

ARTICLE / INVESTIGACIÓN

Aplicación de un abono foliar líquido en el cultivo de cacao nacional fino de aroma en Morona Santiago, Ecuador

Application of a liquid foliar fertilizer in the cultivation of fine aroma cocoa in Morona Santiago, Ecuador

Marcos Vera-Morales^{1*}, Daynet Sosa^{1,2}, Carlos Arias-Vega¹, Fernando Espinoza-Lozano¹, Simón Pérez- Martínez³, María F. Ratti^{1,2}

DOI: 10.21931/RB/2023.08.02.19

¹ Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.

² Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ciencias de la Vida, Guayaquil, Ecuador.

³ Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), Facultad de Ciencias e Ingeniería, Guayas, Ecuador.

Corresponding author: mxvera@espol.edu.ec

Resumen: La descomposición anaeróbica del estiércol de ganado podría generar subproductos que sean empleados en la agricultura como abonos orgánicos. Por lo que la fertilización de la superficie foliar producido a partir de nutrientes orgánicos y microorganismos constituye una fuente en la nutrición y producción de los cultivos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de un abono líquido procedente de la descomposición anaeróbica de estiércol de ganado sobre la superficie foliar del cultivo *in situ* del cacao nacional fino de aroma (*Theobroma cacao*) en Morona Santiago, Ecuador. Con este propósito, se tomaron muestras de hojas antes y después de la aplicación del abono foliar. Además, se realizó un experimento completo de bloques al azar con cinco tratamientos. Los tratamientos fueron: T1 y T3 con aplicaciones del abono foliar cada 30 días y concentraciones de 50 y 100% respectivamente, T2 y T4 con aplicaciones cada 60 días y concentraciones de 50 y 100% respectivamente y T5 con manejo convencional (Control). Los resultados mostraron evidencias estadísticamente significativas antes y después de la aplicación del abono líquido orgánico en el aumento de los macronutrientes de fósforo y potasio, así como al micronutriente de cobre. Por otro lado, la aplicación del abono foliar evidenció efectos positivos en el control *in situ* de *Moniliophthora roreri* y *M. perniciosa* con el tratamiento de 30 días diluido al 50%. Se sugiere que la aplicación del abono foliar procedente de la descomposición de estiércol puede contribuir a aumentar los macro y micronutrientes de las hojas del cultivo de cacao, así como también su potencial efecto en el biocontrol de patógenos fúngicos que afectan al cultivo de cacao nacional fino de aroma.

Palabras clave: Abono líquido, Biocontrol, Cacao nacional, Microorganismos, Nutrientes.

Abstract: The anaerobic decomposition of livestock manure could generate useful agricultural subproducts as organic fertilizers. Thus, fertilization of leaf surface produced from organic nutrients and microorganisms constitutes a source for the nutrition and production of crops. This study aimed to evaluate the effect of a liquid amendment made from the anaerobic decomposition of cow manure on the foliar surface of *in situ* fine aroma cacao (*Theobroma cacao*) in Morona Santiago, Ecuador. For this purpose, we took leaf samples before and after applying the foliar amendment. Furthermore, we performed a complete randomized block experiment with five treatments. Treatments were as follows: T1 and T3 with applications of liquid amendment every 30 days and concentrations of 50 and 100%, respectively; T2 and T4 with applications every 60 days and concentrations of 50 and 100%, respectively and T5 with conventional management (Control). Results showed statistically significant differences before and after applying the liquid organic amendment on the increase of macronutrient phosphorus, potassium, and the micronutrient copper. In addition, the application of foliar fertilizer, evidenced positive effects on the *in situ* control of *Moniliophthora roreri* and *M. perniciosa* with the treatment of 30 days and a 50% concentration. We suggest that applying foliar amendment from cow manure decomposition contributes to the increase of macro and micronutrients of the leaves in cacao crops, also as a potential biocontrol for fungal pathogens that affect fine aroma national cacao.

Key words: Liquid fertilizer, Biocontrol, National cocoa, Microorganisms, Nutrients.

Introducción

El aumento de la población mundial y las demandas que trae consigo, han puesto en riesgo la producción de alimentos y la seguridad alimentaria, de ahí que las prácticas agrícolas sean cada vez más intensivas¹, lo que resulta en un impacto negativo en el funcionamiento de los ecosistemas².

La intensificación de los cultivos agrícolas, hace uso de enormes cantidades de fertilizantes químicos que influyen directamente en el equilibrio de las interacciones bióticas y abióticas, lo que altera la biodiversidad y el funcionamiento natural de los sistemas³. Por lo tanto, el desarrollo de nue-

Citation: Vera-Morales M, Sosa D, Arias-Vega C, Espinoza-Lozano F, Pérez- Martínez S, Ratti M F. Aplicación de un abono foliar líquido en el cultivo de cacao nacional fino de aroma en Morona Santiago, Ecuador. Revis Bionatura 2023;8 (2) 19. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2023.08.02.19>

Received: 2 January 2023 / **Accepted:** 19 April 2023 / **Published:** 15 June 2023

Publisher's Note: Bionatura stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright: © 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



vos fertilizantes, formulaciones y tecnologías inocuas con el entorno y la salud humana se constituyen en un desafío que van de la mano con la capacitación a productores para el correcto uso y aplicación, cuestiones que interesan a los agricultores e investigadores⁴.

Los nutrientes son importantes para el desarrollo de las plantas y las interacciones con fitopatógenos. Cada nutriente juega un papel fundamental en las funciones fisiológicas de las plantas⁵. A pesar de que la adsorción de nutrientes se realiza principalmente por las raíces, estos nutrientes también pueden ser asimilados por las hojas^{6,7}; describiéndose los beneficios asociados como resistencia a las enfermedades, tolerancia al estrés y mayor productividad⁸.

