

EFFECTIVIDAD DE MOMENTOS Y FUENTES DE APLICACIONES FOLIARES DE CALCIO, BORO Y ZINC EN EL RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DEL CACAO NACIONAL

EFFECTIVENESS OF TIMES AND SOURCES OF FOLIAR APPLICATIONS OF CALCIUM, BORON, AND ZINC IN THE YIELD AND PROFITABILITY OF NATIONAL COCOA

Carlos Cevallos Carvajal¹, Galo Cedeño García^{2*}, Francisco Arteaga Alcívar³ y Sofía Velásquez Cedeño⁴

¹ Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Av. José María Urbina, CP 130105, Portoviejo, Manabí, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0003-1366-540x>

² Carrera de Ingeniería Agrícola, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón, km 2 ½ vía Calceta – El Gramal. CP130601, Calceta, Manabí, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-0927-5807>

³ Departamento de Agronomía, Universidad Técnica de Manabí, km 13 ½ vía Portoviejo - Santa Ana, CP13132, Santa Ana, Manabí, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0001-6211-2794>

⁴ Carrera de Ingeniería Agrícola, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón, km 2 ½ vía Calceta – El Gramal. CP130601, Calceta, Manabí, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0001-5141-0489>

* Autor para correspondencia: gcedeno@espm.edu.ec

RESUMEN

La fertilización foliar es una estrategia que permite complementar la nutrición de los cultivos cuando algún factor del suelo limita la absorción de nutrientes por la raíz. El objetivo del estudio fue evaluar la efectividad de momentos y fuentes de aplicación foliar de Ca, B y Zn en el rendimiento y rentabilidad del cacao nacional. Los tratamientos consistieron en tres fuentes foliares de Ca, B y Zn (sales, quelatos y aminoquelatos) y tres tiempos de aplicación foliar (06:00 – 08:00, 11:00 – 13:00 y 16:00 – 18:00 horas). Además, se incluyó un tratamiento control que solo recibió fertilización edáfica. Se registró el rendimiento de grano (kg ha⁻¹) y beneficio económico neto de la fertilización foliar (USD ha⁻¹). Los datos fueron analizados a través del ANOVA y la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$). El rendimiento de grano fue influenciado significativamente ($p < 0,05$) por las fuentes foliares y los tiempos de aplicación foliar. Los aminoquelatos permitieron alcanzar el mayor rendimiento de grano, con un incremento de 198, 289 y 440 kg, con relación a los tratamientos con quelatos, sales y control, respectivamente. Las aplicaciones foliares en la mañana y tarde, mostraron mayor rendimiento de grano con relación a la aplicación del medio día, e incrementaron el rendimiento en un 20,46 y 20,06% con relación al tratamiento control. El mayor beneficio económico neto de la fertilización foliar se produjo con los aminoquelatos aplicados en horas de la mañana y tarde, con 442 y 418 USD ha⁻¹, respectivamente. La aplicación foliar de aminoquelatos de Ca, B y Zn es una estrategia efectiva para incrementar rendimiento y rentabilidad del cacao nacional.

Palabras clave: Nutrición foliar, fertilizantes, horario de aspersión, productividad, beneficio económico

ABSTRACT

Foliar fertilization is a strategy that allows complemented crop nutrition when soil factors limit the absorption of nutrients by the roots. The aim of the research was to evaluate the effectiveness of foliar application times and sources of Ca, B, and Zn in the yield and profitability of national cocoa. The treatments consisted of three foliar sources of Ca, B, and Zn (salts, chelates, and amino-chelates) and three foliar application times (06:00 – 08:00, 11:00 – 13:00 and 16:00 – 18:00 hours). In addition, a control treatment that only received edaphic fertilization was included. Data were analyzed through ANOVA and Tukey's test ($\alpha = 0.05$). Grain yield (kg ha^{-1}) and net economic benefit of foliar fertilization (USD ha^{-1}) were recorded. Grain yield was significantly ($p < 0.05$) influenced by foliar sources and foliar application times. The amino-chelates allowed reaching the highest grain yield, with an increase of 198, 289, and 440 kg, in relation to the treatments with chelates, salts, and control, respectively. Foliar applications in the morning and afternoon showed higher grain yield in relation to the noon application, and increased yield by 20.46 and 20.06% in relation to the control treatment. The greatest net economic benefit of foliar fertilization occurred with amino-chelates applied in the morning and afternoon, with 442 and 418 USD ha^{-1} , respectively. The foliar application of amino-chelates of Ca, B, and Zn is an effective strategy to increase yield and profitability of Ecuador's national cocoa.

Keywords: Foliar nutrition, fertilizers, spray schedules, productivity, economic benefit.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) proporciona la materia prima para la industria del chocolate y también es la principal fuente de ingresos para seis millones de pequeños agricultores en todo el mundo (Wickramasuriya y Dunwel, 2018; Antolínez et al., 2020). Actualmente, existen varias limitaciones que afectan la productividad y comercialización del cacao a nivel global, entre las cuales se destacan los efectos del cambio climático, la presencia de metales pesados, mayor incidencia y agresividad de problemas fitosanitarios, plantaciones en avanzada edad y la deficiente nutrición del cultivo (Van Vliet y Giller, 2017; Gateau-Rey et al., 2018; Antolínez et al., 2020; Somarriba et al., 2021).

En Ecuador, y particularmente en la provincia de Manabí, la principal problemática del cacao nacional es la baja productividad, que está relacionada al deficiente manejo del cultivo y malas prácticas post-cosecha, además, de la vulnerabilidad por eventos relacionados al cambio climático (Macías et al., 2019; Barrera et al., 2019). Otras limitantes que repercuten en la baja productividad del cacao es la falta de riego, la baja fertilidad de los suelos y la deficiente nutrición del cultivo, pues únicamente alrededor del 23% de la superficie cacaotera recibe riego, y en cuanto a fertilización en promedio se aplican $134 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de fertilizantes compuestos a base de NPK al inicio de la temporada de lluvias, lo cual está muy por debajo de la necesidad nutricional real del cultivo (Motato y Pincay, 2015; Furcal-Beriguete, 2017; Cuenca et al., 2019; INEC, 2020). En este contexto, Furcal-Beriguete

(2017) menciona que en promedio el cacao extrae entre 33 a 37 kg de N, de 7 a 8 kg de P, de 42 a 51 kg de K, de 5 a 6 kg de Ca, de 7 a 8 kg de Mg, entre 52 a 63 g de Cu, de 110 a 119 g de Zn, entre 239 a 249 g de Mn, entre 99 a 120 g de Fe y entre 61 a 63 g de B por cada tonelada de grano incluida los restos de la mazorca. Por su parte, Cuenca et al. (2019) concluyeron que, en promedio, los clones de cacao Nacional requieren 74, 37 y 148 kg de N, P y K $\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, respectivamente. De acuerdo con Motato y Pincay (2015), los suelos cacaoteros de Manabí son deficientes en elementos claves para la producción de cacao como nitrógeno, azufre, zinc y boro. Además, la mayoría de los suelos de Manabí presentan desequilibrios de bases, altos niveles de calcio y fósforo que pueden interactuar negativamente entre sí y especialmente con los micronutrientes (Motato y Pincay, 2015). En este sentido, es bien conocido que niveles altos y excesivos de Ca en el suelo pueden disminuir la absorción de B y Zn por las plantas, limitando significativamente la producción de los cultivos (Prasad et al., 2016; Abou et al., 2021). En cuanto al calcio se conoce que en altos niveles puede formar compuestos precipitados con el fósforo en la solución del suelo y por tanto limitar la absorción de ambos elementos (Jakobsen, 1993; Fageria, 2001). Además, otro factor que puede limitar la absorción y transporte de Ca en las plantas es la baja disponibilidad de agua en el suelo y una baja tasa de transpiración, lo cual puede conllevar a una deficiencia de este nutriente (Hocking et al., 2016). Este aspecto fue descrito por Jaimez et al. (2021) quienes comprobaron que la sequía provocó una reducción en el contenido de Ca y Mg en plantas de cacao.

