



Fertilización foliar complementaria mejora el rendimiento, sanidad y rentabilidad del cacao en agroecosistemas de secano

Complementary foliar fertilization improves the yield, health and profitability of cocoa in rainfed agroecosystems

Erick Humberto Bravo Palma¹
Galo Alexander Cedeño García²
Jessenia Rosanna Castro Olaya³
George Alexander Cedeño-García⁴



DOI: <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n3.2022.14569>

RESUMEN: La fertilización foliar permite complementar la nutrición de los cultivos bajo condiciones limitantes del suelo y clima. El objetivo de la investigación fue evaluar la efectividad de la nutrición foliar complementaria en el rendimiento, sanidad y rentabilidad del cacao nacional bajo condiciones de secano. Los tratamientos evaluados fueron fertilización foliar con NPK (T1), macro y micronutrientes + tierra de diatomeas (T2), macro y micronutrientes + fitorreguladores + tierra de diatomeas (T3), macro y micronutrientes + fitorreguladores + aminoácidos + tierra de diatomeas (T4), fertilización edáfica NPK (T5) y tratamiento control (T6). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con cuatro replicas y 24 unidades experimentales. Las principales variables registradas fueron incidencia de mazorcas enfermas (IME), rendimiento de grano seco (RGS) y beneficio económico neto (BEN). Los datos se analizaron con ANOVA y prueba de medias de Tukey ($\alpha = 0,05$). Los resultados indicaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) para la IME y el RGS. El tratamiento T4 alcanzó el menor IME con el 40,87%, en relación al tratamiento control que mostró una IME del 65,02%. De forma similar, el tratamiento T4 logró el mayor RGS con 1395 kg ha⁻¹, que representó un incremento del 13,41, 20,28, 35,85, 41,37 y 57,39%, en comparación a los tratamientos T3, T2, T1, T5 y T6, respectivamente. El tratamiento T4 también logró el mayor BEN con 802 USD ha⁻¹, en comparación al resto de tratamientos evaluados. Se concluye que la fertilización foliar complementaria es viable económicamente para el cacao nacional en agroecosistemas de secano.

PALABRAS CLAVE: *Theobroma cacao*; Nutrición Foliar; Productividad; Estado Sanitario; Beneficio Económico

ABSTRACT: Foliar fertilization allows supplementing crop nutrition under limiting soil and climate conditions. The aim of the research was to evaluate the effectiveness of complementary foliar nutrition on the yield, health and profitability of national cocoa under rainfed conditions. The treatments evaluated were foliar fertilization with NPK (T1), macro and micronutrients + diatomaceous earth (T2), macro and micronutrients + phytochemicals + diatomaceous earth (T3), macro and micronutrients + phytochemicals + amino acids + diatomaceous earth (T4), NPK soil fertilization (T5) and control treatment (T6). A randomized complete block design was used, with four replicates and 24 experimental units. The main variables recorded were incidence of diseased ears (IDE), dry grain yield (DGY) and net economic benefit (NEB). Data were analyzed with ANOVA and Tukey's test of means ($\alpha = 0.05$). The results indicated significant statistical differences ($p < 0.05$) for the IDE and the DGY. The T4 treatment reached the lowest IDE with 40.87%, in relation to the control treatment that showed an IDE of 65.02%. Similarly, treatment T4 achieved the highest DGY with 1395 kg ha⁻¹, which represented an increase of 13.41, 20.28, 35.85, 41.37 and 57.39%, compared to treatments T3, T2, T1, T5 and T6, respectively. The T4 treatment also achieved the highest NEB with 802 USD ha⁻¹, compared to the rest of the treatments evaluated. It is concluded that complementary foliar fertilization is economically viable for national cocoa in rainfed agroecosystems.

KEYWORDS: *Theobroma cacao*; Foliar Nutrition; Productivity; Health Status; Economic Benefit

FECHA DE RECEPCIÓN: 08 de julio de 2022 **FECHA DE ACEPTACIÓN:** 28 de julio de 2022

COMO CITAR: Bravo Palma, E. H., Cedeño García, G., Castro Olaya, J. R., & Cedeño-García, G. A. (2022). Fertilización Foliar Complementaria Mejora El Rendimiento, Sanidad Y Rentabilidad Del Cacao En Agroecosistemas De Secano. *Ciencia y Agricultura*, 19(3): 17-31. <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n3.2022.14569>

- I.A. Instituto de Postgrado, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador. ebravo4114@utm.edu.ec;
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6036-598X>
- MSc. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta, Ecuador. gcedeno@espam.edu.ec;
 ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0927-5807>
- PhD. Departamento de Agronomía, Universidad Técnica de Manabí. Santa Ana, Ecuador. jessenia.castro@utm.edu.ec;
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3415-4318>
- PhD. Departamento de Agronomía, Universidad Técnica de Manabí. Santa Ana, Ecuador. george.cedeno@utm.edu.ec;
 ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8271-5752>

INTRODUCCIÓN

Ecuador es el primer productor mundial de cacao fino de aroma, genera empleo para unas 100 000 familias de productores, donde el 80% cultiva menos de 10 ha, un 15% entre 10 y 20 ha, y un 5% posee más de 20 ha (Vasallo, 2015). En la cadena del cacao participan otras 20 000 familias, lo cual indica que alrededor de 600 000 personas dependen del cultivo de cacao (Barrera et al., 2019). A nivel global, la producción de cacao enfrenta diversos retos como limitado desarrollo tecnológico, crisis climática, problemas fitosanitarios, restricciones por metales pesados, escasez de mano de obra, entre otros (Lahive et al., 2019; Antolínez et al., 2020; Suárez-Parra et al., 2022). La principal problemática del cultivo a nivel local es la baja productividad, con promedios de producción de $0,37 \text{ t ha}^{-1}$, debido a varios factores como: bajo nivel tecnológico, plantaciones envejecidas, alta incidencia de enfermedades, alta vulnerabilidad por crisis climática, limitada estructura de riego y deficiencias nutricionales en la mayoría de suelos cacaoteros (Motato y Pincay, 2015; Pérez et al., 2018; Barrera et al., 2019; Macías et al., 2019).