El abono orgánico líquido procedente de la descomposición anaeróbica de ganado es un subproducto rico en materia orgánica y nutrientes que pueden ser empleado como fertilizantes para la agricultura⁹. El abono orgánico líquido en sistemas agrícolas puede minimizar el uso de fertilizantes minerales¹⁰ con efectos significativos en aplicaciones al suelo y el follaje¹¹. La aplicación foliar del abono líquido se ha empleado para corregir deficiencias de micronutrientes que influyen en la producción¹².

Ante este escenario, es necesario investigar alternativas ecológicas que pueden potenciar la producción de cultivos, especialmente los que son de importancia en la economía de los países en vías de desarrollo¹³. Por ejemplo, *Theobroma cacao* L., es un cultivo que se demanda a nivel mundial y el Ecuador, es el segundo país de mayor producción en América después de Brasil¹⁴. Por lo tanto, el uso de grandes aplicaciones de fertilizantes químicos aumenta los costos de producción y altera el equilibrio del entorno. Por lo que el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de un abono líquido sobre la superficie foliar del cultivo in situ del cacao nacional fino de aroma (*Theobroma cacao*) en Morona Santiago, Ecuador.

Materiales y métodos

Lugar de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en tres localidades del cantón Taisha en la provincia de Morona Santiago, Ecuador; dos localidades en la parroquia Tuutinent-sa (Pampants 2°24'8"S 77°32'35"O y Dos Ríos 2°23'1"S 77°30'23"O) y una en la parroquia Macuma (Amazonas 2°20'50"S 78°20'3"O). El estudio se llevó entre los meses de febrero a diciembre del 2017 en parcelas demostrativas de las tres localidades; mismas que contenían cultivos establecidos de cacao nacional fino de aroma de aproximadamente 5 años. Las características y las condiciones de manejo de las tres fincas se describen en la tabla 1.

Condiciones climáticas

La precipitación total anual en el año 2017 fue de 2423,4 mm, mientras que la precipitación total promedio durante el desarrollo del muestreo en campo (febrero-diciembre) fue de 205,6 mm. La temperatura media en el período de febrero a diciembre fue de 22,1°C (Figura 1). Los datos fueron proporcionados por la estación científica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI).

Materiales, diseño experimental y evaluación de variables agronómicas

El abono foliar líquido se elaboró en dos fases. La primera una solución madre donde se capturaron microorganismos de suelos aledaños a las parcelas demostrativas. Los microorganismos se capturaron en tarrinas con 250g de arroz precocido y 50 mL de melaza para cubrir el arroz. Las tarrinas con los materiales se colocaron en el suelo a una profundidad de 20 cm cubiertas con tela de toldo. Lue-

Características	Pampants	Dos Ríos	Amazonas
Área del cultivo de cacao	50.0	48.0	50.0
Edad del cultivo	5 años	5 años	5 años
Altura	2 -3 m	2 -3 m	2 -3 m
Distancia de siembra	2 x 2 m ²	2 x 2 m ²	2 x 2 m ²
Material genético	Cacao nacional	Cacao nacional	Cacao nacional
Tipo de sombra	Sin sombra	Sin sombra	Sin sombra
Densidad de siembra	2500 plantas/Ha	2500 plantas/Ha	2500 plantas/Ha
Tipo de poda	Poda de formación	Poda de formación	Poda de formación
Frecuencia de poda	Anual	Anual	Anual
Control de malezas	Manual	Manual	Manual
Otras practicas	Poda fitosanitaria	Poda fitosanitaria	Poda fitosanitaria

Tabla 1. Condiciones de manejo de las plantaciones de cacao en las tres fincas evaluadas.

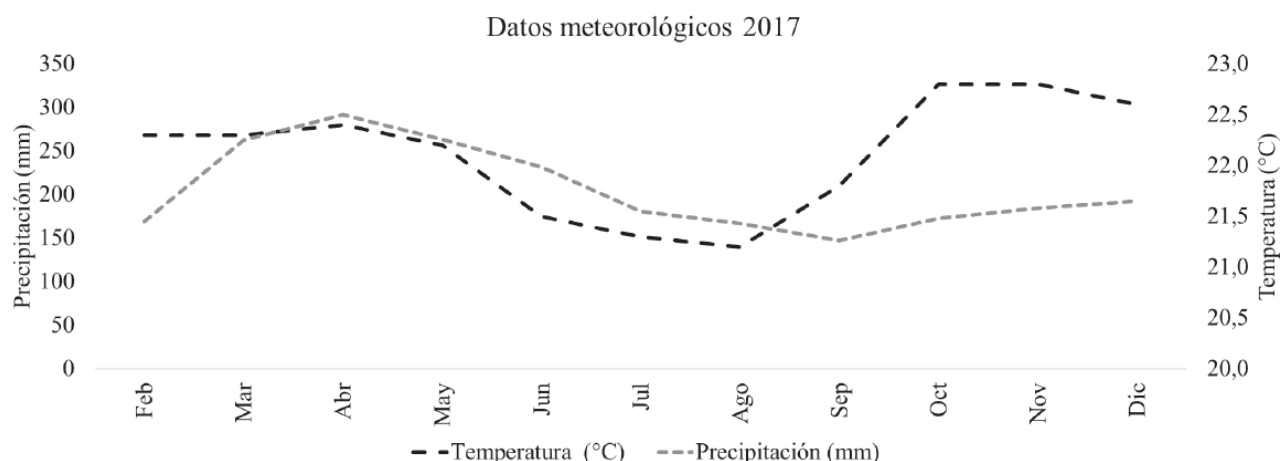


Figura 1. Diagrama ombrotérmico de Gaussen donde se muestran las precipitaciones y temperatura del cantón Taisha en la provincia de Morona Santiago, Ecuador en el año 2017. Datos proporcionados por la estación científica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI).