En este sentido, aunque la fertilización edáfica no puede ser reemplazada totalmente por la fertilización foliar, definitivamente esta última puede complementar a la edáfica, mediante la mejora en la asimilación de micronutrientes, que por lo general su absorción a través de las raíces es limitada por varios factores del suelo como la baja humedad, el pH, temperatura, presencia de sales, la microbiota, fijación de nutrientes y antagonismo entre nutrientes (Niu et al., 2020; Zahed et al., 2021). Por ejemplo, el exceso de P se fija en el suelo, donde forma enlaces químicos con otros elementos, incluidos el calcio (Ca), el magnesio (Mg), el hierro (Fe) y el zinc (Zn), que dejan de estar disponible para la absorción de las plantas (Raliya et al. 2018). Sin embargo, para que la nutrición foliar sea efectiva, existen algunos requisitos a tomar en consideración: como un índice de área foliar alto, aplicaciones frecuentes dependiendo de la especie vegetal y más que todo en fases fenológicas de alta demanda, la temperatura y humedad relativa ambiental deben ser adecuadas para que la solución nutritiva no se evapore de la lámina foliar, evitar que las sales se cristalicen y la hoja se quemé, y la fuente de fertilizante debe ser soluble en agua para que sea más efectiva (Fernández et al., 2015; Alexander y Hunsche, 2016; Niu et al., 2020; Zahed et al., 2021). Los niveles de humedad relativa que permiten una adecuada absorción foliar dependen de la particularidad de cada sal y su higroscopicidad o humedad deliquescente, por ejemplo, una solución de pulverización que contenga NH_4NO_3 no se secará por completo mientras la HR sea superior al 61%, mientras que una solución de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ se secará con una HR inferior al 80% (Eichert, 2013). Así mismo, la temperatura adecuada para la absorción foliar, depende de la especie vegetal y del coeficiente de temperatura (Q10), donde se ha establecido que una temperatura óptima para la absorción y transporte de nutrientes vía foliar es 21°C, que constituye un valor Q10 de 2 o más en rangos de temperaturas de 10 a 15°C (Wittwer y Teubner, 1959; Fernández et al., 2015).

Un aspecto importante por considerar para aplicaciones foliares efectivas es el momento adecuado del día, que por lo general se recomienda entre la tarde-noche después de las 6 pm y temprano en la mañana antes de las 9 am, esto con la finalidad de evitar temperaturas elevadas y humedad relativa ambiental baja por debajo de la humedad deliquescente de la sal utilizada como fertilizante, y así mejorar la eficiencia de la aplicación (Fernández et al., 2015; Alshaal y El-Ramady, 2017).

La fuente de fertilizante foliar es otro de los aspectos importantes para potenciar la absorción

foliar, por ejemplo, las sales han sido las fuentes tradicionalmente más usadas en nutrición foliar, sin embargo, se conoce que son menos eficientes debido a que sus cargas interactuarán con la carga inherentemente negativa de la superficie de la hoja, interfiriendo con la absorción foliar (Fernández et al., 2015). Por su parte, la quelación se refiere al proceso de unir una molécula orgánica específica, llamado ligando, a un ion mineral en dos o más sitios para formar una estructura de anillo, lo cual contribuye a neutralizar la carga de los iones evitando que se adsorban a las superficies cargadas negativamente de los componentes estructurales de la cutícula, razón por la cual los quelatos sintéticos como el EDTA mejoran la eficiencia de la nutrición foliar, dado que los cationes al estar quelados pueden penetrar más fácilmente la cutícula y llegar al interior de las células epidérmicas (Lucena, 2009; Alexander y Hunsche, 2016). Sin embargo, actualmente los aminoquelatos son formulas recientes que se sintetizan a partir de varios aminoácidos y uno o varios iones metálicos, son las fuentes foliares más avanzadas y efectivas en la nutrición foliar en comparación con sales y quelatos como el EDTA (Souri, 2016; Souri y Aslani, 2018). Además de su uso principal como fuente de micronutrientes, los aminoquelatos representan un fertilizante nitrogenado (N) eficaz en la nutrición de las plantas que puede evitar los efectos negativos de los fertilizantes nitrogenados simples, como la urea (Souri y Hatamian, 2018; Jalali et al., 2019).

Debido a que generalmente los suelos cacaoteros de la zona central de Manabí presentan deficiencias de B y Zn, y altos contenidos de Ca (Motato y Pincay, 2015), es muy probable que desarrollen reacciones negativas que dificulten la absorción eficiente de estos nutrientes por parte de las raíces, y por consiguiente, que estén presentes en bajas concentraciones en el tejido foliar, lo cual afecta los procesos de floración, cuajado y fructificación del cacao, debido a que es bien conocido las funciones fisiológicas de estos tres nutrientes en la germinación del grano de polen, crecimiento y fortalecimiento del tubo polínico, que conlleva a una adecuada fecundación de gametos, y producción de frutos y semillas (Ganie et al., 2013; Yadav y Solanki, 2015; Sharafi, 2019; Maklad et al., 2020). Además, se ha documentado que incluso en suelos con altos contenidos de Ca, es probable que se presente deficiencia de este nutriente en flores y frutos, aun cuando el tejido foliar contenga niveles óptimos de Ca, por lo que la aplicación foliar de Ca antes de la fructificación y cosecha es una práctica habitual para mejorar el contenido de Ca en frutos (Dilmaghani et al., 2005; Olle y Bender, 2009; Sotiropoulos et al., 2021).

Lo anterior puede deberse a varios factores como la baja transpiración de flores y frutos (más aún en cacao que es una planta cauliflora), con respecto a las hojas que presentan mayor tasa de transpiración, debido a que el Ca se moviliza siguiendo la corriente transpiratoria y por ende tiende a acumularse mayormente en las hojas (Gilliham et al., 2011; Tonetto de Freitas y Mitcham, 2012; Romero et al., 2022). En especies leñosas, el movimiento ascendente del Ca es relativamente lento, y cuando se acumula en las hojas no se removiliza hacia los frutos o lo hace lentamente, que en algunos casos no alcanza a satisfacer la demanda del fruto. La importación de calcio a los frutos disminuye con el desarrollo y prácticamente se detiene con el inicio de la rápida movilización de fotosintatos a través del floema (Gilliham et al., 2011; Tonetto de Freitas y Mitcham, 2012). Por lo tanto, los trastornos por deficiencia de Ca en frutos pueden no ser causados por un solo factor, sino más bien por una combinación de mecanismos que reducen la concentración de Ca en un tejido específico y una localización celular, lo que lleva a síntomas de deficiencia de Ca (Tonetto de Freitas y Mitcham, 2012).

Por lo anteriormente descrito, y considerando que la carencia de información de los efectos de aplicaciones foliares combinados de Ca, B y Zn sobre la fructificación y rendimiento del cacao impide que los productores puedan potenciar la productividad del cultivo, el objetivo de esta investigación fue evaluar la efectividad de momentos y fuentes de aplicación foliar de Ca, B y Zn en el rendimiento y rentabilidad del cacao nacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización de la investigación

El trabajo se desarrolló entre octubre de 2020 y septiembre de 2021 en el sitio Limón de la parroquia Calceta del Cantón Bolívar, (0° 49'10" S y 80° 10'40" O), a una altitud de 21 m.s.n.m., con temperatura y precipitación media anual de 25,7 °C y 839 mm, respectivamente (Cedeño et al., 2022).