Entre las problemáticas descritas anteriormente, la inadecuada nutrición del cultivo y falta de riego durante la época seca es tal vez uno de los factores que más limita el rendimiento del cacao, pues según Barrera et al. (2019) solo el 28,76 y 19,95 % de productores realiza alguna fertilización y labor de riego, respectivamente, y únicamente el 1,80% efectúa el análisis de suelo. Por otra parte, según Motato y Pincay (2015) mencionan que gran parte de suelos cacaoteros de Manabí, presentan bajos contenidos de MO, N, S, Zn y B, lo cual, sumado a una inadecuada fertilización y falta de riego, no permite potenciar el rendimiento y rentabilidad del cultivo, más aún cuando el 83% de las precipitaciones se concentran entre enero y abril, lo cual indica que la mayor parte del año el cacao sufre déficit hídrico (Pérez et al., 2018).

En este contexto, es bien conocido que, desde el punto de vista fisiológico, los nutrientes esenciales necesitan una adecuada humedad del suelo para movilizarse hacia las raíces y luego dentro de la planta, de lo contrario se presentará deficiencia nutricional (Shiferaw et al., 2017; Plett et al., 2020; Neenu y Ramesh, 2020). La deficiencia de nutrientes conlleva a desórdenes fisiológicos que afecta la producción, dado que estos cumplen funciones fisiológicas específicas en los procesos de fotosíntesis, respiración y síntesis de fitohormonas implicadas en el crecimiento, desarrollo y producción de cultivos (De Bang et al., 2021; Sherefu y Zewide, 2021). Además, se ha determinado que una nutrición equilibrada contribuye a mejorar los mecanismos de defensa de las plantas hacia enfermedades (Nadeem et al., 2018).

La fertilización foliar complementa la fertilización edáfica y así las necesidades nutricionales de los cultivos en circunstancias específicas, donde existe demanda de la planta y el suplemento edáfico no es suficiente (Niu et al., 2020; Zahed et al., 2021). La fertilización foliar, dependiendo de los nutrientes

minerales y biomoléculas que se usen, favorecen la floración y fructificación del cacao (Erwiyono et al., 2006; Kouadio et al., 2017), y contribuyen a la reducción del nivel de daño ocasionado por patógenos (Kouadio et al., 2017; Priyono et al., 2020). Con estos antecedentes, y considerando la limitada información de experiencias previas de fertilización foliar en cacao a nivel local, se planteó evaluar la efectividad de la nutrición foliar complementaria en el rendimiento, sanidad y rentabilidad del cacao nacional bajo condiciones de secano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización de la investigación

El trabajo se desarrolló entre octubre de 2020 y septiembre de 2021 en el sitio Las Lajas del cantón Flavio Alfaro, Manabí, situado geográficamente a 0°23'36.01" de latitud Sur y 79°51'52.20" de longitud Oeste, a una altitud de 159 m.s.n.m., con humedad relativa promedio de 86%, temperatura y precipitación media anual de 25,4 °C y 1124 mm, respectivamente. La precipitación de la zona tiene un comportamiento unimodal que se desarrolla desde enero a junio. El suelo del sitio experimental fue clasificado como Mollic Hapludalfs, de formación borbón, con relieve topográfico inclinado y geomorfología de vertiente. Según el sistema de clasificación de ecosistemas del Ecuador continental, el ensayo se localizó dentro del bosque siempreverde estacional piemontano de cordillera costera del pacífico ecuatorial (MAE, 2013). Las características físico-químicas del suelo se describen en la tabla I.

TABLA I. Características físico-químicas del suelo

Parámetro	Unidad	Valor
N	mg kg ⁻¹	30,00
P	mg kg ⁻¹	22,00
K	cmol _c kg ⁻¹	0,83
Ca	cmol _c kg ⁻¹	17,00
Mg	cmol _c kg ⁻¹	5,30
S	mg kg ⁻¹	13,00
Zn	mg kg ⁻¹	2,20
Cu	mg kg ⁻¹	7,90
Fe	mg kg ⁻¹	42,00
Mn	mg kg ⁻¹	9,50
B	mg kg ⁻¹	0,50
M.O.	%	3,20
pH	-log[H ⁺]	6,20
Textura	Franco-arcillosa (%)	arena (30) – limo (40) – arcilla (30)
Densidad aparente	g cm ⁻³	1,15

Material vegetal

Se utilizó una plantación de cacao de 10 años de edad, perteneciente al complejo genético nacional y conformada por cultivares de origen desconocido. La plantación se encuentra establecida con un porcentaje de sombra del 30%, y a un distanciamiento de 3 x 4 m entre plantas e hileras, respectivamente, con densidad de 833 plantas ha⁻¹.

Tratamientos, diseño y unidad experimental

TABLA II. Tratamientos de cocteles foliares

Tratamientos	Descripción de tratamientos
T ₁	Foliar con NPK
T ₂	Foliar con Macro + Micronutrientes + Tierra de diatomeas (TD)
T ₃	Foliar con Macro + Micronutrientes + Fitorreguladores + TD
T ₄	Foliar con Macro + Micronutrientes + Fitorreguladores + Aminoácidos + TD
T ₅	Fertilización edáfica básica NPK
T ₆	Tratamiento control

Todos los tratamientos, a excepción del control, recibieron la fertilización edáfica básica NPK que aplican los agricultores de la zona al inicio de la época de lluvias (enero), donde se utilizó el fertilizante 15-15-15 en dosis de 150 g planta⁻¹.