go de 21 días se procedió a recolectar los microorganismos y se los colocó en un tanque de 500 mL junto con melaza, sal en grano, de harina de pescado, roca fosfórica y agua hasta completar 300 L, durante 30 días en condiciones anaeróbicas. En la segunda fase se emplearon tanques de 600 L donde se mezclaron estiércol de ganado, roca fosfórica, sulfato de potasio y magnesio, ceniza, leche, melaza y agua hasta completar 400 L. el tanque de la segunda fase

se dejó reposar durante 120 días, con reactivaciones de la solución madre a los 30, 60 y 90 días. Adicional se evaluaron parámetros físicos-químicos en cada una de las reactivaciones de abono foliar orgánico (tabla 2)

Se realizaron aplicaciones foliares del abono foliar empleando una motobomba con boquilla electrostática de la marca Nuvola Cifarelli. Las aplicaciones en campo se realizaron con la ayuda de un solo asistente para minimizar el

Fincas	Inicial	React 1	React 2	React 3	Final
Conductividad eléctrica (mS/cm)					
Pampants	14,70 ± 0,46 A*	16,76 ± 0,04 A	17,39 ± 0,09 AB	18,58 ± 0,11 A	19,75 ± 0,33 A
Dos Ríos	14,57 ± 0,39 A	16,68 ± 0,23 A	17,28 ± 0,15 B	18,17 ± 0,48 A	19,83 ± 0,53 A
Amazonas	14,58 ± 0,63 A	16,70 ± 0,36 A	17,58 ± 0,24 A	18,5 ± 0,16 A	19,82 ± 0,25 A
Solutos totales (g/L)					
Pampants	6,68 ± 0,17 A	7,28 ± 0,06 A	7,54 ± 0,06 A	7,68 ± 0,09 A	8,92 ± 0,08 A
Dos Ríos	6,37 ± 0,80 A	7,09 ± 0,34 A	7,51 ± 0,13 A	7,76 ± 0,08 A	9,10 ± 0,42 A
Amazonas	6,38 ± 0,34 A	7,19 ± 0,33 A	7,55 ± 0,08 A	7,74 ± 0,07 A	8,85 ± 0,44 A
Salinidad (ppt)					
Pampants	7,91 ± 0,06 A	9,61 ± 0,22 A	10,27 ± 0,04 A	10,39 ± 0,01 B	10,71 ± 0,12 A
Dos Ríos	8,08 ± 0,25 A	9,61 ± 0,18 A	10,29 ± 0,14 A	10,66 ± 0,14 A	10,93 ± 0,22 A
Amazonas	7,83 ± 0,38 A	9,32 ± 0,42 A	10,26 ± 0,09 A	10,54 ± 0,08 A	10,56 ± 0,47 A
Temperatura (°C)					
Pampants	28,96 ± 0,70 A	27,82 ± 2,18 A	28,32 ± 0,33 A	27,68 ± 0,38 A	28,28 ± 0,08 B
Dos Ríos	28,66 ± 0,57 A	28,30 ± 1,77 A	27,80 ± 1,06 A	28,00 ± 0,43 A	28,52 ± 0,19 A
Amazonas	27,63 ± 2,26 A	27,57 ± 1,79 A	27,16 ± 1,98 A	27,17 ± 1,21 A	28,35 ± 0,19 AB
pH					
Pampants	4,78 ± 0,04 A	4,52 ± 0,14 A	4,27 ± 0,08 A	4,14 ± 0,03 A	3,71 ± 0,17 A
Dos Ríos	4,84 ± 0,03 B	4,61 ± 0,36 A	4,34 ± 0,25 A	4,14 ± 0,14 A	3,93 ± 0,07 A
Amazonas	4,83 ± 0,03 AB	4,33 ± 0,55 A	4,22 ± 0,37 A	4,02 ± 0,29 A	3,81 ± 0,22 A

* Valores promedios de cinco repeticiones ± desviación estándar de los datos correspondientes a los parámetros físicos y químicos del abono líquido orgánico. Las letras diferentes en las mismas filas corresponden a diferencias significativas según la prueba de Duncan $p < 0.05$.

Tabla 2. Promedio de los análisis físicos y químicos de las reactivaciones realizadas al abono líquido orgánico.

error de la aplicación. Así mismo, se estandarizó la cantidad de 8 litros por parcela, según estandarizaciones de Corrales y Maldonado, (2019)¹⁵. Finalmente, antes de la aplicación del abono líquido, se procedió a homogenizar y a tamizar el mismo para separar el líquido de otras sustancias sólidas según protocolo de uso y aplicación del CIBE-ESPOL.

En el presente estudio se evaluaron cinco tratamientos en parcelas demostrativas. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cinco tratamientos en cada una de las tres parcelas demostrativas. Las aplicaciones foliares fueron a los 30 y 60 días con abono orgánico al 100% y diluido con agua al 50%. Los tratamientos fueron: T1: 30 días-50%; T2: 60 días-50%; T3: 30 días-100%; T4: 60 días-100% y T5: manejo convencional (Control). El manejo convencional consistió en labores culturales tales como el control mecánico de malezas, podas de mantenimiento (marca Husqvarna) y eliminación de mazorcas enfermas.

Cada una de las parcelas se estableció como un bloque y se dividió en 15 lotes con seis plantas cada uno, por lo que cada tratamiento se repitió tres veces dentro de cada bloque. Cada planta dentro de los tratamientos constituyó una unidad de observación, en la que se evaluaron las variables agronómicas.

