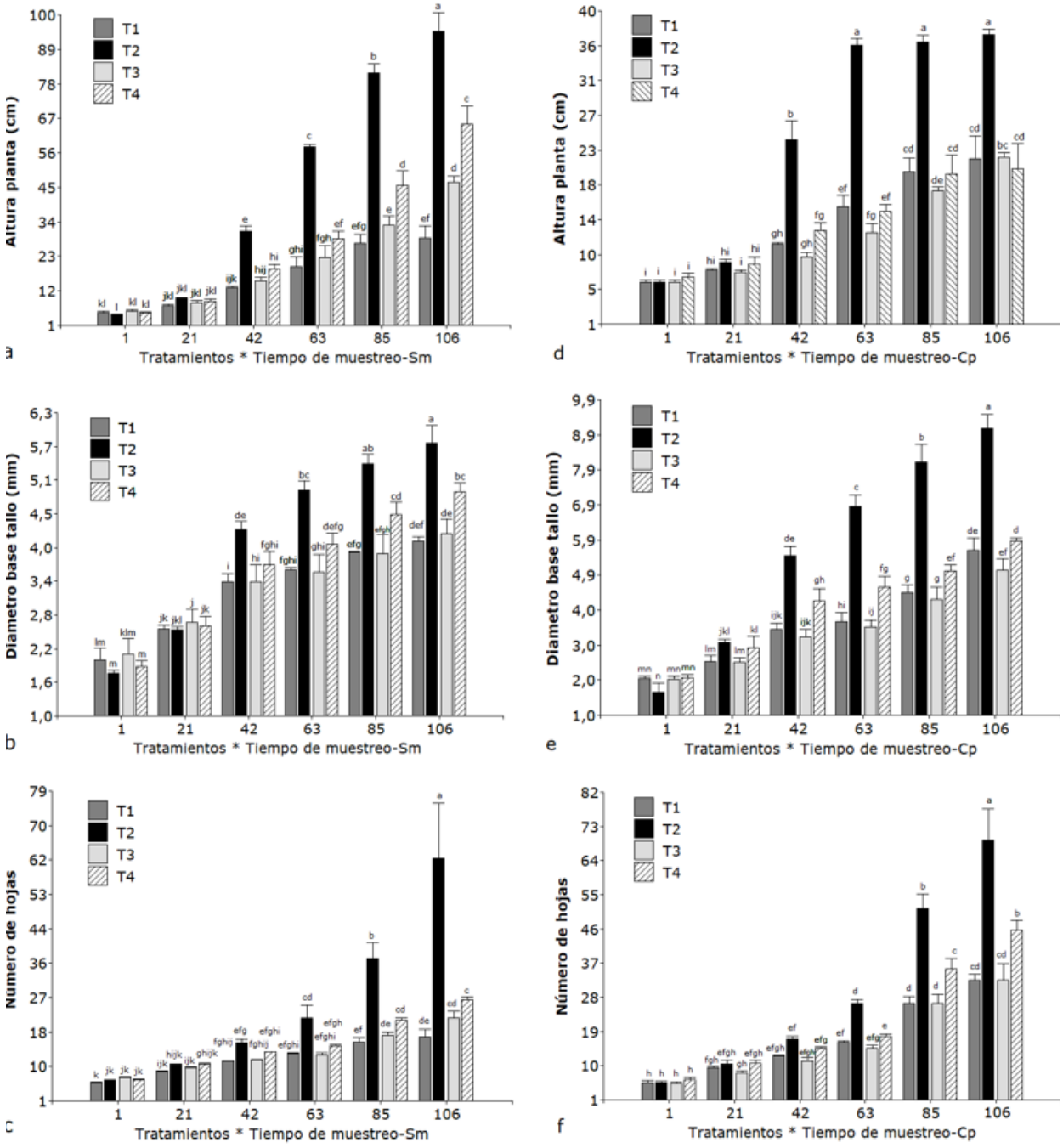


Figura 2. Interacción entre tratamientos y entre tiempos de muestreo en el crecimiento vegetal de *S. muricatum* (Sm) y C. pubescens (Cp) durante 21, 42, 63, 85 y 106 días de seguimiento. T1, T2, T3 y T4: tratamientos. Test: Tukey Alfa=0,05, medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Las barras verticales indican la diferencia mínima significativa, según Tukey, entre tratamientos ($p \leq 0,05$)

Fuente: autores.