El experimento se estableció con un diseño de bloques completos al azar con seis tratamientos, cuatro replicas y 24 unidades experimentales. La unidad experimental se conformó por parcelas de 25 plantas, donde el registro de datos se efectuó en las nueve plantas centrales.

Fuentes, dosis y aplicación de tratamientos

Las fuentes foliares utilizadas fueron un fertilizante complejo NPK, un fertilizante complejo con macro y micronutrientes, un fitorregulador y un bioestimulante a base de aminoácidos. Además en los tratamientos T2, T3 y T4, se incluyó la tierra de diatomeas (TD) como potenciador de la nutrición y sanidad vegetal. En la tabla III, se detalla la composición y dosis utilizada de cada producto por aplicación. En total se realizaron ocho aplicaciones de tratamientos foliares, debido a que se presentaron dos picos de floración y fructificación durante el año. En cada pico de floración-fructificación se realizaron cuatro aplicaciones cada 21 días, las cuales se efectuaron en horas de la mañana (6 – 8 am) con la finalidad de aprovechar menores temperaturas, radiación y mayor humedad relativa, que promueve mayor apertura estomálica y tasas de penetración de los nutrientes por el tejido foliar. La aplicación de los fertilizantes foliares se realizó con una bomba motorizada de espalda

marca STIHL SR-420, con un volumen de 200 L de agua ha⁻¹. Además, a la mezcla del agua con el coctel nutricional se agregó un coadyuvante activador no-iónico en dosis de 250 mL por 200 litros de agua, con el fin de asegurar una mayor adhesión y absorción de los nutrientes por el tejido foliar. Finalmente, para evitar la deriva y traslape de tratamientos foliares entre parcelas, se utilizaron pantallas plásticas al momento de la aplicación.

TABLA III. Composición y dosis utilizada de cada producto por aplicación.

Tratamientos	Fuentes foliares	Nutriente/molécula	Dosis/aplicación/ha
T1	Fertilizante complejo NPK	N (18%), P ₂ O ₅ (18%), K ₂ O (18%)	1,50 kg
T2*	Fertilizante complejo con macro y micronutrientes	N (18%), P ₂ O ₅ (18%), K ₂ O (18%), MgO (0,6%), S (0,5%), Mn (200 ppm), Fe (400 ppm), Zn (200 ppm), B (100 ppm), Cu (100 ppm), Mo (100 ppm)	1,50 kg
T3*	Fertilizante complejo	Lo mismo que el T2	1,50 kg
	Fitoregulador	ANA (110 ppm), AIA (2000 ppm), Giberelina (2000 ppm), Citoquinina (1000 ppm), Ácido fólico (1000 ppm), Cisteína (2000 ppm), otros bioactivadores (100 ppm)	0,25 L
T4*	Fertilizante complejo con macro y micronutrientes	Lo mismo que el T2	1,50 kg
	Fitoregulador	Lo mismo que el T3	0,25 L
	Aminoácidos	Ácido aspártico (0,91%), Ácido glutámico (1,67%), Serina (0,20%), Histidina (0,57%), Treonina (1,29%), Glicina (3,52%), Arginina (0,08%), Alanine (1,72%), Tirosina (0,51%), Valina (0,57%), Metionina (0,24%), Fenil alanina (0,42%), Isoleucina (0,40%), Leucina (0,59%), Lisina (0,44%)	0,5 L
T5	Fertilización edáfica básica NPK		
T6	Control		

*En estos tratamientos se aplicó 1,0 kg de tierra de diatomeas

Variables respuesta y análisis de datos

Las variables registradas fueron número de mazorcas sanas, enfermas y cherrilles marchitos planta⁻¹. Estas variables se registraron durante los eventos de cosecha. La incidencia de mazorcas enfermas se determinó con la ecuación [1] descrita por Loor et al. (2016).

$$Incidencia (\%) = \frac{\text{Número de frutos enfermos}}{\text{Número de frutos colectados}} \times 100 \quad [1]$$

Además, se determinó el Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), con base a la incidencia de mazorcas enfermas. Esta variable se calculó integrando los rectángulos formados por el punto medio de la intensidad de la enfermedad (incidencia en %) alcanzada entre los tiempos en que se evaluó la enfermedad, lo cual se expresó con la ecuación descrita por Shaner y Finney (1977):

$$ABCPE = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(Y_{i+n1} Y_i)}{2} \right] * [X_{i+1} - X_i] \quad [2]$$

Donde:

Y_i = incidencia de mazorcas enfermas (en porcentaje) en la i-ésima observación

X_i = tiempo (en días) en la i-ésima observación

n = total de número de observaciones

Previo al ensayo se realizó una evaluación de la incidencia inicial de mazorcas enfermas, y a partir de este dato se calculó el ABCPE.

El rendimiento de grano seco se registró al final de la investigación, para lo cual se realizó la sumatoria del peso de granos sin maguey en kg cosechados por parcela y luego con la constante (100 – 40) con 7% de humedad, se transformó a rendimiento en kg ha⁻¹, esto según la metodología descrita por Loor et al. (2016). Los datos fueron sometidos a análisis de varianza al 5% de probabilidades de error y la prueba de separación de medias con Tukey al 5% de probabilidades de error. Además, se realizaron comparaciones ortogonales entre los promedios de los tratamientos de fertilización foliar y edáfica vs el tratamiento control. El beneficio económico neto de la fertilización foliar se cuantificó con la metodología propuesta por Duicela y Ponce (2015). Para esto se estimaron los costos que varían por tratamiento (CqV), que estuvieron en función de los fertilizantes foliares y aplicaciones. En el tratamiento control el costo que varía es cero (CqV = 0). Con los datos de rendimiento en quintales que es la unidad comercial a nivel local (qq ha⁻¹) y precio unitario del quintal (USD qq⁻¹) se calcularon los ingresos totales. Con la diferencia entre los rendimientos de los tratamientos foliares y el control, se estimaron los incrementos de los ingresos. Con los incrementos de los costos e ingresos se calcularon los beneficios netos.