Las variables agronómicas evaluadas fueron el número de mazorcas enfermas asociadas al patógeno *Moniliophthora roreri* (moniliasis), incidencia de *M. pernicioso* (escoba de bruja vegetativa) y nutrientes foliares tales como fósforo, calcio, potasio, magnesio, hierro, manganeso, cobre y zinc. Las evaluaciones de los nutrientes se realizaron antes y después de la aplicación del abono líquido orgánico.

Evaluación in situ de enfermedades asociadas a *Moniliophthora roreri* y *M. pernicioso*

Para la evaluación in situ de la enfermedad asociada al patógeno fúngico de *M. roreri* se procedió a contabilizar las mazorcas que presentaron los síntomas de la enfermedad en cada una de las unidades de observación. Mientras que para evaluar a *M. pernicioso* se contabilizaron las escobas vegetativas presentes en cada unidad de análisis.

Evaluación de nutrientes foliares

En cada una de las parcelas se tomaron muestras foliares antes y después de la aplicación de los tratamientos para realizar el análisis de macro y micronutrientes en tejidos mediante ICP-OES. Para los análisis se tomaron mues-

tras frescas de tejidos de hojas y se procedió a emplear el método de digestión con HNO₃. Los macronutrientes evaluados fueron fósforo, potasio, calcio y magnesio y los micronutrientes fueron hierro, manganeso, cobre y zinc. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de suelos y nutrición vegetal de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Análisis de datos

Se analizaron los datos empleando el análisis de varianza mediante el programa estadístico InfoStat versión 2020. Los datos relacionados con la evaluación de las enfermedades fúngicas se transformaron mediante logaritmo de base 10 (x+1). Cuando los datos presentaron diferencias significativas se procedió a aplicar la prueba de rangos múltiples de Duncan con un nivel de significancia estadística de p<0.05.

Resultados y discusión

Evaluación in situ de *M. pernicioso* y *M. roreri*

Los resultados en relación a la evaluación de las enfermedades asociadas a *M. pernicioso* demostraron efectos significativos en los tratamientos antes y después de la aplicación del abono líquido foliar. De entre las parcelas evaluadas, los mejores resultados se presentaron en Pampants en los tratamientos T1 y T2 quienes mostraron diferencias significativas con una reducción del 100% de escobas de brujas vegetativas (Fig. 2). Tanto el T1 y el T2 mostraron una reducción del 17,14% más efectiva con relación al control.

Con relación a los resultados de la evaluación de *M. roreri* el mejor tratamiento se presentó en el T1 quien mostró diferencias significativas después de la aplicación del abono líquido orgánico con una reducción de la enfermedad del 50% (Fig. 3). Sin embargo, los resultados evidenciaron resultados no significativos en el resto de tratamientos con relación al control.

La aplicación foliar de abonos líquidos orgánicos puede ser beneficiosas en la planta. Es posible que rociar las hojas con biofertilizantes elaborados con bacterias tengan una acción positiva en la superficie foliar, debido a la colonización de microorganismos beneficiosos¹⁶. La aplicación de bacterias del género *Bacillus sp.* en combinación con podas

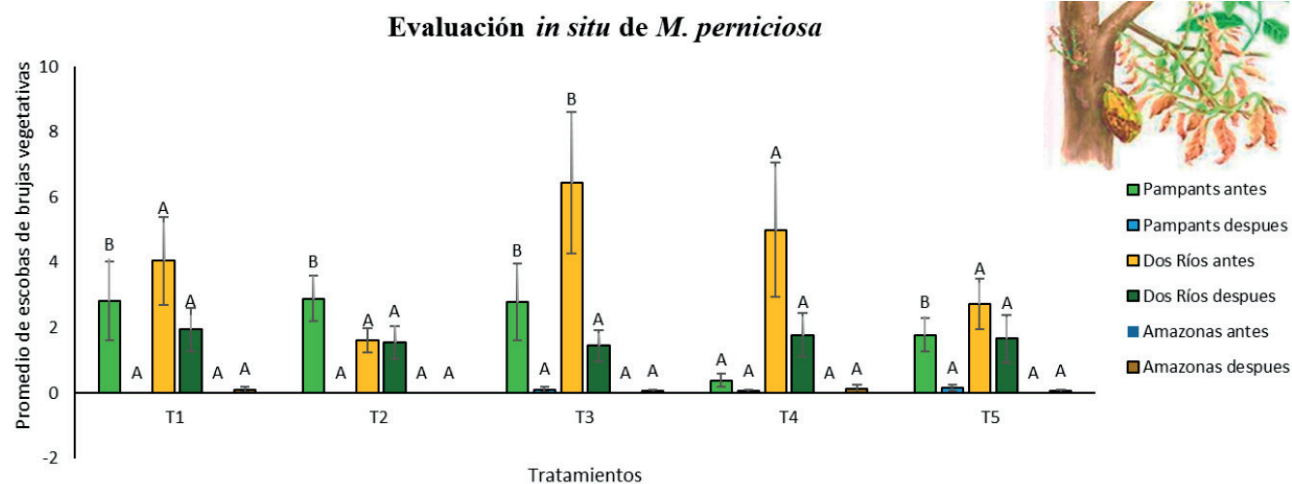


Figura 2. Evaluación in situ de *M. pernicioso* comparando antes y después de la aplicación del abono foliar orgánico en cada uno de los tratamientos y parcelas demostrativas. Letras diferentes encima de las barras indican diferencias estadísticamente significativas, según el test de Duncan (p<0.05).