El análisis de varianza permitió determinar que la interacción entre los tratamientos y los días de observación fue significativa sobre la altura, el diámetro de la base del tallo y el número de hojas en las plantas de Sm y Cp ($p<0.0001$, Anexo 2). Durante los primeros 21 días el aumento en la altura, diámetro en la base del tallo y número de hojas de las plantas fue similar tanto en Sm como en Cp, por lo tanto, no presentaron diferencias significativas; no obstante, para el día 42 se evidenció un aumento en todas las variables de CyD vegetal por efecto de la aplicación del T2, patrón que se mantuvo a los 63, 85 y 106 días de la evaluación (Figura 3). Peirce *et al.* (2019), indican que el momento de la aplicación y el tipo de compuesto nutricional son importantes en la absorción y translocación de los nutrientes, incidiendo en un mejor desarrollo de los diferentes tejidos vegetales, de tal forma que, para este estudio la integración de soluciones biofertilizantes al suelo promovieron el crecimiento de las plantas en su etapa temprana e intermedia de desarrollo vegetativo. Aunque muchos estudios de nutrición vegetal indican que la suficiente disponibilidad de nutrientes contribuye a la acumulación de biomasa y una mayor capacidad fotosintética de las hojas (Chen *et al.*, 2018), la aplicación excesiva de fertilizantes inorgánicos produce también una baja disponibilidad de agua debido a altas condiciones osmóticas en el suelo, generando desordenes fisiológicos en el desarrollo vegetal (Du *et al.*, 2021).

Pese a que el T2 incrementó todas las variables estimadas a un ritmo más acelerado durante todo el tiempo de evaluación, el CMOM (T4) también se presentó como inductor del CyD en Sm y Cp, a diferencia de T1 y T3. Este hallazgo se puede relacionar con la existencia en el caldo de cepas microbianas funcionales que, aplicadas en estas especies como biofertilizantes, proporcionaron ambientes para intensificar el crecimiento de las plantas en diferentes momentos y condiciones de campo (Pirttilä *et al.*, 2021). Incluso se revela el potencial nutricional del CMOM, constituido precisamente mediante un proceso de fermentación, donde microorganismos y materia orgánica enriquecida con minerales, generan un biofertilizante compuesto y completo (Schütz *et al.*, 2018) con interesantes características para estimular el incremento vegetal de estas dos solanáceas.

Adicionalmente, los resultados obtenidos en el presente estudio son consistentes con la capacidad que se atribuye a sustancias bioactivas en la nutrición vegetal (Rana *et al.*, 2020), puesto que muchos hongos y bacterias son capaces de mejorar la absorción de macronutrientes, micronutrientes y de la materia orgánica del suelo, aumentando el suministro de estos para el crecimiento de las plantas (Barón y Rigobelo, 2021).

Incidencia de las afectaciones foliares

Se encontró que para Sm (Figura 3, a, b, c) el amarillamiento fue la afectación que expresó el menor índice en todos los tratamientos en comparación con el entorchamiento y la necrosis foliar. Aquí, T1 mostró el índice más bajo (60%), seguido T3=63% y T4=87%. El entorchamiento foliar en Sm

fue uno de los índices con mayor afectación T1=100%, T2=97% y T3=93%, frente a T4 que mostró una notable reducción (30%); también se observó una alta incidencia en el necrosamiento foliar principalmente en los tratamientos T1, T2 y T3, mientras que el CMOM (T4) reveló una incidencia del 87%.