Material vegetal

Se utilizó una plantación de cacao nacional procedente de plantas injertadas de 10 años, establecido como policlón, con los materiales EET-103, EET-575 y EET-576. Las plantas estuvieron establecidas a una densidad de 1111 plantas ha⁻¹. El clon EET-103 proviene de colectas realizadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en la hacienda Tenguel de la provincia del Guayas, y fue liberada en los años 70 para todas las zonas cacaoteras del Ecuador (Quiróz et al., 2021). Los clones EET-75 y EET-76

se originaron de colectas en la zona centro-sur del litoral ecuatoriano y fueron liberadas para la zona central de la provincia de Manabí y de estribaciones de montaña del resto del litoral ecuatoriano en el año 2009 (Quiróz et al., 2021).

Tratamientos, diseño y unidad experimental

Se decidió establecer tratamientos foliares con Zn y B debido a los bajos contenidos de estos micronutrientes en el suelo y en el tejido foliar que se diagnosticó previo al establecimiento del experimento (Tabla 1). En cuanto al Ca a pesar de presentarse en cantidades suficientes tanto en el suelo y en el tejido foliar (Tabla 1), se decidió incorporarlo a los tratamientos de Zn y B, debido a su baja movilidad en la planta, y a la dificultad que tiene para removilizarse desde las hojas hacia las flores y frutos.

El experimento se estableció en un diseño de bloques completos al azar con dos factores (fuentes foliares y momentos de aplicación) y tres niveles para cada factor: fuentes foliares de Ca-B-Zn (sales, quelatos y aminoquelatos) y momentos de aplicación (06:00-08:00 horas, 11:00-13:00 horas y 16:00-18:00 horas), más un tratamiento control (sin Ca-B-Zn foliar), con tres réplicas y 30 unidades experimentales. En el tratamiento control se aplicó agua con coadyuvante, con la finalidad de disminuir el error. La unidad experimental se conformó de parcelas de 25 plantas, donde el registro de datos se realizó en las nueve plantas centrales.

Fuentes, dosis y aplicación de tratamientos

Como fuentes de sales se utilizaron nitrato de Ca (27% de CaO), sulfato de Zn (22% de Zn) y bórax soluble (14,8 % de B). Como fuentes de quelato se utilizó EDTA-Ca (10% CaO), EDTA-Zn (12% de Zn) y ETA-B (11% B). Como fuente de aminoquelato se aplicaron metalosatos de Ca (6% CaO), Zn (6,8% Zn) y B (5,4% B). Las dosis foliares de Zn y B fueron establecidas con base a la extracción de una tonelada de grano seco de cacao descrita por Furcal-Beriguete (2017), para lo cual se consideró una meta de rendimiento de dos toneladas de grano seco ha⁻¹ año⁻¹. Para el caso de calcio, se decidió colocar una dosis foliar cuatro veces superior a la del B, debido a que la mayoría de los productos foliares comerciales co-formulados de Ca-B presentan una relación 4:1 de Ca con respecto al B.

En la Tabla 2 se describen las fuentes específicas, dosis de nutrientes y de producto comercial (PC) utilizados por hectárea y aplicación. En total se realizaron ocho aplicaciones al presentarse dos picos de floración y fructificación importantes durante el año. Se realizaron cuatro aplicaciones seguidas cada 21 días en cada pico de floración y fructificación. Para evitar la deriva y traslape de

Tabla 1. Análisis químico del suelo y del tejido foliar realizado previo establecimiento de la investigación, con valores de referencia para suelos cacaoteros (Motato y Pincay, 2015), y tejido foliar del cacao (Prezotti et al., 2007).

Table 1. Soil and leaf chemical analysis prior to the establishment of the experiment, with reference values for soils (Motato and Pincay, 2015) and cocoa leaf tissue (Prezotti et al., 2007).

Nutriente	Valores de referencia		Resultados	
	Suelo ¹	Planta	Suelo	Planta
N	40 mg kg ⁻¹	20 - 25 g kg ⁻¹	18,40	12,40
P	14 mg kg ⁻¹	1,8 - 2,5 g kg ⁻¹	105	2,11
S	20 mg kg ⁻¹	1,6- 2 g kg ⁻¹	16,48	1,44
K	0,38 meq/100 mL	13 - 23 g kg ⁻¹	2,58	14,50
Ca	8,90 meq/100 mL	8 - 12 g kg ⁻¹	18,90	10,71
Mg	2,30 meq/100 mL	3 - 7 g kg ⁻¹	2,64	3,80
Cu	4 mg kg ⁻¹	8 - 15 mg kg ⁻¹	6,30	10,26
Fe	40 mg kg ⁻¹	60 - 200 mg kg ⁻¹	65	72,75
Mn	15 mg kg ⁻¹	50 - 250 mg kg ⁻¹	15,82	55,42
Zn	7 mg kg ⁻¹	30 - 80 mg kg ⁻¹	1,92	22,50
B	0,49 mg kg ⁻¹	25 - 60 mg kg ⁻¹	0,35	16,28
MO	5 %	-----	2,80	-----
pH	6 - 7,5	-----	7,25	-----

¹N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn fueron determinados con el método de Olsen modificado. S y B fueron determinados con el método del Fosfato de Calcio Monobásico. La MO se determinó con titulación de Walkley Black. El pH con el método de suelo: agua (1:2,5).

Tabla 2. Dosis foliar de nutrientes (Ca - B - Zn) y producto comercial (PC) utilizado por hectárea, año y aplicación.

Table 2. Foliar doses of nutrients (Ca - B - Zn) and commercial product (PC) used per hectare, year and application.

Fuentes de Ca-B-Zn	Concentración del nutriente en el PC	Dosis de nutriente anual (mL y g ha ⁻¹ año ⁻¹)	Número de aplicaciones por año	Dosis de nutriente por aplicación	
				(mL y g ha ⁻¹ aplicación ⁻¹)	Dosis de PC por aplicación
Aminoquelatos					
Metalosato de Ca	6 % Ca	480 mL	8	60 mL	1000 mL
Metalosato de Zn	6,8 % Zn	240 mL	8	30 mL	441 mL
Metalosato de B	5 % B	120 mL	8	15 mL	300 mL
Quelatos					
EDTA-Ca	10 % Ca	480 g	8	60 g	600 g
EDTA-Zn	12 % Zn	240 g	8	30 g	250 g
ETA-B	11 % B	120 g	8	15 g	136 g
Sales minerales					
Nitrato de Ca	26 % Ca	480 g	8	60 g	230 g
Sulfato de Zn	22 % Zn	240 g	8	30 g	136 g
Bórax soluble	14,8 % B	120 g	8	15 g	101 g

productos entre tratamientos, al momento de la aplicación se utilizaron pantallas de plástico que rodeaban toda la parcela, las cuales se diseñaron con plástico de cuatro metros de altura sostenidas con varillas de aluminio, que se movilizaban fácilmente entre parcelas. Las aplicaciones

foliares se realizaron con un volumen de agua de 200 L ha⁻¹, usando una bomba motorizada de espalda marca STIHL SR-420. Además, a la solución nutricional se adicionó un coadyuvante activador no-iónico en dosis de 250 mL por 200 litros de agua, con la finalidad de mejorar la

adhesión y absorción de los nutrientes a través del tejido foliar.

Variables respuesta y análisis de datos

Las variables registradas fueron número de frutos sanos, enfermos y cherelles por planta. Estas variables fueron registradas durante los eventos de cosecha. El porcentaje de frutos enfermos se determinó con la ecuación [1].