Evaluación *in situ* de *M. roreri*

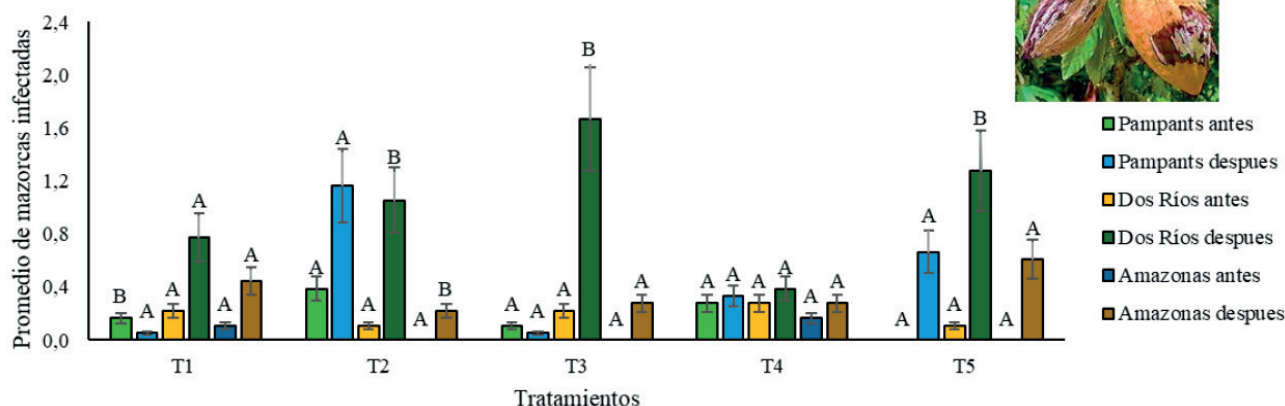


Figura 3. Evaluación *in situ* de *M. roreri* comparando antes y después de la aplicación del abono foliar orgánico en cada uno de los tratamientos y parcelas demostrativas. Letras diferentes encima de las barras indican diferencias estadísticamente significativas, según el test de Duncan ($p < 0.05$).

adecuadas reduce significativamente la incidencia de *M. roreri* en cultivo de cacao¹⁷, por lo que el uso de productos biológicos es una alternativa alentadora en el control de enfermedades tales como la moniliasis¹⁸. Tales aseveraciones han sido evaluadas en condiciones de campo demostrando la efectividad de los antagonistas microbianos contra los patógenos fúngicos de *Theobroma cacao* L.^{19,20}.

En general, las evaluaciones *in situ* evidenciaron diferencias significativas positivas en el control biológico relacionada con *M. roreri* y *M. pernicioso* aplicando el tratamiento de aplicaciones de 30 días diluido al 50% frente al control convencional. En un estudio experimental en campo, se ha informado que la aplicación de abonos líquidos en la hoja, afecta positivamente la nutrición y biocontrol, sin comprometer la calidad de los frutos^{21,22}. Sin embargo, el control biológico puede verse afectado por componentes inherentes al cultivo de cacao tales como la edad de las plantas, presencia de plagas, fertilidad de los suelos y factores climáticos²³. Por lo que investigadores mencionan la importancia de la respuesta del cultivo de cacao a la dosificación, número de aplicaciones y frecuencia de aplicación de los abonos líquidos foliares¹⁵.

Las estrategias de manejo integrado combinando productos químicos y biológicos puede aumentar la producción²⁴, por lo que es importante desarrollar nuevas formulaciones biológicas que tomen en cuenta la efectividad de los microorganismos y los tiempos de aplicación²⁵. La superficie foliar de las plantas es un ambiente heterogéneo para las interacciones de diversas comunidades de microorganismos²⁶. Esta microbiota foliar contiene organismos que le brindan protección contra los patógenos²⁷, por lo que bacterias, hongos y virus han sido empleados con éxito como bioestimulantes y agentes de control biológico en la agricultura²⁸.

Macronutrientes

En base a la evaluación de los macronutrientes en la hoja del cultivo de cacao fino de aroma, es posible indicar que existe un efecto positivo después de la aplicación del abono líquido orgánico en los elementos de fósforo y potasio. El promedio ponderado del fósforo incrementó de 0,17 a 0,21 mg/kg, mientras que el potasio pasó de 1,49 a 2,22 cmol/kg. Sin embargo, los resultados para el calcio evidenciaron diferencias significativas en contra a la aplicación del abono líquido, con promedios de 1,67 a 1,07. Mientras que

en el magnesio no se visualizan diferencias significativas antes y después de la aplicación (Figura 4).

Micronutrientes

Los resultados en micronutrientes demuestran que la aplicación del abono líquido afectó significativamente al cobre, con promedios que fueron de 9,39 a 14,86 mg/kg. Mientras que el hierro presentó resultados que evidencian disminución en las hojas después de la aplicación, con promedios que fueron de 74,62 a 44,59 mg/kg. Finalmente, el uso del abono líquido no afectó significativamente a los elementos de manganeso y zinc (Figura 5).

Las investigaciones en el campo nutricional agrícola, reportan el efecto positivo de la fertilización foliar en la traslocación de los macro y micronutrientes (6). Los resultados de este estudio evidenciaron el efecto positivo de la aplicación del abono líquido sobre el aumento de las concentraciones foliares de macro y micronutrientes, tales como fósforo, potasio y cobre. Estos resultados se relacionan con un estudio desarrollado en *Brassica napus*, donde la aplicación foliar de una combinación de cepas de *Pseudomonas* y *Azospirillum* se correlacionaban positivamente con el aumento de los elementos de potasio y fósforo²⁹. Por otro lado, los resultados de esta investigación no evidencian aumentos significativos en otros nutrientes como hierro, calcio y magnesio. Esto puede atribuirse a las condiciones ambientales y efectos del cambio climático³⁰, tal como lo indican estudios sobre la aplicación de biofertilizantes en el crecimiento y contenido de nutrientes en plantas bajo condiciones ambientales diversas³¹.