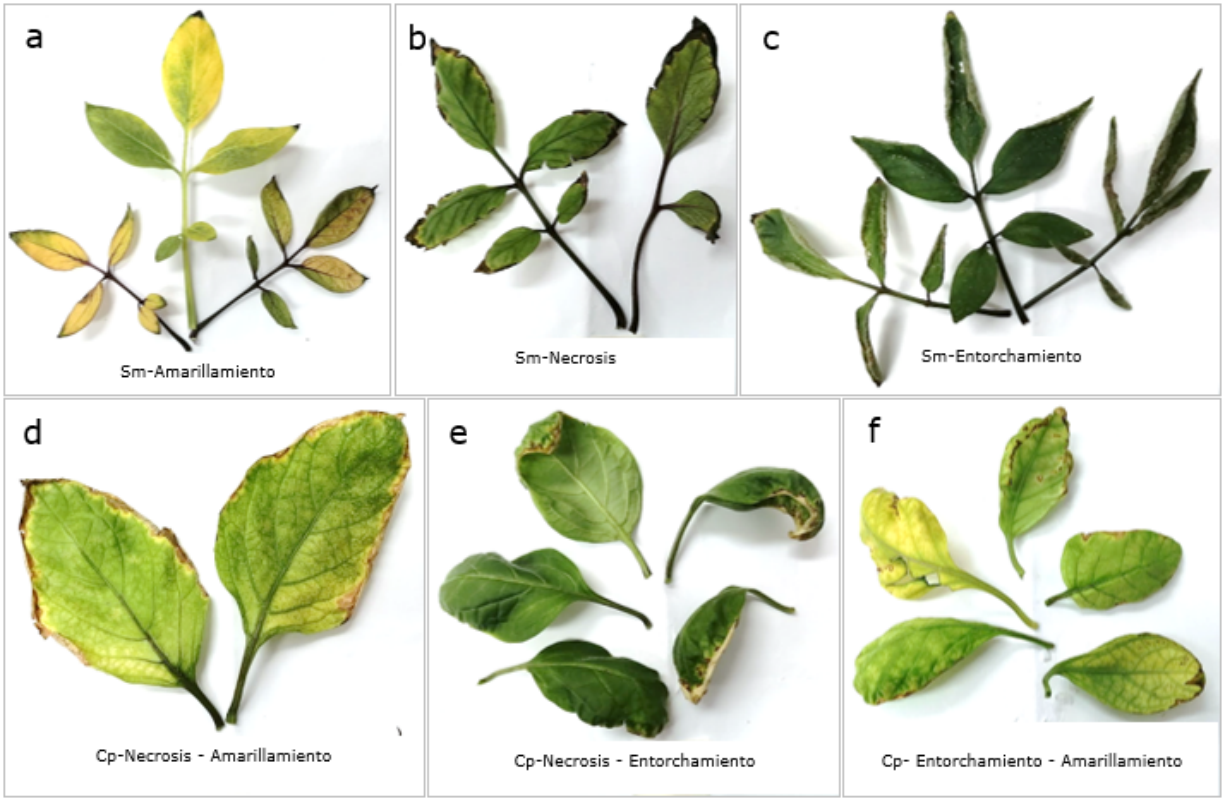


Figura 3. Afectaciones foliares en *S. muricatum* (a, b, c) y *C. pubescens* (d, e, f)

Fuente: autores.

Por su parte, en Cp (Figura 3, d, e, f), el amarillamiento se evidenció fuertemente en T1 (100%) y T4 (73%). El testigo absoluto presentó la mayor incidencia de afectación (100%) relacionada con el entorchamiento foliar, seguido por T2 y T3=97%. La necrosis foliar en T1 y T2 exhibió un 100% de afectación, mientras que en T3 y T4 se observó una leve disminución al 93%.

Los resultados y valores porcentuales dejan ver que T1 y T2 son los tratamientos con mayores índices de afectaciones foliares, y T4 el que registra en su mayoría la afectación más baja. El que se haya presentado una mayor incidencia en el tratamiento químico, puede relacionarse con una correlación positiva o negativa (punto crítico) entre la tasa de fertilizantes (aumento o disminución) y el impacto en las enfermedades de las plantas (Akanmu *et al.*, 2021). Según Veresoglou *et al.* (2013), aunque la fertilización química promueve significativamente el crecimiento vegetativo de las plantas, puede también au-

mentar la aparición de enfermedades o afectaciones foliares, coincidiendo precisamente con lo observado en este estudio.

Al correlacionar las variables de respuesta, el análisis de componentes principales (PCA) señala en *S. muricatum* una diferenciación en el CyD vegetal, así como en la incidencia de las afectaciones foliares en relación con los tratamientos evaluados, exhibiendo ~99,6% de la variación (Figura 4a).