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

El rendimiento de cacao seco por año (kg ha^{-1}) fue estimado con el peso seco en gramos de cada parcela, este resultado se transformó a kilogramos por hectárea y año. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y la prueba de separación de medias con Tukey al 5% de probabilidades de error, esto previo al cumplimiento de los supuestos de independencia de los errores, distribución normal y homogeneidad de las varianzas. Además se realizó contraste ortogonal entre el promedio de los tratamientos foliares con Ca-B-Zn vs el promedio del tratamiento control. Para el análisis de datos se utilizó el paquete estadístico InfoStat versión 2020.

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 variaron por los tratamientos de fertilización foliar (CqV), y que estuvieron en función de los fertilizantes foliares, aplicaciones y labor de cosecha. En el tratamiento control el costo que varió fue cero ($\text{CqV} = 0$). Con los datos de rendimiento (costales de $45,45 \text{ kg ha}^{-1}$) y precio unitario del costal (USD $45,45 \text{ kg}^{-1}$) 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 específicos de la fertilización foliar.

Manejo específico del experimento

Previo al establecimiento del experimento (septiembre de 2020) se realizó una poda de mantenimiento y todas las plantas fueron despojadas de frutos, con la finalidad de evitar sesgo de datos. Se realizó fertilización edáfica en todos los tratamientos incluido el control, con 250 kg de N, 23 kg de P_2O_5 , 100 kg de K_2O , 50 de S y 25 MgO, esto de acuerdo con la demanda nutricional del cultivo y el reporte de análisis de suelo (Tabla 1). Los fertilizantes utilizados fueron urea (46% de N), fosfato di amónico (18% N y 46% P_2O_5), muriato de potasio (60% K_2O), sulfato de amonio (21% N y 24% S) y sulfato de magnesio (25% MgO

y 20% S). La fertilización fue realizada en tres fracciones anuales con frecuencia cuatrimestral (octubre 2020, febrero 2021 y junio 2021) donde la fosfatada fue aplicada totalmente en la primera fracción, en dosis de 45 g de fosfato di amónico/planta. La urea, muriato de potasio, sulfato de amonio y sulfato de magnesio, fueron aplicados en tres fracciones, en dosis de 140,11, 49,80, 41,66 y 20 g/planta/fracción, respectivamente. El riego se realizó por aspersión durante la época seca (octubre-diciembre 2020 y junio-septiembre 2021) con frecuencia semanal, hasta dejar el suelo en capacidad de campo. De enero a mayo 2021 no se regó por presencia de la época lluviosa. El control de arvenses se hizo de manera química con glufosinato de amonio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La producción de frutos enfermos por planta no fue influenciada significativamente ($p > 0,05$) por las fuentes foliares de Ca-B-Zn, los momentos de aplicación ni por la respectiva interacción. Sin embargo, la comparación ortogonal entre el promedio de todos los tratamientos foliares de Ca-B-Zn vs el promedio del tratamiento control si mostró diferencias estadísticas significativas ($p < 0,0001$), lo cual indicó que la nutrición foliar complementaria con Ca-B-Zn promovió un mejor estado sanitario en frutos de cacao, al presentarse menor cantidad de frutos enfermos (Fig. 1). En este sentido, la nutrición foliar con Ca-B-Zn alcanzó un 22% de frutos enfermos, frente al 41% del tratamiento control.

No existen evidencias previas de que la aplicación foliar de Ca-B-Zn reduce específicamente la incidencia de enfermedades fungosas en frutos de cacao. Sin embargo, los resultados se acercan a los obtenidos por Kouadio et al. (2017), quienes, con tratamientos de fertilización foliar con boro, lograron reducir la incidencia del virus del brote hinchado del cacao. De mismo modo Priyono et al. (2020) reportaron menor incidencia de plagas y enfermedades en cacao tratado con fertilización foliar a base de roca silicatada líquida, que contenía macro y micronutrientes en concentraciones de 6,4% Si, 4,04% N, 3,22% P_2O_5 , 3,36% K_2O , 1,32% Ca, 0,40% Mg, 0,12 % S, 40 mg L^{-1} Fe, 122 mg L^{-1} Mn, 260 mg L^{-1} Zn, 10 mg L^{-1} Cu, 3,0 mg L^{-1} B, 0,1 mg L^{-1} Co, y 1,2 mg L^{-1} Mo.

La menor cantidad de frutos enfermos en los tratamientos de fertilización foliar con Ca-B-Zn, puede deberse al papel del Ca como mensajero de la señalización de respuesta del sistema defensivo de las plantas (Aldon et al., 2018). Así mismo, es conocido el papel del Zn en la activación del sistema defensivo de las plantas, mediante la

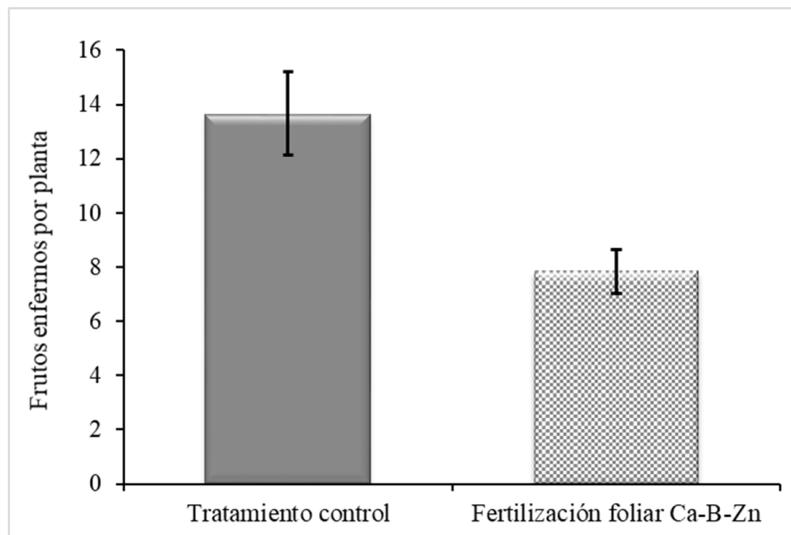


Fig. 1. Fertilización foliar con Ca-B-Zn vs el tratamiento control sobre la producción de frutos enfermos por planta. Cada barra representa la media de tres repeticiones (\pm error estándar).

Fig. 1. Foliar fertilization with Ca-B-Zn vs. control treatment with respect to diseased fruit production per plant. Each bar represents the mean value of three replicates (\pm standard error).

regulación de superóxido dismutasas (SOD) y las proteínas dedos de zinc (Cabot et al., 2019). Por su parte, las actividades fisiológicas y metabólicas mediadas por la nutrición con boro que reducen la susceptibilidad a enfermedades en el sistema de la planta se atribuyen a (1) el fortalecimiento de la estructura de la pared celular a través de la formación de complejos de carbohidratos y borato, que controlan el transporte de carbohidratos y el metabolismo de las proteínas de la pared celular, (2) el control de la estructura de la pared celular, permeabilidad de la membrana y función de estabilidad, y (3) fenoles o metabolismo de la lignina (Shireen et al., 2018; Tripathi et al., 2022).

La cantidad de frutos cherelles marchitos por planta no fue influenciado significativamente ($p > 0,05$) por las fuentes foliares de Ca-B-Zn, los tiempos de aplicación, ni por la interacción entre ambos factores evaluados, lo cual indica que con cualquiera de las fuentes foliares y tiempos de aplicación evaluados se obtienen respuestas similares para esta variable. Por otra parte, la comparación ortogonal entre el promedio de todos los tratamientos de fertilización foliar con Ca-B-Zn vs el promedio del tratamiento control, si mostró diferencias estadísticas significativas ($p < 0,0001$), lo cual denota que la fertilización foliar independientemente de la fuente o el momento de aplicación disminuyó en 28% la marchitez de frutos en estado de pepinillo, con relación al tratamiento control (Fig. 2).