Las investigaciones sugieren que la aplicación del abonos foliares promueven el crecimiento³², incluyendo la producción de ácido indol-3-acético, fosfato orgánico, sideróforos, exopolisacáridos y actividad nitrogenasa³³. Así mismo los productos derivados de los microorganismos tales como los sideróforos pueden ayudar a captar y distribuir los nutrientes en la superficie foliar de la planta^{34,35}, capaces de mejorar la adquisición de nutrientes³⁶.

Conclusiones

Por los resultados en este estudio, es posible concluir que la aplicación de un abono líquido orgánico aplicado en el cultivo *in situ* de cacao nacional fino de aroma puede

Evaluación foliar de macronutrientes antes y después de la aplicación de biol

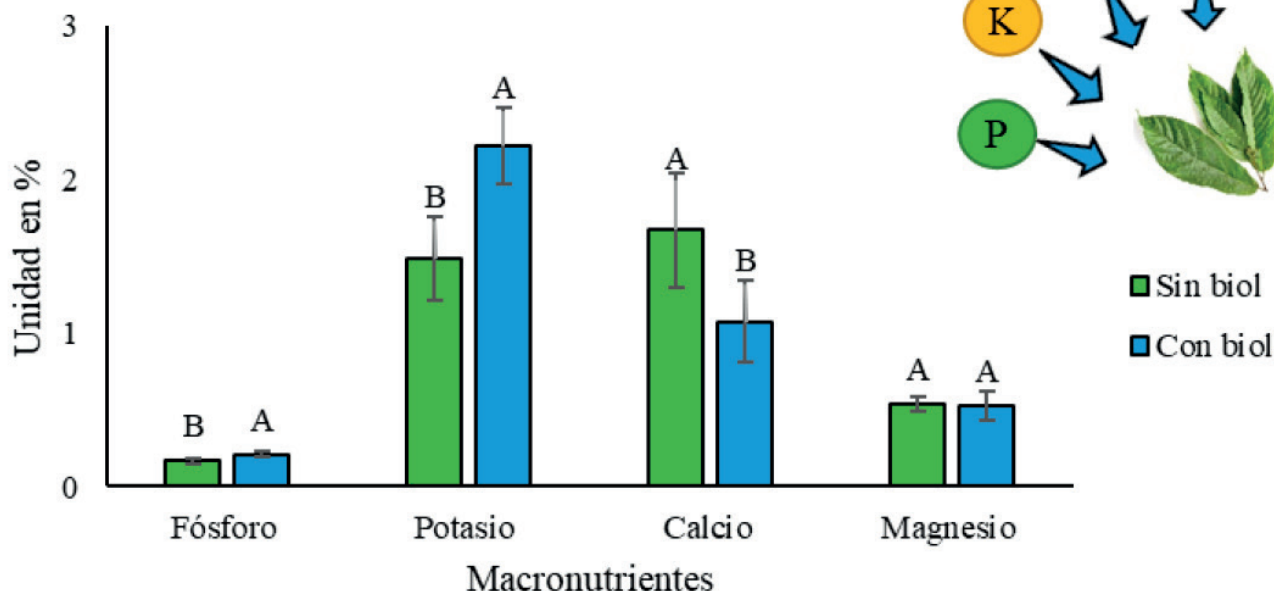


Figura 4. Comparación de medias $\pm$ desviación estándar de los macronutrientes en la parte foliar de las plantas de cacao fino de aroma en las parcelas demostrativas antes y después de la aplicación de los tratamientos con el abono líquido orgánico. Letras diferentes encima de las columnas indican diferencias estadísticamente significativas, según el test de Duncan ($p < 0.05$).

Evaluación foliar de micronutrientes antes y después de la aplicación de biol

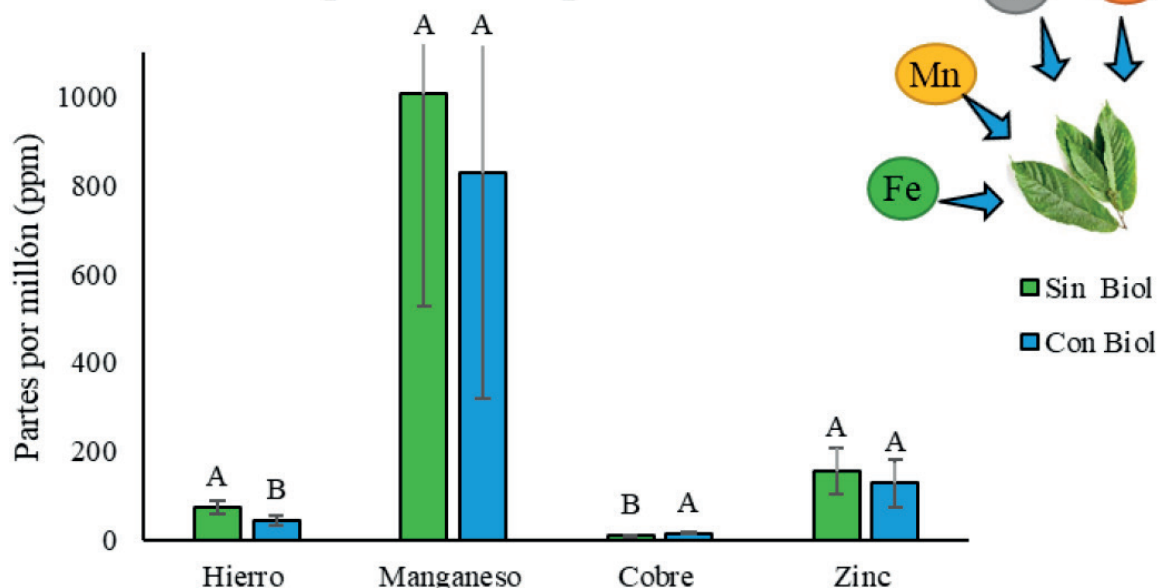


Figura 5. Comparación de medias $\pm$ desviación estándar de los micronutrientes en la parte foliar de las plantas de cacao fino de aroma en las parcelas demostrativas antes y después de la aplicación de los tratamientos con el abono líquido orgánico. Letras diferentes encima de las columnas indican diferencias estadísticamente significativas, según el test de Duncan ($p < 0.05$).

favorecer la nutrición de las plantas, así como el control de patógenos fúngicos. Por lo que las preparaciones líquidas podrían emplearse como parte de un plan de manejo integrado, reduciendo la dependencia excesiva de químicos.