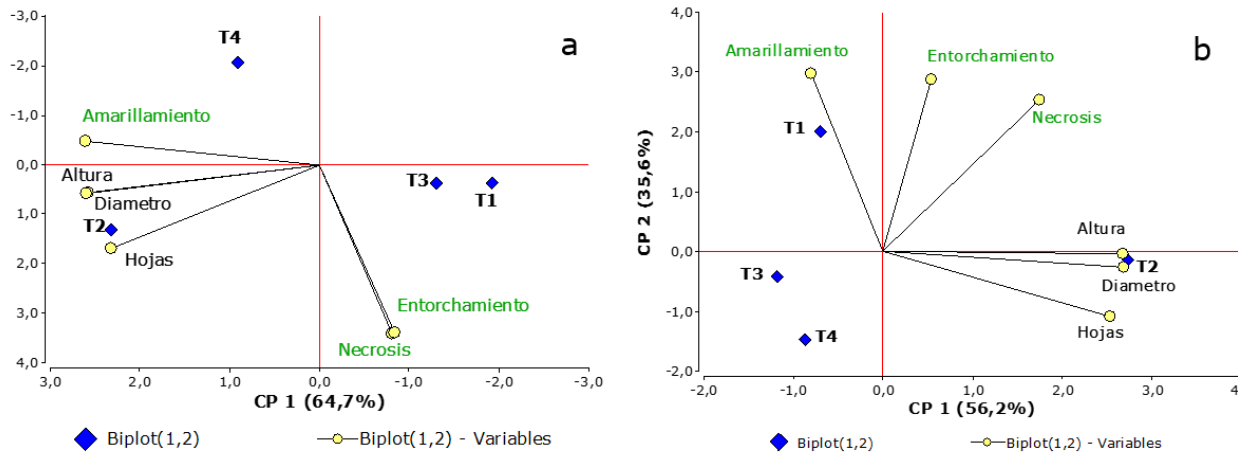


Figura 4. Gráfico correlación entre tratamientos y entre variables de respuesta en *S. muricatum* (izquierda) *y C. pubescens* (derecha)

Fuente: autores.

De acuerdo con la Figura 4a, el primer componente expone 64,7% de la variación y en relación con el CyD vegetal (altura, diámetro y número de hojas) señala una correlación fuerte con T2 y T4. Según los resultados, una aplicación equilibrada de nutrientes utilizando fertilización química y orgánica es una estrategia de manejo clave para mejorar el CyD vegetal en *S. muricatum*. De manera similar Tlelo-Cuautle *et al.* (2020) sugieren que las características agromorfológicas de los diferentes órganos vegetativos y reproductivos en solanáceas agroalimentarias es mayor al aplicar ambos tipos de fertilización.

En este mismo componente, las afectaciones foliares (entorchamiento y necrosis) manifestaron una correlación alta con T3 y T1 y los aleja de los demás tratamientos (Figura 4a). El segundo componente, explica 34,9% de la varianza y correlaciona notoriamente el amarillamiento foliar con T2 y T4; aquí la interacción de las afectaciones foliares en relación con los tratamientos aplicados posiblemente responde a efectos adversos expresados cuando la concentración de los elementos nutricionales aumenta o disminuye más allá de su rango permisible en el suelo (Shrivastav *et al.*, 2020).

En términos de *C. pubescens*, el PCA mostró diferencias en el CyD vegetal, así como en la incidencia de las afectaciones foliares en relación con los tratamientos aplicados, explicando ~91,8% de la variación (Figura 4b). El primer componente expresa un 56,2% de la variación y muestra también una correlación alta con el T2, pero lo distancia ampliamente de los demás tratamientos. Esta respuesta en parte coincide con lo reportado por Mantja *et al*. (2020) quienes mediante la aplicación de fertilización química de NPK, comparado con la aplicación de biofertilizante, observaron un mayor CyD vegetal en varias especies del género *Capsicum*. El componente número dos describe un 35,6% de la variación y correlaciona claramente en términos de las afectaciones foliares con T1 (Figura 4b).

A diferencia de lo observado en el primer componente, la aplicación del biofertilizante en Cp no fue mejor en términos del CyD vegetal, ya que sí disminuyó la incidencia de las afectaciones foliares. Al respecto, Callisaya y Fernández (2017) indican que los biofertilizantes aplicados en los cultivos, además de solubilizar nutrientes, producen sustancias bioactivas que compiten con patógenos del suelo e inciden sobre la filósfera de las plantas. Igualmente, estos compuestos solubilizan nutrientes que promueven el desarrollo vigoroso de las plantas (Guerrero, 2022); esto evidencia que, aunque los biofertilizantes pueden ser efectivos al interactuar con la rizosfera de las plantas y mejorar su condición fitosanitaria, por si solos no configuran una fuente ideal para la nutrición vegetal, en comparación al momento en que son aplicados junto o complementando enmiendas y minerales para la fertilización (Mejía, 2016).