La producción de mazorcas sanas fue significativamente influenciada por las fuentes foliares de Ca-B-Zn ($p < 0,0001$) y por los tiempos

de aplicación foliar ($p < 0,0001$) evaluados, mientras que no se presentó diferencias estadísticas para la respectiva interacción ($p = 0,0659$). Entre las fuentes foliares probadas, los aminoquelatos de Ca-B-Zn alcanzaron la mayor producción de mazorcas sanas con un incremento del 8, 24 y 28%, con respecto a los tratamientos a base de quelatos, sales y control, respectivamente (Tabla 3). En cuanto a los tiempos de aplicación foliar, los horarios entre las 06:00-08:00 horas y 16:00-18:00 horas mostraron efectos similares sobre la producción de mazorcas sanas, con 32 y 31 mazorcas planta⁻¹, respectivamente, pero mayor efectividad con relación a la aplicación foliar entre las 11:00-13:00 horas y el tratamiento control, con una producción significativamente menor (Tabla 4).

El peso de granos por mazorca fue afectado significativamente por las fuentes foliares de Ca-B-Zn ($p < 0,0001$) y los tiempos de aplicación foliar ($p = 0,0002$), más no por la interacción entre ambos factores ($p = 0,8244$). De acuerdo con los resultados, el aminoquelato de Ca-B-Zn fue la fuente foliar con mayor efectividad para peso de granos, con un incremento del 2%, 8% y 10% con relación a los quelatos, sales y tratamiento control (Tabla 3).

Por su parte, los horarios de aplicación foliar de Ca, B y Zn en horas de la mañana (06:00-08:00 horas) y tarde (16:00-18:00 horas) fueron estadísticamente iguales para el peso de granos mazorca⁻¹, pero diferentes al tratamiento del medio día (11:00-13:00 horas) (Tabla 4). Las aplicaciones de la mañana y tarde mostraron una efectividad del 4 y 8%, con relación a la aplicación del medio

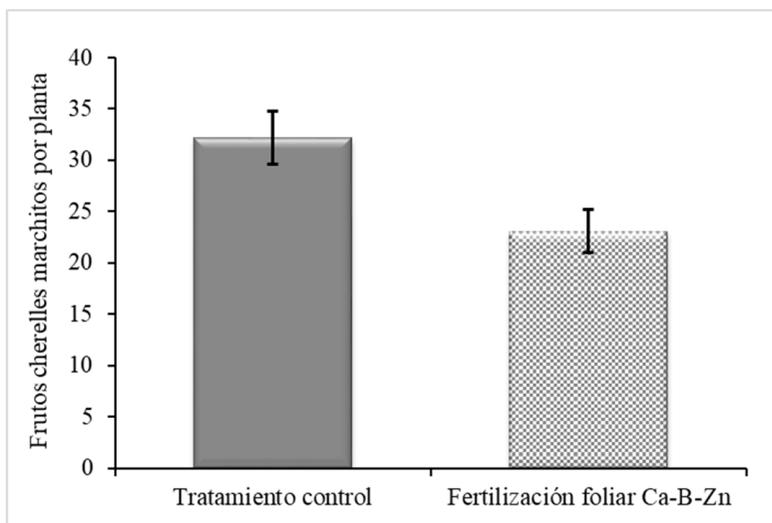


Fig. 2. Fertilización foliar con Ca-B-Zn vs el tratamiento control sobre la producción de frutos cherelles marchitos por planta. Cada barra representa la media de tres repeticiones (\pm error estándar).

Fig. 2. Foliar fertilization with Ca-B-Zn vs. control treatment on the production of withered cherelles per plant. Each bar represents the mean value of three replicates (\pm standard error).

Tabla 3. Efecto de tres fuentes foliares de Ca-B-Zn sobre la producción de mazorcas sanas por planta, peso de granos por mazorca (g) y rendimiento de grano seco (kg ha⁻¹).

Table 3. Effect of three foliar sources of Ca-B-Zn on the production of healthy ears per plant, grain weight per ear (g) and dry grain yield (kg ha⁻¹).

Tratamientos	Frutos sanos por planta	Peso de granos por mazorca (g)	Rendimiento de grano seco (kg ha ⁻¹)
Sales Ca-B-Zn	25,60 a ^{1/}	119,17 a	1377,05 a
Quelatos Ca-B-Zn	31,05 b	126,43 b	1468,49 b
Aminoquelatos Ca-B-Zn	33,75 c	129,04 c	1666,82 c
Control	24,3	116,49	1226,80

^{1/} Promedios con letras distintas difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0,05$).

Tabla 4. Efecto de diferentes momentos de aplicación foliar de Ca-B-Zn sobre la producción de mazorcas sanas por planta, peso de granos por mazorca (g) y rendimiento de grano seco (kg ha⁻¹).

Table 4. Effect of different times of foliar application of Ca-B-Zn on the production of healthy ears per plant, grain weight per ear (g) and dry grain yield (kg ha⁻¹).

Tratamientos	Frutos sanos por planta	Peso de granos por mazorca (g)	Rendimiento de grano seco (kg ha ⁻¹)
06:00-08:00 horas	32,10 a ^{1/}	127,20 a	1506,60 a
11:00-13:00 horas	26,15 b	122,07 b	1403,81 b
16:00-18:00 horas	31,25 a	132,68 a	1500,02 a
Control	24,30	116,49	1226,80

^{1/} Promedios con letras distintas difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0,05$).

día y al tratamiento control, respectivamente (Tabla 4).

El rendimiento de grano seco fue influenciado significativamente ($<0,0001$) por las fuentes foliares de Ca, B y Zn, y los tiempos de aplicación ($p=0,0003$), pero no por la interacción entre ambos factores ($p=0,1630$). La aplicación de Ca, B y Zn basada en aminoquelatos resultó ser la fuente con mayor efectividad sobre el rendimiento de grano, alcanzando un promedio de 1666,82 kg ha⁻¹ de grano seco, superando en 198, 289 y 440 kg a los tratamientos a base de quelato, sales y al tratamiento control, respectivamente (Tabla 3).

Independientemente de las fuentes foliares, las aplicaciones en horas de la mañana y tarde fueron estadísticamente similares, y alcanzaron mayor rendimiento de grano, con relación a la aplicación del medio día y al tratamiento control (Tabla 4), lo cual sugiere una mejor tasa de absorción foliar de Ca, B y Zn en estos horarios. Las aplicaciones foliares por la mañana y tarde, mostraron un incremento de rendimiento de grano seco del 6,82 y 6,41%, con relación a la aplicación foliar del medio día, respectivamente. Del mismo modo las aplicaciones foliares en la mañana y tarde, incrementaron el rendimiento de grano seco en 20,46 y 20,06% con relación al tratamiento control, que solo recibió fertilización edáfica (Tabla 4).