Manejo específico del experimento

Previo al establecimiento del experimento se realizó una poda de mantenimiento y todas las plantas fueron despojadas de sus frutos, con la finalidad de evitar sesgo de datos. La fertilización edáfica básica NPK, se incorporó en el suelo en tres hoyos alrededor de cada planta. El control de malezas se hizo con ayuda de una desbrozadora motorizada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tratamientos de fertilización foliar influyeron significativamente ($p < 0,05$) en la incidencia de mazorcas enfermas, el ABCPE y la cantidad de escobas de brujas vegetativas (Tabla IV). El índice de mazorcas enfermas, el ABCPE y la

cantidad de escobas vegetativas mostraron un comportamiento similar entre los tratamientos de fertilización foliar complementaria (T1, T2, T3, T4) y el tratamiento de fertilización edáfica (T5), pero diferente al tratamiento control (T6). Entre los tratamientos, se destacan el T2, T3 y T4, con menores niveles de daño en frutos y brotes vegetativos, lo cual puede deberse al efecto bioprotector de la TD que se incluyó en estos tratamientos, en relación a los tratamientos T1, T5 y T6 donde no se incluyó este nanomaterial silicatado (Tabla IV). En promedio los tratamientos de fertilización T1, T2, T3, T4 y T5, disminuyeron el número de frutos enfermos, ABCPE y número de escobas vegetativas en 32,76, 25,72 y 25,33%, respectivamente, con relación al tratamiento control (T6). Estos resultados indican que la fertilización de manera general, fortalece la planta ante el efecto negativo de enfermedades que afectan las mazorcas y brotes vegetativos del cacao.

En este contexto, Priyono et al. (2020) reportaron una reducción de hasta el 24% de la intensidad de enfermedades en cacao que recibió fertilización foliar con roca silicatada enriquecida con macro y micronutrientes. Por su parte, Kouadio et al. (2017) y Minyaka et al. (2018) determinaron que la fertilización con boro y sulfato de magnesio redujeron la gravedad de las enfermedades del virus del brote hinchado y la mazorca negra del cacao, respectivamente. Se ha propuesto que la tierra de diatomeas puede potenciar la salud de las plantas debido a que su nano-estructura porosa provee efecto fungistático y puede afectar las estructuras de patógenos por desecación (Constantinescu et al., 2020).

TABLA IV. Efecto de cocteles nutricionales foliares sobre la incidencia de mazorcas enfermas, ABCPE y escobas de bruja vegetativas por planta.

Tratamientos	Incidencia de mazorcas enfermas (%)	Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE)	Escobas de bruja vegetativas por planta
T1	45,81 a	5022,94 a	33,75 bc
T2	41,66 a	4648,99 a	26,70 ab
T3	43,63 a	4826,71 a	25,12 ab
T4	40,87 a	4577,98 a	21,72 a
T5	46,67 a	5999,63 a	32,75 bc
T6	65,02 b	6751,44 b	37,50 c
p-valor ANOVA	<0,0001	<0,0001	0,0006
C.V. %	8,54	6,85	14,03

T₁ = Fertilización foliar con NPK; T₂ = Fertilización foliar con macro y micronutrientes + Tierra de diatomeas; T₃ = Fertilización foliar con macro y micronutrientes + Fitorreguladores + Tierra de diatomeas; T₄ = Fertilización foliar con macro y micronutrientes + Fitorreguladores + Aminoácidos + Tierra de diatomeas; T₅ = Fertilización edáfica NPK, T₆ = Tratamiento control.

La aplicación de cocteles foliares nutricionales influyó significativamente ($p = 0.0012$) sobre la cantidad de cherelles marchitos por planta, donde el T4 fue el tratamiento que produjo menor cantidad de cherelles marchitos, con

una reducción del 16,50, 25,86, 28,93, 30,65 y 36,76%, con relación a los tratamientos T3, T2, T5, T1 y T6, respectivamente (Tabla V). En promedio, los tratamientos de fertilización T1, T2, T3, T4 y T5 redujeron el nivel de producción de cherelles marchitos en un 19,12%, con respecto al tratamiento control (T6). Los resultados hallados se relacionan a los reportados por Dewi et al. (2020) y Dewi et al. (2021) quienes determinaron que la producción de cherelles marchitos se relaciona en gran medida con bajos niveles de fertilidad del suelo, y concluyeron que suelos de buena fertilidad pueden suprimir el marchitamiento de cherelles hasta en un 60% mediante el aumento de la actividad fisiológica y bioquímica. Lo anterior es debido a que un alto estado de fertilidad del suelo podría aumentar el contenido de nutrientes en las hojas, incrementar la actividad de la nitrato reductasa, el contenido de clorofila, la tasa de fotosíntesis, suprimir la tasa de transpiración, aumentar el transporte de asimilados de las hojas al cherelle, y potenciar la actividad de la enzima invertasa (Dewi et al., 2020). Por otra parte, investigaciones previas concluyeron que la expresión de mayores niveles de marchitamiento de cherelles se relaciona con menores niveles de metabolitos primarios, lo cual indica una caída de la actividad fisiológica y bioquímica (Melnick et al., 2013; Melnick, 2016).