4 CONCLUSIONES

Desde el punto de vista químico y microbiológico, el Caldo Microbiano Orgánico Mineralizado contiene no solo una variedad de elementos para el balance en la nutrición de las plantas sino además microorganismos benéficos esenciales que, mediante procesos específicos, contribuyen activamente a su CyD, por lo que puede utilizarse como suplemento en la fertilización química. En general, las materias primas que se utilizan en la fabricación de biopreparados como el CMOM son de fácil adquisición y su aprovechamiento no representa una carga contaminante para el ambiente, además su elaboración puede adaptarse a la disponibilidad de recursos locales.

Se encontró una fuerte relación (99,6%) entre el crecimiento y desarrollo vegetal y los tratamientos evaluados, lo que infiere que el CMOM cuenta con un equilibrio en cuanto a nutrientes químicos y orgánicos, manifestado en el aumento del diámetro (Sm=3,60 mm, Cp= 4,12 mm), la altura (Sm=2,78 mm, Cp= 13,86 mm) y el número de hojas (Sm=15,45 Cp= 21,76) de las especies evaluadas.

La obtención y aplicación de biopreparados, como el CMOM elaborado en el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, utilizando como base orgánica equinaza, enriquecida con microorganismos y minerales, pone a disposición una práctica de bajo impacto ambiental y una alternativa agroecológica para fertilizar las plantas, reduciendo el uso de fertilizantes industriales y con esto los costos en la producción de especies vegetales como las solanáceas agroalimentarias. No obstante, es necesario profundizar en diferentes formulaciones y dosis de aplicación de los biopreparados que promuevan el crecimiento y rendimiento vegetal.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Álvaro Isaac Díaz Alvarado**:** Conceptualización, desarrollo investigación, análisis de datos, escritura borrador original**. Martha Liliana Pinzón Herrera**: conceptualización, revisión y edición. **Camilo Andrés Cárdenas Burgos**: conceptualización, análisis de datos, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento al Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, especialmente a la Subdirección Científica por facilitar los espacios e insumos experimentales y por el apoyo brindado a la línea de investigación en Sanidad Vegetal para el desarrollo de este estudio. En general agradecemos a todo el equipo del componente de investigación de Uso Sostenible por su acompañamiento y apoyo durante el proceso de ejecución del proyecto.

FINANCIAMIENTO

Proyecto de inversión 7679 – Investigación para la conservación de los ecosistemas y la flora de la Región y Bogotá, Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis.

LITERATURA CITADA

Akanmu, A., Babalola, O., Venturi, V., Ayilara, M., Adeleke, B., Amoo, A., ... & Glick, B. (2021). Plant disease management: leveraging on the plant-microbe-soil interface in the biorational use of organic amendments. *Frontiers in Plant Science, 12*, 700507. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.700507

Anggraheni, Y., Nuro, F., & Paradisa, Y. (2019). Effect of organic fertilizer on growth and yield of chili pepper. *Proceedings The SATREPS Conference*, *2*(1), 30-37.

Añibarro-Ortega, M., Pinela, J., Alexopoulos, A., Petropoulos, S., Ferreira, I., & Barros, L. (2022). The powerful Solanaceae: Food and nutraceutical applications in a sustainable world. *Advances in Food and Nutrition Research, 100,* 131–172. https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2022.03.004

Aram, S., Saalidong, B., & Osei, P. (2021). Comparative assessment of the relationship between coliform bacteria and water geochemistry in surface and ground water systems. *Plos one, 16*(9), e0257715. https://10.1371/journal.pone.0257715

Areeshi, M. (2022). Recent advances on organic biofertilizer production from anaerobic fermentation of food waste: Overview. *International Journal of Food Microbiology, 374*, 109719. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109719

Barón, N., & Rigobelo, E. (2022). Endophytic fungi: a tool for plant growth promotion and sustainable agriculture. *Mycology, 13*(1), 39-55. https://10.1080/21501203.2021.1945699

Bonifaz, A. (2012). Hongos Contaminantes. En *Micología Médica Básica*. [4 edición]. McGraw Hill.