En cuanto al efecto específico de la aplicación foliar de Ca, B y Zn en cacao, no se conocen trabajos anteriores similares, sin embargo, los resultados alcanzados en producción de frutos sanos, peso de granos y rendimiento pueden relacionarse a los alcanzados por Ruales et al. (2011), quienes lograron mayor cantidad de frutos sanos y granos por mazorcas en tratamientos de fertilización que incluían Ca, B y Zn, con relación al tratamiento de fertilización básica NPK, con menor producción de frutos y granos. Por su parte, Kouadio et al. (2017), concluyeron que la aplicación foliar con boro incrementó significativamente el número de flores y frutos por planta, con relación al tratamiento sin boro. En otro estudio, Gómez et al. (2021) concluyeron que la aplicación foliar de un nanofertilizante de óxido de silicio (SiO₂) tuvo un efecto positivo en los procesos fotosintéticos en clones de cacao, asociado con un aumento en el contenido de nutrientes, lo que se tradujo en un mejor crecimiento. En resultados obtenidos por Dewi et al. (2020), concluyeron que la producción de cherelles marchitos se relaciona con suelos de baja fertilidad y deficiente nutrición del cacao, lo cual indica que una fertilización equilibrada entre macro y micronutrientes es siempre la mejor alternativa de nutrición en cacao. Del mismo modo, Marrocos et al. (2020) determinaron que zonas cacaoteras con rendimientos iguales o superiores a 1600 kg ha⁻¹ de grano seco, se

correlacionaron positivamente con un adecuado contenido foliar de macro y micronutrientes, entre estos Ca y Zn. En este mismo contexto, Priyono et al. (2020) reportaron que, en suelos poco fértiles, aplicaciones foliares de roca silicatada líquida incrementaron la producción de frutos de cacao en 119%, con relación al control, lo cual puede deberse a que esta fuente es rica en macro y micronutrientes, y entre estos Ca, B y Zn. Resultados similares en la presente investigación, fueron alcanzados por Kumar et al. (2017) en el cultivo de mandarina, donde aplicaciones foliares de Ca, B y Zn incrementaron diámetro, volumen, peso y rendimiento de frutos, con relación al tratamiento control. Otras investigaciones descritas por Haleema et al. (2018), lograron incrementos significativos en el crecimiento y productividad de frutos de tomate, con aplicaciones foliares de Ca, B y Zn. Del mismo modo Maklad et al. (2020) describen mayores incrementos de crecimiento, rendimiento y calidad en mango con cuatro aplicaciones foliares combinadas de Ca, B y Zn, con relación a tratamientos individuales y al control.

Los resultados logrados también evidenciaron que el efecto del horario de aplicación es contundente sobre la respuesta a la fertilización foliar de Ca, B y Zn en cacao, destacando que horas de la mañana y tarde promueven una mayor efectividad del Ca, B y Zn foliar, sobre la producción de frutos. Con lo anterior, se confirman los fundamentos técnico-científicos descritos por Smolen (2012), Fernández et al. (2015), Rajasekar et al. (2017), Alshaal y El-Ramady (2017), quienes mencionan que las aplicaciones foliares efectivas son aquellas que se realizan bajo condiciones ambientales de mayor humedad relativa, bajas temperaturas, baja radiación, menor velocidad del viento y mayor apertura estomática, que son condiciones adecuadas para una mayor solubilidad y punto de delicuescencia de sales y nutrientes, penetración y asimilación por el tejido foliar. Por otra parte, los resultados hallados sugieren una mayor efectividad de los aminoquelatos con relación a sales y quelatos convencionales, como fuentes de nutrición foliar de Ca, B y Zn en cacao. No fue posible contrastar estos resultados, debido a la carencia de trabajos previos en cacao con el uso de aminoquelatos, quelatos y sales a nivel foliar. Sin embargo, en un estudio realizado por Jalali et al. (2019), en plantas de cedrón (*Aloysia citrodora*), se comparó la efectividad de la nutrición foliar con tres fuentes de Zn, que fueron aminoquelato de Zn, sulfato de Zn y Zn-EDTA, donde el aminoquelato de Zn fue el tratamiento que mostró mayor efecto sobre las características de rendimiento cuantitativo y cualitativo del cedrón en comparación con los demás tratamientos. En este sentido, Soury (2016), Soury y Hatamian (2018),

concluyeron que, en comparación con fertilizantes minerales u otros quelantes sintéticos comerciales como EDTA, los aminoquelatos representan una forma de nutrición más segura y eficiente, lo que resulta en un mejor rendimiento de la planta y menos riesgos ambientales. Los aminoquelatos son químicamente muy similares a los aminoácidos de origen natural encontrados en las plantas, lo cual es una ventaja que les permite a los aminoquelatos

complejar los minerales catiónicos, neutralizar sus cargas de una manera más efectiva, por lo que son rápidamente absorbidos, traslocados y metabolizados por la planta (Souri, 2016; Souri y Hatamian, 2018). Las fuentes foliares de Ca, B y Zn con mayor beneficio económico neto fueron los aminoquelatos con un incremento promedio del 42,25 y 65,82%, con relación a los quelatos y sales, respectivamente (Tabla 5). Entre los tiempos

Tabla 5. Beneficio económico neto de la fertilización foliar con Ca, B y Zn en cacao Nacional.
Table 5. Net economic benefit of foliar fertilization with Ca, B and Zn in Ecuador's national cacao.

Fuentes foliares de Ca - B - Zn	Tiempos de aplicación foliar	CT	CqnV	CqV	ICqV	Ren	IRen	PUV	ling	IT	BET	BEN
Sales Ca-B-Zn	6 - 8 horas	1508,20	900	608,20	203,50	31,68	4,70	90	423	2851	1343	220
	11 - 13 horas	1470,52	900	570,52	165,82	29,17	2,19	90	197	2625	1155	31
	16 - 18 horas	1484,69	900	584,69	179,99	30,11	3,13	90	282	2710	1225	102
Quelato Ca-B-Zn	6 - 8 horas	1582,51	900	682,51	277,81	32,10	5,12	90	461	2889	1306	183
	11 - 13 horas	1571,26	900	671,26	266,56	31,35	4,37	90	393	2822	1250	127
	16 - 18 horas	1603,04	900	703,04	298,34	33,47	6,49	90	584	3012	1409	286
Aminoquelato Ca-B-Zn	6 - 8 horas	1855,00	900	955,00	550,30	38,00	11,02	90	992	3420	1565	442
	11 - 13 horas	1801,00	900	901,00	496,30	34,40	7,42	90	668	3096	1295	172
	16 - 18 horas	1850,35	900	950,35	545,65	37,69	10,71	90	964	3392	1542	418
Tratamiento control		1304,70	900	404,70	0	26,98	0	90	0	2428	1124	0

CT: Costos totales (USD ha⁻¹), CqnV: Costos que no varían por la fertilización foliar – USD ha⁻¹ (Fertilización edáfica, podas, riego y control fitosanitario), CqV: Costos que varían por la fertilización foliar – USD ha⁻¹ (Fertilizantes foliares, aplicaciones y labor de cosecha), ICqV: Incremento de costos que varían por la fertilización foliar – USD ha⁻¹ (ICqV = CqV^{tratamientos} - CqV^{control}), Ren: Rendimiento (costales de 45,45 kg ha⁻¹), IRen: Incremento de rendimiento de tratamientos de fertilización foliar con relación al control (IRen = Ren^{tratamientos} - Ren^{control}), PUV: Precio unitario de venta (USD por costal de 45,45 kg), ling: Incremento de ingresos 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 foliar – USD ha⁻¹ (BEN = ling - ICqV).

de aplicación, el mayor beneficio económico neto fue alcanzado por las aplicaciones realizadas por la mañana y tarde, con un incremento del 60,96 y 59,10%, respectivamente, con relación a la aplicación del medio día. Los tratamientos que lograron los mayores ingresos económicos totales y beneficios económicos netos de la fertilización foliar fueron los aminoquelatos aplicados en la mañana y tarde, lo cual es el efecto directo de los mayores incrementos de rendimiento e ingresos, con relación al tratamiento control que solo recibió fertilización edáfica (Tabla 5). Cabe resaltar que el uso de aminoquelatos como fuentes foliares, implica un mayor costo para el productor, debido al mayor precio comercial de estos productos en el mercado local, con relación a los tradicionales quelatos y sales comúnmente usados. Sin embargo, este mayor costo por la adquisición de estos productos es claramente cubierto por el mayor rendimiento del cultivo, que genera un mayor margen de ganancia (Tabla 5). En este contexto, Fageria et al. (2009), describieron que bajo ciertas condiciones y cuando se comprueba deficiencia nutricional en el tejido foliar, la nutrición foliar es más económica, efectiva y justificable. En este mismo contexto, Lovatt (2013), concluyó que cuando es probable que las condiciones del suelo comprometan la absorción de nutrientes por las raíces, la fertilización foliar ha demostrado ser exitosa para aumentar el rendimiento del cultivo y los ingresos económicos para el productor, incluso cuando el árbol no presenta deficiencia de nutrientes según el análisis del tejido foliar. Por su parte, Guvvali et al. (2017) reportaron un mayor beneficio económico en árboles de zapote (*Manilkara achras* Mill) que recibieron fertilización foliar con Zn, Fe y B, en relación el tratamiento control.