La producción de mazorcas sanas por planta, fue influenciada significativamente ($p = 0.0001$) por los tratamientos de fertilización foliar evaluados, donde los tratamientos T4, T3 y T2 lograron mayor producción de frutos sanos, con un incremento del 34,16, 27,27 y 20,82%, con relación al tratamiento de fertilización edáfica (T5), respectivamente. Así mismo, los tratamientos T4, T3 y T2 alcanzaron mayores aumentos en producción de frutos sanos, con 45,68, 40,00 y 34,68%, con respecto al tratamiento control (T6). Los tratamientos T1 y T5 fueron estadísticamente similares en producción de mazorcas sanas (Tabla V). Este hecho indica, que la fertilización foliar complementada con micronutrientes, sustancias bioactivas como fitorreguladores y aminoácidos, y tierra de diatomeas, es más efectiva para potenciar la producción de mazorcas sanas (Tabla V). El peso de granos por mazorca fue significativamente afectado ($p = 0,0024$) por los tratamientos de fertilización evaluados. Todos los tratamientos de fertilización (T1, T2, T3, T4, T5) fueron estadísticamente similares y lograron pesos de granos superiores a 120 g, que en promedio representa un incremento del 16,77% con relación al tratamiento control (T6), que solo alcanzó 108,13 g en peso de granos por mazorca (Tabla V). Los resultados descritos, evidencian la importancia de la fertilización edáfica y foliar para promover un mayor llenado de granos.

TABLA V. Efecto de cocteles nutricionales foliares sobre la producción de cherelles marchitos, mazorcas sanas y peso de granos por mazorca.

Tratamientos	Cherelles marchitos por planta	Mazorcas sanas por planta	Peso de granos por mazorca (g)
T1	31,00 cd	21,50 c	124,99 b
T2	29,00 bc	25,26 bc	132,15 ab
T3	25,75 b	27,50 ab	131,78 ab
T4	21,50 a	30,38 a	137,86 ab
T5	30,25 cd	20,00 c	122,79 b
T6	34,00 d	16,50 d	108,13 c
p-valor ANOVA	0,0012	<0,0001	0,0024
C.V. %	9,16	8,40	11,06

T₁ = Fertilización foliar con NPK; T₂ = Fertilización foliar con macro y micronutrientes + Tierra de diatomeas; T₃ = Fertilización foliar con macro y micronutrientes + Fitohormonas + Tierra de diatomeas; T₄ = Fertilización foliar con macro y micronutrientes + Fitohormonas + Aminoácidos + Tierra de diatomeas; T₅ = Fertilización edáfica NPK, T₆ = Tratamiento control.

El rendimiento de grano seco fue influenciado significativamente ($p < 0.0001$) por los tratamientos de fertilización, donde el tratamiento T4 logró un rendimiento superior a 1300 kg ha^{-1} , con un incremento del 13,41, 20,28, 35,85, 41,37 y 57,39%, en comparación a los tratamientos T3, T2, T1, T5 y T6, respectivamente (Figura 1). En promedio los tratamientos de fertilización foliar complementarios aumentaron el rendimiento de grano en un 29,04 y 48,42%, con relación a al tratamiento de fertilización edáfica NPK (T5) y al tratamiento control (T6), respectivamente (Figura 1). Estos resultados sugieren que la fertilización foliar complementaria con macro y micronutrientes, sustancias bioactivas como fitorreguladores y aminoácidos, y tierra de diatomeas, potencian la productividad del cultivo de cacao en sistemas agrícolas de secano. Los resultados obtenidos son cercanos a los alcanzados por Ruales et al. (2011), quienes reportaron mayor cantidad de mazorcas sanas, peso de granos y rendimiento de grano, con tratamientos nutricionales con macro y micronutrientes, en comparación a tratamientos básicos con NPK. Por su parte, Marrocos et al. (2020) concluyeron que el cacao puede producir rendimientos superiores a 1600 kg ha^{-1} de grano seco, cuando posee niveles adecuados de macro y micronutrientes en el tejido foliar. Así mismo Priyono et al (2020), concluyeron que el cultivo de cacao bajo condiciones de suelos de baja fertilidad, respondió positivamente a las aplicaciones foliares con silicato líquido de rocas, macro y micronutrientes, donde produjo un incremento de frutos sanos del 119%, con respecto al tratamiento control.

En este mismo contexto Kouadio et al. (2017), concluyeron que aplicaciones foliares de boro, aumentaron la cantidad de flores y frutos de forma significativa, con relación al tratamiento control. En cuanto al efecto de bioestimulantes, resultados obtenidos por Lallié et al. (2021) evidenciaron que la aplicación de bioestimulantes y la fertilización, incrementó la producción de mazorcas en un 60%, en comparación al tratamiento control. De forma similar, Oro et

al. (2020) reportaron que el uso de bioestimulantes con fertilización previa, produjeron mayor cantidad de frutos sanos en cacao, en comparación a tratamientos que solo recibieron aplicación de bioestimulantes sin fertilización. Finalmente, el efecto de la tierra de diatomeas sobre los resultados obtenidos en cacao, pueden deberse a los efectos descritos por Constantinescu et al. (2020) y Moale et al. (2021), quienes describieron que la aplicación foliar de tierra de diatomeas forma una película en el tejido foliar, que contribuye a reducir la temperatura foliar, aumenta el uso eficiente del agua, mejora la absorción de fertilizantes por la hoja, y que el rendimiento aumenta hasta un 8,1 % con la utilización de tierra de diatomeas con fertilizantes foliares, en comparación con la aplicación de fertilizantes foliares solos.