Bonilla, R., González, L., y Pedraza, R. (2021). *Bacterias promotoras de crecimiento vegetal en sistemas de agricultura sostenible.* Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7405019

Botrel, N., & Melo, R. (2020). Quality aspects of pepino dulce fruits in distinct ripening stages, packaging forms and storage conditions. *Brazilian Journal of Food Technology*, *23*. https://doi.org/10.1590/1981-6723.30018

Billen, G., Garnier, J., & Lassaletta, L. (2013). The nitrogen cascade from agricultural soils to the sea: modelling nitrogen transfers at regional watershed and global scales. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *368*(1621), 20130123. https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0123

Callisaya, Y. y Fernández, C. (2017). Evaluación del efecto que tienen los microorganismos eficientes (EM), en el cultivo de pepinillo (Cucumis sativus l.), municipio de Achocalla. *Apthapi, 3*(3), 652–666.

Cando, S., y Malca, L. (2017). Desarrollo de un abono orgánico líquido tipo biol usan-

do un proceso anaerobio en bio-reactores simples. *Manglar 13*(1), 35-40. http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2016.005

Chen, Z., Tao, X., Khan, A., Tan, D., & Luo, H. (2018). Biomass accumulation, photosynthetic traits and root development of cotton as affected by irrigation and nitrogen-fertilization. *Frontiers in plant science, 9*, 173. https://10.3389/fpls.2018.00173

Cepero, M., Restrepo, S., Franco-Molano, A., Cárdenas, M., y Vargas, N. (2012). Hongos Anamórficos, Conidiales, Mitosporicos o "Deuteromycetes". En *Biología de Hongos* (pp. 155–156). Ediciones Uniandes.

Cruz-Cárdenas, C., Zelaya, L., Sandoval, G., Santos, S., Rojas, E., Chávez, I., & Ruíz, S. (2021). Using microorganisms for a sustainable agriculture in Mexico: considerations and challenges. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 12*(5), 899-913. https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2905

Delgado, L., Alvarado, W., Freile, M., y Mestanza, R. (2023). Evaluación de caldos microbiales en el rendimiento del cultivo de maní (cultivar INIAP-380). *Revista InGenio*, *6*(2), 63-71. https://doi.org/10.18779/ingenio.v6i2.589

Du, Q., Xiao, H., Li, J., Zhang, J., Zhou, L., & Wang, J. (2021). Effects of different fertilization rates on growth, yield, quality and partial factor productivity of tomato under non-pressure gravity irrigation. *PLoS One, 16*(3), e0247578. http://doi.org/10.1371/journal.pone.0247578

Duranova, H., Valkova, V., & Gabriny, L. (2022). Chili peppers (Capsicum spp.): The spice not only for cuisine purposes: An update on current knowledge. *Phytochemistry Reviews, 21*(4), 1379-1413. https://doi.org/10.1007/s11101-021-09789-7

Fischer, G., Balaguera-López, H., & Magnitskiy, S. (2021). Review on the ecophysiology of important Andean fruits: Solanaceae. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, 24*(1). http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1701

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2017). *World fertilizer trends and outlook to 2020*. Summary Report.

Glick, B. (2012). Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications. *Scientifica*, *2012*, artículo 963401. https://doi.org/10.6064/2012/963401

González-Estrada, A., & Camacho , M. (2017). Emission of greenhouse gases from nitrogen fertilization in Mexico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *8*(8), 1733-1745. https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.698

Gonzálvez, V., y Pomares, F. (2008). *Manual técnico fertilización y balance de nutrientes en sistemas agroecológicos*. Sociedad española de agricultura ecológica, SEAE.

Guerrero, R. (2022). Efecto de microorganismos eficaces (em) aplicados en diferentes dosis sobre el cultivo de la soja. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar, 6*(1),

1653 – 2345. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1653

Hahne, J., Kloster, T., Rathmann, S., Weber, M., & Lipski, A. (2018). Isolation and characterization of Corynebacterium spp. from bulk tank raw cow's milk of different dairy farms in Germany. *PLoS One, 13*(4), e0194365. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194365

Hernández, A., Argüelles, A., Cortez, A., & Díaz, H. (2019). Effect of 2,4-dichlorophenoxyacetic concentration on in vitro callus induction using cotyledons of rocoto (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.). *The Biologist, 17*(2), 327-334. https://doi.org/10.24039/rtb2019172368

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. [IGAC]. (2014). *Instructivo códigos para levantamiento de suelos*. Grupo interno de trabajo de levantamientos agrológicos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Jacoby, R., Peukert, M., Succurro, A., Koprivova, A., & Kopriva, S. (2017). The role of soil microorganisms in plant mineral nutrition—current knowledge and future directions. *Frontiers in plant science, 8*, 1617. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01617