El desarrollo de nuevas formulaciones biológicas apli-

cados en la superficie foliar, así como el uso de herramientas genómicas para potenciar cepas microbiológicas están abriendo nuevas posibilidades para una agricultura más equilibrada³⁷. Por lo que las futuras investigaciones deben ser más holísticas y relacionar aspectos que son claves

para una producción más sostenible y sustentable, relacionando los microorganismos, la agricultura, el cambio climático y la nutrición³⁸.

Agradecimientos

Los autores desean expresar sus agradecimientos a Jhonny España, David Catagua, Leonardo León, Byron Moyano, Ronald León y Víctor Hernández por su arduo trabajo en la recolección de datos de campo. La presente investigación se encuentra en el contrato marco MAE-DNB-CM-2017-077 del proyecto "Aislamiento, identificación y caracterización de microorganismos benéficos asociados al cultivo del cacao y su potencial como agentes de control biológico".

Referencias bibliográficas

- Burritt DJ. Crop plant adaption to climate change and extreme environments. In: Melton L, Shahidi F, Varelis P, editors. Encyclopedia of Food Chemistry. Oxford: Academic Press; 2019. p. 196–201.
- Rasmussen LV, Coolsaet B, Martin A, Mertz O, Pascual U, Corbera E, et al. Social-ecological outcomes of agricultural intensification. *Nat Sustain*. 2018 Jun;1(6):275–82.
- de Graaff MA, Hornslein N, Throop HL, Kardol P, van Diepen LTA. Chapter One - Effects of agricultural intensification on soil biodiversity and implications for ecosystem functioning: A meta-analysis. In: Sparks DL, editor. *Advances in Agronomy*. Academic Press; 2019. p. 1–44.
- Quevedo A, Magdama F, Castro J, Vera-Morales M. Interacciones ecológicas de los hongos nematófagos y su potencial uso en cultivos tropicales. *Scientia Agropecuaria*. 2022 Mar 28;13(1):97–108.
- Karthika KS, Rashmi I, Parvathi MS. Biological functions, uptake and transport of essential nutrients in relation to plant growth. In: Hasanuzzaman M, Fujita M, Oku H, Nahar K, Hawrylak-Nowak B, editors. *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance* [Internet]. Singapore: Springer; 2018 [cited 2022 Aug 6]. p. 1–49. Available from: https://doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8_1
- Moreira A, Moraes LAC. Yield, nutritional status and soil fertility cultivated with common bean in response to amino-acids foliar application. *Journal of Plant Nutrition*. 2017 Feb 7;40(3):344–51.
- Fernández V, Brown PH. From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar-applied nutrients. *Front Plant Sci*. 2013 Jul 31;4:289.
- Noreen S, Fatima Z, Ahmad S, Athar H ur R, Ashraf M. Foliar application of micronutrients in mitigating abiotic stress in crop plants. In: Hasanuzzaman M, Fujita M, Oku H, Nahar K, Hawrylak-Nowak B, editors. *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance* [Internet]. Singapore: Springer; 2018 [cited 2022 Aug 6]. p. 95–117. Available from: https://doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8_3
- Zubair M, Wang S, Zhang P, Ye J, Liang J, Nabi M, et al. Biological nutrient removal and recovery from solid and liquid livestock manure: Recent advance and perspective. *Bioresource Technology*. 2020 Apr 1;301:122823.
- Martínez-Alcántara B, Martínez-Cuenca MR, Fernández C, Legaz F, Quiñones A. Production of ¹⁵N-Labelled liquid organic fertilisers based on manure and crop residue for use in fertigation studies. *PLOS ONE*. 2016 Mar 16;11(3):e0150851.
- Fahrurrozi F, Muktamar Z, Setyowati N, Sudjatmiko S, Chozin M. Comparative effects of soil and foliar applications of tithonia-enriched liquid organic fertilizer on yields of sweet corn in closed agriculture production system. *AGRIVITA, Journal of Agricultural Science*. 2019 May 28;41(2):238–45.
- Kannan S. Foliar Fertilization for Sustainable Crop Production. In: Lichtfouse E, editor. *Genetic Engineering, Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming* [Internet]. Dordrecht: Springer Netherlands; 2010 [cited 2022 Sep 28]. p. 371–402. (de Reseñas de Agricultura Sostenible). Available from: https://doi.org/10.1007/978-90-481-8741-6_13
- Muñoz D, Cuenca C, Banchón CL, Pazos G. Valoración de desechos de banano (*Musa acuminata* Cavendish Subgroup) y cacao (*Theobroma cacao*) mediante producción de compost y biol. 3c Tecnología: glosas de innovación aplicadas a la pyme. 2020;9(1):17–29.
- ICCO. Production of cocoa beans. ICCO Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics [Internet]. 2021 [cited 2021 Apr 5];47(1). Available from: <https://www.icco.org/statistics/>
- Corrales DO, Maldonado C. Aplicación de biofertilizantes en plantines de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Sapecho - Alto Beni. *Apthapi*. 2019 Dec 25;5(3):1646–51.
- Wang D, Deng X, Wang B, Zhang N, Zhu C, Jiao Z, et al. Effects of foliar application of amino acid liquid fertilizers, with or without *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9, on cowpea yield and leaf microbiota. *PLoS One*. 2019 Sep 4;14(9):e0222048.
- Pilalao W, Alvarado A, Pérez D, Torres S. Manejo agroecológico de la Moniliasis en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) mediante la utilización de biofungicidas y podas fitosanitarias en el cantón La Troncal. *Revista Alfa*. 2021 Dec 13;5(15):453–68.
- Anzules V, Borjas R, Alvarado L, Castro-Cepero V, Julca-Otiniano A. Control cultural, biológico y químico de *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora* spp en *Theobroma cacao* 'CCN-51.' *Scientia Agropecuaria*. 2019 Oct;10(4):511–20.
- Villamil JE, Viteri SE, Villegas WL. Aplicación de antagonistas microbianos para el control biológico de *Moniliophthora roreri* Cif & Par en *Theobroma cacao* L. bajo condiciones de campo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*. 2015 Jan 1;68(1):7441–4750.
- Ferraz P, Cássio F, Lucas C. Potential of yeasts as biocontrol agents of the phytopathogen causing cacao witches' broom disease: is microbial warfare a solution? *Frontiers in Microbiology*. 2019;10.
- Naidu Y, Meon S, Siddiqui Y. Foliar application of microbial-enriched compost tea enhances growth, yield and quality of muskmelon (*Cucumis melo* L.) cultivated under fertigation system. *Scientia Horticulturae*. 2013 Jul 30;159:33–40.
- Naidu Y, Meon S, Siddiqui Y. In vitro and in vivo evaluation of microbial-enriched compost tea on the development of powdery mildew on melon. *BioControl*. 2012;57(6):827–36.
- Fuentes CM. Efecto del manejo en la reducción de incidencia de enfermedades (Moniliasis, Escoba de Bruja y Mazorca Negra) en el cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Estación Experimental de Sapecho. *Apthapi*. 2015;1(1).
- Anzules-Toala V, Pazmiño-Bonilla E, Alvarado-Huamán L, Borjas-Ventura R, Castro-Cepero V, Julca-Otiniano A. Control of cacao (*Theobroma cacao*) diseases in Santo Domingo de los Tsachilas, Ecuador. *Agronomía Mesoamericana*. 2022;33(1):1–12.
- Krauss U, Hidalgo E, Bateman R, Adonijah V, Arroyo C, García J, et al. Improving the formulation and timing of application of endophytic biocontrol and chemical agents against frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) in cocoa (*Theobroma cacao*). *Biological Control*. 2010 Sep 1;54(3):230–40.
- Aragón W, Reina-Pinto JJ, Serrano M. The intimate talk between plants and microorganisms at the leaf surface. *Journal of Experimental Botany*. 2017 Nov 9;68(19):5339–50.
- Bulgarelli D, Schlaeppi K, Spaepen S, van Themaat EVL, Schulze-Lefert P. Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. *Annual Review of Plant Biology*. 2013;64(1):807–38.
- Preininger C, Sauer U, Bejarano A, Berninger T. Concepts and applications of foliar spray for microbial inoculants. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2018 Sep 1;102(17):7265–82.
- Farhangi-Abri S, Tavasolee A, Ghassemi-Golezani K, Torabian S, Monirifar H, Rahmani HA. Growth-promoting bacteria and natural regulators mitigate salt toxicity and improve rapeseed plant performance. *Protoplasma*. 2020 Jul 1;257(4):1035–47.