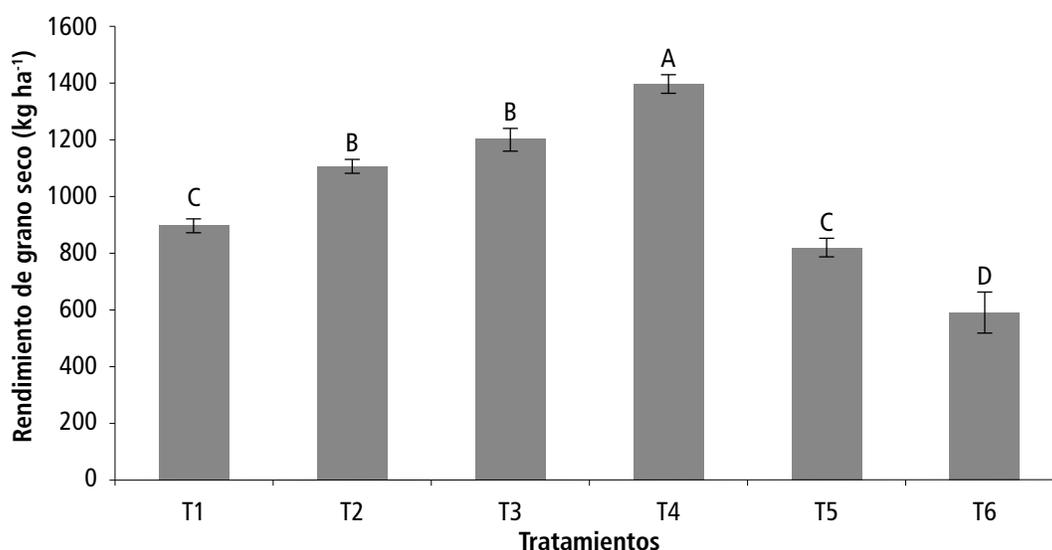


FIGURA 1. Efecto de cocteles nutricionales foliares sobre el rendimiento de grano seco. Cada barra representa la media de cuatro repeticiones (\pm error estándar). Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre medias (Tukey, $p < 0,05$). **T₁** = Fertilización foliar con NPK; **T₂** = Fertilización foliar con macro y micronutrientes + Tierra de diatomeas; **T₃** = Fertilización foliar con macro y micronutrientes + Fitohormonas + Tierra de diatomeas; **T₄** = Fertilización foliar con macro y micronutrientes + Fitohormonas + Aminoácidos + Tierra de diatomeas; **T₅** = Fertilización edáfica NPK, **T₆** = Tratamiento control.

En la Tabla VI, se presentan los resultados del análisis del beneficio económico neto de los tratamientos de fertilización en cacao Nacional. El tratamiento T4 logró el mayor beneficio económico neto de la fertilización, con un total de 802 USD ha⁻¹, que significó un incremento del 32, 43, 73 y 78%, con relación a los tratamientos T3, T2, T5 y T1, respectivamente. Los resultados económicos también denotan que la aplicación foliar únicamente con macronutrientes NPK (T1), no es económicamente viable, dado que aunque logró un rendimiento mayor al conseguido por el tratamiento de fertilización edáfica NPK (T5), este último lo superó en beneficio económico neto. El mayor beneficio económico neto de los tratamientos T4, T3 y T2 es el efecto directo del mayor incremento en rendimientos e ingresos, con relación al

tratamiento T5 que solo recibió fertilización edáfica NPK (Tabla VI). Lo anterior sugiere que las aplicaciones foliares son viables económicamente, siempre y cuando las aplicaciones se realicen en cocteles conformados por macro y micro nutrientes, bioactivadores como fitorreguladores y aminoácidos, y tierra de diatomeas.

TABLA III. Beneficio económico neto de tratamientos de fertilización en cacao Nacional.

Tratamientos	CT	CqnV	CqV	ICqV	Ren	IRen	PUV	ling	IT	BET	BEN
T1	1015,20	400	615,20	419,15	19,68	6,61	90	595	1771	756	176
T2	1166,90	400	766,90	570,85	24,46	11,39	90	1025	2201	1035	454
T3	1268,55	400	868,55	672,50	26,57	13,50	90	1215	2391	1123	543
T4	1380,35	400	980,35	784,30	30,69	17,62	90	1586	2762	1382	802
T5	819,85	400	419,85	223,80	17,99	4,92	90	443	1619	799	219
T6 (control)	596,05	400	196,05	0	13,07	0	90	0	1176	580	0

CT: Costos totales (USD ha⁻¹), **CqnV:** Costos que no varían por tratamientos de fertilización – USD ha⁻¹ (Podas y control fitosanitario), **CqV:** Costos que varían por tratamientos de fertilización – USD ha⁻¹ (Fertilizantes edáficos, foliares, aplicaciones y labor de cosecha), **ICqV:** Incremento de costos que varían por tratamientos de fertilización – USD ha⁻¹ (ICqV = CqV tratamientos – CqV control), **Ren:** Rendimiento (qq ha⁻¹), **IRen:** Incremento de rendimiento de tratamientos de fertilización con relación al tratamiento control (IRen = Ren tratamientos – Ren control), **PUV:** Precio unitario de venta (USD qq⁻¹), **ling:** Incremento de ingresos en tratamientos de fertilización con relación al control – USD ha⁻¹ (ling = IRen * PUV), **IT:** Ingresos totales USD ha⁻¹ (IT = Ren * PUV), **BET:** Beneficio económico total – USD ha⁻¹ (BET = IT - CT), **BEN:** Beneficio económico neto de la fertilización – USD ha⁻¹ (BEN = ling - ICqV).

Los resultados hallados evidencian que el cacao nacional bajo condiciones de secano, responde positivamente a la nutrición foliar con nutrientes minerales y bioestimulantes, lo cual podría convertirse en una alternativa agronómica y económicamente viable para complementar la fertilización edáfica en lugares donde la producción de cacao depende completamente de las lluvias, y donde los picos de floración y fructificación se dan al inicio y mediados de la temporada seca. En este sentido, Fageira et al. (2009), justifican la fertilización foliar desde el punto de vista fisiológico y económico, cuando la condiciones no permiten realizar la fertilización vía edáfica. Así mismo, Lovatt (2013), destaca que cuando las condiciones negativas del suelo comprometen la adecuada absorción de los nutrientes, la fertilización foliar puede ser efectiva para mejorar el estado nutricional de los cultivos e incrementar rendimiento y rentabilidad, inclusive cuando el cultivo aún no manifiesta deficiencia nutricional en el tejido foliar. Por otra parte, está ampliamente documentado la importancia fisiológica que desempeñan los macro y micronutrientes en el metabolismo de las plantas, y por tanto su capacidad de potenciar el rendimiento y calidad de los cultivos (De Bang et al., 2021; Sherefu y Zewide, 2021). De manera similar, se ha establecido el potencial de los bioestimulantes y tierra de diatomeas para mitigar las consecuencias dañinas del estrés por sequía al mejorar la absorción de agua por la raíz, regular la absorción de nutrientes, reducir la tasa de transpiración, mejorar la actividad fotosintética y elevar el funcionamiento de defensa antioxidante de la planta (Rouphael y Colla, 2020; Constantinescu et al., 2020).