Jana A., C. (ed.). (2019). El cultivo del pepino dulce. *La Serena, Boletín INIA, 410*. https://hdl.handle.net/20.500.14001/6825

Jara-Samaniego, J., Gallegos, J., y Cruz, A. (2021). Elaboración y caracterización de bioles de residuos orgánicos. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales, XXII*(45), 189-203. https://doi.org/10.15517/ISUCR.V22I45.46013

Kai-lou, L., Ya-zhen, L., Li-jun, Z., Yan, C., Qing-hai, H., Xi-chu, Y., & Da-ming, L. (2018). Comparison of crop productivity and soil microbial activity among different fertilization patterns in red upland and paddy soils. *Acta Ecologica Sinica, 38*(3), 262-267. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2017.08.003

Loss, A., Couto, R., Brunetto, G., Veiga, M., Toselli, M., & Baldi, E. (2019). Animal manure as fertilizer: changes in soil attributes, productivity and food composition. *International Journal of Research-Granthaalayah, 7*(9), 307-331. https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v7.i9.2019.615

Mantja, K., Haring, F., Mahendra, W., Syam'un, E., Asrul, L., Sahur, A., & Ridwan, I. (2020). Growth and production of cayenne pepper (Capsicum frutescens L.) on various concentrations of bio-fertilizer and NPK fertilizer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 575*(1), 012109. https://doi.org/10.1088/1755-1315/575/1/012109

Mejía, K. (2016). La fertilización mineral, orgánica y biológica sobre la producción de frijol común en Santa Rosa de Copán. *Revista Ciencia y Tecnología, 19*, 181-194. https://doi.org/10.5377/rct.v0i19.4280

Mengmeng, C., Shirong, Z., Lipeng, W., Chao, F., & Xiaodong, D. (2021). Organic fertilization improves the availability and adsorptive capacity of phosphorus in saline-alkaline soils. *Journal of Soil Science*

and Plant Nutrition, 21, 487-496. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00377-w

Murillo-Pérez, G., & Rodríguez, A. (2021). Dichotomous keys to the species of Solanum (Solanaceae) in Mexico. *Botanical Sciences, 99*(2), 413-446. https://doi.org/10.3897/phytokeys.127.34326

Pahalvi, H., Rafiya, L., Rashid, S., Nisar, B., & Kamili, A. (2021). Chemical fertilizers and their impact on soil health. In: Dar, G.H., Bhat, R.A., Mehmood, M.A., Hakeem, K.R. (eds) *Microbiota and Biofertilizers*, Vol 2. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_1

Peirce, C., McBeath, T., Priest, C., & McLaughlin, M. (2019). The timing of application and inclusion of a surfactant are important for absorption and translocation of foliar phosphoric acid by wheat leaves. *Frontiers in Plant Science, 10*, 1532. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01532

Perkins, V., Vignola, S., Lessard, M., Plante, P., Corbeil, J., Dugat-Bony, E., ... & Labrie, S. (2020). Phenotypic and genetic characterization of the cheese ripening yeast Geotrichum candidum. *Frontiers in Microbiology, 11*, 737. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00737

Pirttilä, A., Mohammad, H., Baruah, N., & Koskimäki, J. (2021). Biofertilizers and biocontrol agents for agriculture: How to identify and develop new potent microbial strains and traits. *Microorganisms, 9*(4), 817. https://doi.org/10.3390/microorganisms9040817

Pradel, M., & Aissani, L. (2019). Environmental impacts of phosphorus recovery from a "product" Life Cycle Assessment perspective: Allocating burdens of wastewater treatment in the production of sludge-based phosphate fertilizers. *Science of The Total Environment,* 656, 55-69. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.356

Qi, P., Wang, J., Liu, Z., Wang, Z., Xu, H., Di, S., ... & Wang, X. (2021). Integrated QuEChERS strategy for high-throughput multi-pesticide residues analysis of vegetables. *Journal of Chromatography A,* 1659, 462589. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2021.462589

Rana, K., Kour, D., Kaur, T., Devi, R., Yadav, A., Yadav, N., ... & Saxena, A. (2020). Endophytic microbes: biodiversity, plant growth-promoting mechanisms and potential applications for agricultural sustainability. *Antonie Van Leeuwenhoek, 113*, 1075-1107. https://doi.org/10.1007/s10482-020-01429-y