30. Soares JC, Santos CS, Carvalho SMP, Pintado MM, Vasconcelos MW. Preserving the nutritional quality of crop plants under a changing climate: importance and strategies. *Plant Soil*. 2019 Oct 1;443(1):1–26.
31. Hu Y, Burucs Z, Schmidhalter U. Effect of foliar fertilization application on the growth and mineral nutrient content of maize seedlings under drought and salinity. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2008 Feb 1;54(1):133–41.
32. Olivares FL, Aguiar NO, Rosa RCC, Canellas LP. Substrate biofortification in combination with foliar sprays of plant growth promoting bacteria and humic substances boosts production of organic tomatoes. *Scientia Horticulturae*. 2015 Feb 12;183:100–8.
33. Abadi VAJM, Sepehri M, Rahmani HA, Zarei M, Ronaghi A, Taghavi SM, et al. Role of dominant phyllosphere bacteria with plant growth-promoting characteristics on growth and nutrition of maize (*Zea mays* L.). *J Soil Sci Plant Nutr*. 2020 Dec 1;20(4):2348–63.
34. Fernández V, Ebert G, Winkelmann G. The use of microbial siderophores for foliar iron application studies. *Plant Soil*. 2005 May 1;272(1):245–52.
35. Sharma S, Chandra S, Kumar A, Bindraban P, Saxena AK, Pande V, et al. Foliar application of iron fortified bacteriosiderophore improves growth and grain Fe concentration in wheat and soybean. *Indian J Microbiol*. 2019 Sep;59(3):344–50.
36. Hafezi MM, Azari A, Rahimi A, Maddah-Hosseini S, Ahmadi-Lahijani MJ. Bacterial siderophore improves nutrient uptake, leaf physiochemical characteristics, and grain yield of cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes. *Journal of Plant Nutrition*. 2021 Jul 21;44(12):1794–806.
37. Glare TR, O'Callaghan M. Microbial biopesticides for control of invertebrates: Progress from New Zealand. *Journal of Invertebrate Pathology*. 2019 Jul 1;165:82–8.
38. Fanzo J, Davis C, McLaren R, Choufani J. The effect of climate change across food systems: Implications for nutrition outcomes. *Global Food Security*. 2018 Sep 1;18:12–9.