CONCLUSIONES

Los tratamientos foliares con macro y micronutrientes, bioestimulantes a base de fitoreguladores y aminoácidos, y tierra de diatomeas, son efectivos para potenciar el rendimiento del cacao nacional en secano. Los tratamientos nutricionales foliares que incluyeron tierra de diatomeas promueven un mejor estado sanitario del cacao. La fertilización foliar complementaria con nutrientes minerales, bioestimulantes y tierra de diatomeas es económicamente viable para los productores de cacao nacional en sistemas de secano. La fertilización foliar complementaria se presenta como una alternativa tecnológica de fácil adopción y con una rentabilidad económica superior al 70%, con relación a la fertilización edáfica tradicional en sistemas de secano.

Agradecimientos

Los autores agradecemos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, por haber financiado parte de la investigación a través del proyecto institucional CUP 384767 “Fortalecimiento de la agricultura familiar local mediante aplicación de buenas prácticas de manejo de suelo, cultivos, bioinsumos y poscosecha”, que se ejecutó durante el periodo 2020-2022 como consta en la Secretaría de Planificación del Estado Ecuatoriano.

REFERENCIAS

- Antolinez, E., P. Almanza, A. Barona, E. Polanco, & P. Serrano. (2020). Estado Actual de la Cacaocultura: Una Revisión de sus Principales Limitantes. *Ciencia y Agricultura*, 17(2): 1 - 11. <https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n2.2020.10729>
- Barrera, V., Alwang, J., Casanova, T., Domínguez, J., Escudero, L., Loor, G., Peña, G., Párraga, J., Arévalo, J., Quiroz, J., Tarqui, O., Plaza, L., Sotomayor, I., Zambrano, F., Rodríguez, G.; García, C., & Racines, M. (2019). La cadena de valor del cacao y el bienestar de los productores en la provincia de Manabí-Ecuador. INIAP. Libro técnico No. 171. ARCOIRIS Producciones gráficas. Quito, Ecuador. 204 pp.
- Constantinescu, D., Lupu, C., & Oancea, F. (2020). Siliceous Natural Nanomaterials as Biorationals—Plant Protectants and Plant Health Strengtheners. *Agronomy* 2020, 10, 1791. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111791>
- De Bang, T., Husted, S., Laursen, K., Persson, D., Schjoerring, J. (2021). The molecular-physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. *New Phytol*, 229(5):2446-2469. <https://doi.org/10.1111/nph.17074>
- Dewi, E., Yudono, P., Putra, E. & Purwanto, B. (2020). Physiological and biochemical activities of cherelle wilt on three cocoa clones (*Theobroma cacao*) under two levels of soil fertilities. *Biodiversitas*, 21(1): 187 – 194. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210124>
- Dewi, E. (2021). Tingkat Layu Pentil (Cherelle Wilt) Pada Berbagai Klon kakao (*Theobroma cacao* L). *Jurnal Agropet*, 18(2): 1-13.

- Duicela, L., y L. Ponce. (2015). Uso de fungicidas sistémicos en el control de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en la provincia de Manabí. *Revista La Técnica*, 15: 6 – 17.
- Erwiyono, R., Sucahyo, A. & Winarso, D. (2006). Effectiveness of Foliar Application of Potassium on Flowering and Fruiting of Cocoa. *Pelita Perkebunan*, 22(1): 13-24.
- Fageria, N., Filho, M., Moreria, A. & Guimarães, M. (2009). Foliar Fertilization of Crop Plants. *Journal of Plant Nutrition*, 32(6): 1044-1064. <https://doi.org/10.1080/01904160902872826>
- Kouadio, S., Tienebo, E., Kouamé, K., Koko, L. & Abo, K. (2017). Foliar Application of Boron during Flowering Promotes Tolerance to Cocoa (*Theobroma cacao* L.) Swollen Shoot Viral Disease. *European Scientific Journal*, 13:21. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n21p387>
- Lahive, F., Hadley, P. & Daymond, A. (2019). The physiological responses of cacao to the environment and the implications for climate change resilience. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 39:5. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0552-0>
- Lallié, H., Oro, F., Nekkal, N. & El Hattimy, F. (2021). Effect of biostimulant Banzaï and fertilizer on the yield of cocoa trees in the locality of N'gouanmoinkro, Central Côte d'Ivoire. *E3S Web of Conferences* 319, 02011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131902011>
- Loor, R., T. Casanova, & L. Plaza. (2016). Mejoramiento y homologación de los procesos de investigación, validación y producción de servicios en cacao y café. Publicación miscelánea No. 433, 1a ed. INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias), EET-Pichilingue, Mocache, Ecuador. 103 p. ISBN: 978-9942-22-103-2. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5093/4/iniapeetpPM433.pdf>
- Lovatt, C. (2013). Properly Timing Foliar-applied Fertilizers Increases Efficacy: A Review and Update on Timing Foliar Nutrient Applications to Citrus and Avocado. *HorTechnology*, 23(5): 536 – 541. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.23.5.536>
- MAE (Ministerio de Ambiente del Ecuador). 2013. Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito, EC. 232 pp.
- Macías, R., Cuenca, G., Intriago, F., Caetano, C., Menjivar, J., & Pacheco, H. (2019). Vulnerability to climate change of smallholder cocoa producers in the province of Manabí, Ecuador. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, 72(1): 8707-8716. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n1.72564>
- Marrocos, P., Loureiro, G., de Araujo, Q., Sodré, G., Ahnert, D., Escalona-Valdez, R. & Baligar, V. (2020). Mineral nutrition of cacao (*Theobroma cacao* L.): relationships between foliar concentrations of mineral nutrients and crop productivity. *Journal of Plant Nutrition*, 43(10): 1498 – 1509. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1739295>
- Melnick, R., Strem, M., Crozier, J., Sicher, R. & Bailey, B. (2013). Molecular and metabolic changes of cherelle wilt of cacao and its effect on *Moniliophthora roerei*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 84, 153e162. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmpp.2013.09.004>