Raksun, A., Ilhamdi, M., Merta, I., & Mertha, I. (2021). Vegetative Growth of Sweet Corn (Zea mays L. Saccharata) Due to Difference Doses of Horse Manure Compost and NPK Fertilizer. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA,* 7(SpecialIssue), 168-174. https://doi.org/10.29303/jppipa.v7iSpecialIssue.863

Restrepo R. J. 2007. Manual el ABC de la agricultura orgánica y harina de rocas. 1a ed. Managua: SIMAS, 262 p

R Core Team (2022). *The R Project for Statistical Computing.* R Foundation for Statis-

tical Computing, Vienna, Austria. https://www.r-project.org/

República de Colombia. (1984). Decreto 1594 de 1984, 26 de junio de 1984. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. *Diario Oficial 36700, 26 de julio de 1984.*

Sánchez-Llevat, I., Fuerte-Góngora, L., Ravelo-Ortega, R., y Ávila-García, O. (2022). Estado del arte de los biopreparados por digestión anaerobia como biofertilizantes y bioestimulantes. *Ingeniería Agrícola,* 12(4). https://cu-id.com/2284/v12n4e07

Sánchez, J., Saltos, L., Obando, M., y Rizo, H. (2020). Alternativas en la estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Revista Riemat, 5*(1), 23-28. https://doi.org/10.33936/riemat.v5i1.2499

Seenivasagan, R., & Babalola, O. (2021). Utilization of Microbial Consortia as Biofertilizers and Biopesticides for the Production of Feasible Agricultural Product. *Biology, 10*(11), 1111. https://doi.org/10.3390/biology10111111

Schütz, L., Gattinger, A., Meier, M., Müller, A., Boller, T., Mäder, P., & Mathimaran, N. (2018). Improving crop yield and nutrient use efficiency via biofertilization—A global meta-analysis. *Frontiers in Plant Science, 8*, 2204. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02204

Shrivastav, P., Prasad, M., Singh, T., Yadav, A., Goyal, D., Ali, A., & Dantu, P. (2020). Role of nutrients in plant growth and development. *Contaminants in agriculture: Sources, impacts and management,* 43-59. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41552-5_2

Singh, B., Trivedi, P., Egidi, E., Macdonald, C., & Delgado-Baquerizo, M. (2020). Crop microbiome and sustainable agriculture. *Nature Reviews Microbiology*, *18*(11), 601-602. https://doi.org/10.1038/s41579-020-00446-y

Téllez, L., Ortiz, L., Calle, J., Jorge, P., Cesare, M., y Visitación, L. (2019). Estabilización de la bosta de caballo mediante un proceso aeróbico similar al compostaje. *Revista de la Sociedad Química del Perú, 85*(1), 25-33. https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i1.233

Tian, S., Zhu, B., Yin, R., Wang, M., Jiang, Y., Zhang, C., ... & Liu, M. (2022). Organic fertilization promotes crop productivity through changes in soil aggregation. *Soil Biology and Biochemistry, 165*, 108533. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108533

Tlelo-Cuautle, A. M., Taboada-Gaytán, O., Cruz-Hernández, J., López-Sánchez, H., y López, P. (2020). Efecto de la fertilización orgánica y química en el rendimiento de fruto de chile Poblano. *Revista Fitotecnia Mexicana,* 43(3), 238-238. https://doi.org/10.35196/rfm.2020.3.238

Trivedi, P., Leach, J., Tringe, S., Sa, T., & Singh, B. (2020). Plant–microbiome interactions: from community assembly to

plant health. *Nature reviews microbiology, 18*(11), 607-621. https://doi.org/10.1038/s41579-020-0412-1

Van Dijk, M., Morley, T., Rau, M., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food, 2*(7), 494-501. https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9

Veresoglou, S., Barto, E., Menexes, G., & Rillig, M. (2013). Fertilization affects severity of disease caused by fungal plant pathogens. *Plant Pathology, 62*(5), 961-969. https://doi.org/10.1111/ppa.12014

Viteri, S., Granados, M. y González, A. (2008). Potencial de los caldos rizósfera y súper cuatro como biofertilizantes para la sostenibilidad del cultivo de cebolla de bulbo (Allium cepa). *Agronomía Colombiana, 26*(3), 517 – 524. https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/12030

Walsh, T., Hayden, R., & Larone, D. (2018). Larone's medically important fungi: *A guide to identification*. John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1128/9781555819880

Conflicto de intereses
Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Licencia de Creative Commons
Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.