Finalmente, los resultados sugieren que el cultivo de cacao, bajo limitaciones nutricionales de suelo, responde positivamente a la fertilización foliar complementaria con Ca, B y Zn, por lo que se muestra como una estrategia agronómica y económicamente viable para incrementar rendimiento y rentabilidad del cultivo de cacao nacional.

CONCLUSIONES

La aplicación foliar de Ca, B y Zn fue efectiva para incrementar el rendimiento y rentabilidad del cacao nacional. La fertilización foliar con aminoquelatos de Ca, B y Zn aplicados en horarios de la mañana y tarde, se presentan como la mejor alternativa nutricional para mejorar la productividad y rentabilidad del cacao nacional, bajo condiciones de suelos con deficiencias nutricionales, especialmente de micronutrientes.

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.

LITERATURA CITADA

- Alexander, A. and M. Hunsche. 2016. Influence of Formulation on the Cuticular Penetration and on Spray Deposit Properties of Manganese and Zinc Foliar Fertilizers. *Agronomy* 6:39. <https://doi.org/10.3390/agronomy6030039>.
- Aldon, D., M. Mbengue, C. Mazars, and J. Galaud. 2018. Calcium Signalling in Plant Biotic Interactions. *Int. J. Mol. Sci.* 19:665. <https://doi.org/10.3390/ijms19030665>.
- Antolinez, E., P. Almanza, A. Barona, E. Polanco, y 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>.
- Alshaal, T., and H. El-Ramady. 2017. Foliar Application: from Plant Nutrition to Biofortification. *Env. Biodiv. Soil Security* 1: 71- 83. <https://doi.org/10.21608/JENVBS.2017.1089.1006>.
- Abou, M., E. Abou, A. Yassen, and S. Hammad. 2021. Boron, Structure, Functions, and Its Interaction with Nutrients in Plant Physiology. A Review. *Middle East J. Agric. Res.* 10(1): 117-179. <https://doi.org/10.36632/mejar/2021.10.1.9>.
- Barrera, V., J. Alwang, T. Casanova, J. Domínguez, L. Escudero, G. Loor, G. Peña, J. Párraga, J. Arévalo, J. Quiroz, O. Tarqui, L. Plaza, I. Sotomayor, F. Zambrano, G. Rodríguez, C. García, y M. Racines. 2019. La cadena de valor del cacao y el bienestar de los productores en la provincia de Manabí-Ecuador. INIAP. Libro técnico No. 171. Arcoíris producciones gráficas. Quito, Ecuador. 204 pp. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5377>.
- Cabot, C., S. Martos, M. Llugany, B. Gallego, R. Tolrá, and C. Poschenrieder. 2019. A Role for Zinc in Plant Defense Against Pathogens and Herbivores. *Front. Plant Sci.* 10:1171. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01171>.

- Cedeño, G., L. Vera, S. Velásquez, G. López, J. Cargua, y G. Cedeño-García. 2022. Macropropagación y calidad de plántulas de plátano (*Musa AAB Simmonds*) en función de sustratos y tamaño de brotes. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales* 9(2):108-118. <https://doi.org/10.23850/24220582.4975>.
- Cuenca, E., Y. Puentes, and J. Menjivar. 2019. Efficient use of nutrients in fine aroma cacao in the province of Los Ríos-Ecuador. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 72(3): 8963-8970. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n3.74862>.
- Duicela, L., y L. Ponce. 2015. Uso de fungicidas sistémicos en el control de la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en la provincia de Manabí. *Revista La Técnica* 15: 6 – 17.
- Dewi, E., P. Yudono, E. Putra, and B. Purwanto. 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>.
- Dilmaghani, M., M. Malakouti, G. Neilsen, and E. Fallahi. 2005. Interactive Effects of Potassium and Calcium on K/Ca Ratio and Its Consequences on Apple Fruit Quality in Calcareous Soils of Iran, *Journal of Plant Nutrition* 27:7, 1149-1162. <https://doi.org/10.1081/PLN-120038541>.
- Eichert, T. 2013. Foliar nutrient uptake - of myths and legends. *Acta Hort.* 984: 69-75. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.984.5>.
- Fageria, V. 2001. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition* 24(8): 1269-1290. <https://doi.org/10.1081/PLN-100106981>.
- Fageria, N., M. Filho, A. Moreria, and M. Guimarães. 2009. Foliar Fertilization of Crop Plants. *Journal of Plant Nutrition* 32(6): 1044-1064. <https://doi.org/10.1080/01904160902872826>.
- Fernández, V., T. Sotiropoulos, and P. Brown. 2015. Fertilización Foliar: Principios Científicos y Práctica de Campo. Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA) Paris, Francia, 156 pp. Disponible en: https://www.guiaverde.com/files/company/03032016122136_libro_2015_foliar_fertilizers_spanish_def.pdf.
- Furcal-Beriguete, P. 2017. Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 28(1): 113-129. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.23236>.
- Gateau-Rey, L., E. Tanner, B. Rapidel, J. Marelli, and S. Royaert. 2018. Climate change could threaten cocoa production: Effects of 2015-16 El Niño-related drought on cocoa agroforests in Bahia, Brazil. *PLoS ONE* 13(7): e0200454. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200454>.
- Ganie, M., F. Akhter, M. Bhat, A. Malik, J. Junaid, M. Shah, A. Bhat, and T. Bhat. 2013. Boron – a critical nutrient element for plant growth and productivity with reference to temperate fruits. *Current Science* 104(1): 76 – 85.
- Gilliham, M., M. Dayod, B. Hocking, B. Xu, S. Conn, B. Kaiser, R. Leigh, and S. Tyerman. 2011. Calcium delivery and storage in plant leaves: exploring the link with water flow. *Journal of Experimental Botany* 62(7):2233–2250. <https://doi.org/10.1093/jxb/err111>.
- Gómez-Vera, P., H. Blanco-Flores, A. Francisco, J. Castillo, and W. Tezara. 2021. Silicon dioxide nanofertilizers improve photosynthetic capacity of two Criollo cocoa clones (*Theobroma cacao* L.). *Experimental Agriculture* 57(2), 85–102. <https://doi.org/10.1017/s0014479721000065>.
- Guvvali, T., T. Sampath, A. Shirol, R. Bhaskar, P. Nirmala, and S. Koulagi. 2017. Influence of micronutrients on growth, yield and economy of sapota cv. kalipatti under hdp system. *International Journal of Agricultural Science and Research* 7(3): 401 – 408. <https://doi.org/10.24247/ijasrjun201751>.
- Haleema, B., A. Rab, and S. Hussain. 2018. Effect of Calcium, Boron and Zinc Foliar Application on Growth and Fruit Production of Tomato. *Sarhad Journal of Agriculture* 34(1): 19-30. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2018/34.1.19.30>.
- Hocking, B., S. Tyerman, R. Burton, and M. Gilliham. 2016. Fruit Calcium: Transport and Physiology. *Front. Plant Sci.* 7:569. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00569>.
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). 2020. Módulo de Información Agroambiental y Tecnificación Agropecuaria. Boletín técnico N-02-2020-MOD_AMB_ESPAC. Quito, Ecuador. 11 p. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Encuestas_Ambientales/Modulo_Ambiental_ESPAC_2019/DOC_TEC_MOD_AGROAMB_2019_11.pdf.
- Jaimez, R., R. Loor, F. Arteaga, V. Marquez, and W. Tezara. 2021. Differential response of photosynthetic activity, leaf nutrient content and yield to long-term drought in cacao clones. *Acta Agronómica* 70(3).