- Melnick, R.L. (2016). Cherelle Wilt of Cacao: A Physiological Condition. In: Bailey, B., Meinhardt, L. (eds) Cacao Diseases. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24789-2_15
- Motato, N. & Pincay, J. (2015). Calidad de los suelos y aguas para riego en áreas cacaoteras de Manabí. Revista La Técnica, 14: 6 – 23.
- Moale, C., Ghiurea, M., Sîrbu, C., Somoghi, R., Cioroianu, T., Faraon, V., Lupu, C., Trica, B., & Constantinescu, D. (2021). Effects of Siliceous Natural Nanomaterials Applied in Combination with Foliar Fertilizers on Physiology, Yield and Fruit Quality of the Apricot and Peach Trees. Plants 2021, 10, 2395. <https://doi.org/10.3390/plants10112395>
- Minyaka, E., Madina, C., Kusznierevicz, B., Doungous, O., Haouni, S., Hawadak, J., Niemenak, N. & Omokolo, D. (2018). Effect of MgSO₄ Nutrition on Theobroma cacao Susceptibility to *Phytophthora megakarya* Infection. Plant Protect. Sci., 54(2): 74–82. <https://doi.org/10.17221/124/2016-PPS>
- Nadeem, F., Asif, M., Irfan, M. & Mushtaq, Z. (2018). Role of Macronutrients and Micronutrients in the Growth and Development of Plants and Prevention of Deleterious Plant Diseases – A Comprehensive Review. International Journal of Chemical and Biochemical Sciences, 13:31-52.
- Neenu, S. & Ramesh, K. (2020). Weather - Micronutrient Interactions in Soil and Plants– A Critical Review. Chem Sci Rev Lett, 9(33), 205-219. <https://doi.org/10.37273/chesci.CS20510136>
- Niu, J., Liu, C., Huang, M., Liu, K., & Yan, D. (2020). Effects of Foliar Fertilization: a Review of Current Status and Future Perspectives. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21: 104–118. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-3>
- Oro, F., Lallie, H., Silue, S., N'dri, K. & Diallo, H. (2020). Antifungal effect of the cumulative application of biostimulant and fertilizers on young cocoa fruits rot at Tafissou site, Centre-East of Côte d'Ivoire. Int. J. Biol. Chem. Sci. 14(9): 2965-2979. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v14i9.1>
- Pérez, R., Hinostroza, M., & Manzaba, J. (2018). The Irrigation Regime for Crops in Manabí, Ecuador: Climatological Study. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 27(1): 5-12.
- Plett, D., Ranathunge, K., Melino, V., Kuya, N., Uga, Y., & Kronzucker, H. (2020). The intersection of nitrogen nutrition and water use in plants: new paths toward improved crop productivity. Journal of Experimental Botany 71(15): 4452–4468. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa049>
- Priyono, J. (2020). Foliar Application of Liquid-Silicate Rock Fertilizer Reduced Pest and Disease Attacks and Improved Bean Production of Cocoa. Journal of Agriculture and Crops, 6(5): 68-72. <https://doi.org/10.32861/jac.65.68.72>
- Rouphael, Y. & Colla, G. (2020). Editorial: Biostimulants in Agriculture. Front. Plant Sci. 11:40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
- Ruales, J., Burbano, H. & Ballesteros, W. (2011). Efecto de la fertilización con diversas fuentes sobre el rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.). Revistas de Ciencias Agrícolas 28(2): 81 – 94.
- Shaner, G. & Finney, R. (1977). The Effect of Nitrogen Fertilization on the Expression of Slow-Mildewing Resistance in Knox Wheat. Phytopathology, 67: 1051 - 1056.

- Sherefu, A. & Zewide, I. (2021). Review Paper on Effect of Micronutrients for Crop Production. *J. Nutrition and Food Processing*, 4(7); <https://doi.org/10.31579/2637-8914/063>
- Shiferaw, D. (2017). Water-Nutrients Interaction: Exploring the Effects of Water as a Central Role for Availability & Use Efficiency of Nutrients by Shallow Rooted Vegetable Crops - A Review. *Journal of Agriculture and Crops* 3(10): 78-93.
- Suárez-Parra, K. V., Castañeda-Serrano, C. S., Forero-Ulloa, F. E., Almanza-Merchán, P. J., & Serrano-Agudelo, P. C. (2022). Aplicaciones enalántes y el índice de clorofilas SPAD y la conductancia estomática de cacao expuesto a cadmio en el suelo. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 16(2), e14530. <https://doi.org/10.17584/rcch.2022v16i2.14530>
- Vassallo, M. (2015). Diferenciación y agregado de valor en la cadena ecuatoriana del cacao. 1ª. ed. Editorial IAEN. ISBN: 978-9942-950-51-2. Quito-Ecuador. 156 pp.
- Zahed, Z., Kumar, S., Mahale, A., Krishna, R. & Mufti, S. (2021). Foliar Micro-nutrition of Vegetable Crops - A Critical Review. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 40(7): 1-12.