- Jakobsen, S. 1993. Interaction between Plant Nutrients: IV. Interaction between Calcium and Phosphate, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science* 43(1): 6-10.
- Jalali, M., M., Feyzian, A. Zare, and H. Najafgholi. 2019. Comparison of the efficiency of some different Zn sources on quantitative and qualitative yield of Lemon verbena. *Journal of Plant Process and Function* 8(31): 45 – 55.
- Kumar, M., M. Jain, J. Singh, and J. Sharma. 2017. Effect and economic feasibility of preharvest spray of Calcium Nitrate, Boric Acid and Zinc Sulphate on yield attributing characters of Nagpur mandarin (*Citrus reticulata* blanco). *Horticulture International Journal* 1(1): 23 – 28. <https://doi.org/10.15406/hij.2017.01.00004>.
- Kouadio, S., E. Tienebo, K. Kouamé, L. Koko, and K. Abo. 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>.
- 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>.
- Lucena, J. 2009. El empleo de complejantes y quelatos en la fertilización de micronutrientes. *Ceres* 56(4): 527-535.
- Macías, R., G. Cuenca, F. Intriago, C. Caetano, J. Menjívar, and H. Pacheco. 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., G. Loureiro, Q. de Araujo, G. Sodr , D. Ahnert, R. Escalona-Valdez, and V. Baligar. 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>.
- Maklad, T., O. El-Sawwah, and S. Nassar. 2020. Effect of Calcium, Zinc and Boron Treatments on Flowering, Yield and Fruit Quality of Mango Ewais Cultivar. *Journal of Plant Production* 11(12): 1463 – 1468. <https://doi.org/10.21608/jpp.2020.149819>.
- Motato, N. y J. Pincay. 2015. Calidad de los suelos y aguas para riego en áreas cacaoteras de Manabí. *Revista La Técnica* 14: 6 – 23.
- Niu, J., C. Liu, M. Huang, K. Liu, and D. Yan. 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>.
- Olle, M., and I. Bender. 2009. Causes and control of calcium deficiency disorders in vegetables: a review, *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 84(6):577-584. <http://dx.doi.org/10.1080/14620316.2009.11512568>.
- Prasad, R., Y. Singh, and G. Kumar. 2016. Interactions of Zinc with Other Nutrients in Soils and Plants - A Review. *Indian Journal of Fertilisers* 12 (5): 16-26.
- Prezotti, L., J. Gomes, G. Dadalto, J. Oliveira. 2007. Manual de recomenda  de calagem e aduba  para o estado do Espírito Santo. 5  aproxima . Vit ria, ES: SEEA/ INCAPER/CEDAGRO. Disponible en: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/123456789/3242/1/manualderecomendacaodecalagemeadubacao.pdf>.
- 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>.
- Quiroz, J., S. Mestanza, N. Parada, E. Morillo, I. Samaniego, y I. Garzón. 2021. Catálogo de cultivares de cacao en Ecuador. 1era. Ed. 2021. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Boletín T cnico No. 449.
- Raliya, R., V. Saharan, C. Dimkpa, and P. Biswas. 2018. Nanofertilizer for precision and sustainable agriculture: current state and future perspectives. *J. Agric. Food Chem.* 66:6487–6503. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02178>.
- Rajasekar, M., D. Nandhini, and S. Suganthi. 2017. Supplementation of Mineral Nutrients through Foliar Spray-A Review. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 6(3): 2504-2513. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.603.283>.
- Romero, A., A. Camargo, O. Ramírez, P. Arenas, and A. Gallego. 2022. A Crop Modelling Strategy to Improve Cacao Quality and Productivity. *Plants* 2022 11: 157. <https://doi.org/10.3390/plants11020157>.
- Ruales, S., H. Burbano y W. Ballesteros. 2011. Efecto de la fertilización con diversas fuentes sobre el rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Ciencias Agr colas* 28(2): 81 – 94.

- Smolen, S. 2012. Foliar Nutrition: Current State of Knowledge and Opportunities. 4, 41 – 58 pp. In: A.K. Srivastava (ed.), *Advances in Citrus Nutrition*. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4171-3_4.
- Sharafi, Y. 2019. Effects of zinc on pollen gamete penetration to pistils in some apple crosses assessed by fluorescence microscopy. *Caryologia* 72(3): 63-73. <https://doi.org/10.13128/cayologia-258>.
- Somarriba, E., F. Peguero, R. Cerda, L. Orozco-Aguilar, A. López-Sampson, M. Leandro-Muñoz, P. Jagoret, and F. Sinclair. 2021. Rehabilitation and renovation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) agroforestry systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 41:64. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00717-9>.
- Souri, M. 2016. Aminochelate fertilizers: the new approach to the old problem; a review. *Open Agriculture* 1: 118-123. <https://doi.org/10.1515/opag-2016-0016>.
- Souri, M. and M. Aslani. 2018. Beneficial effects of foliar application of organic chelate fertilizers on French bean production under field conditions in a calcareous soil. *Adv. Hort. Sci.* 32(2): 265-272. <https://doi.org/10.13128/ahs-21988>.
- Souri, M. and M. Hatamian. 2018. Aminochelates in plant nutrition: a review. *Journal of Plant Nutrition* 42(1): 67 – 78. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1549671>.
- Shireen, F., M. Nawaz, C. Chen, Q. Zhang, Z. Zheng, H. Sohail, J. Sun, H. Cao, Y. Huang, Z. Bie. 2018. Boron: Functions and Approaches to Enhance Its Availability in Plants for Sustainable Agriculture. *Int. J. Mol. Sci.* 19: 1856. <https://doi.org/10.3390/ijms19071856>.
- Sotiropoulos, T., A. Voulgarakis, D. Karaiskos, T. Chatzistathis, I. Manthos, O. Dichala, and A. Mpountla. 2021. Foliar calcium fertilizers impact on several fruit quality characteristics and leaf and fruit nutritional status of the 'Hayward' kiwifruit cultivar. *Agronomy* 11: 235. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020235>.
- Tonetto de Freitas, S., and E. Mitcham. 2012. Factors involved in fruit calcium deficiency disorders. *Horticultural Reviews*, Volume 40, First Edition. Edited by Jules Janick. © 2012 Wiley-Blackwell. Published 2012 by John Wiley & Sons, Inc.
- Tripathi, R., R. Tewari, K. Singh, C. Keswani, T. Minkina, A. Srivastava, U. De Corato, and E. Sansinenea. 2022. Plant mineral nutrition and disease resistance: A significant linkage for sustainable crop protection. *Front. Plant Sci.* 13:883970. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.883970>.
- Wickramasuriya, A., and J. Dunwell. 2018. Cocoa biotechnology: current status and future prospects. *Plant Biotechnology Journal* 16: 4–17. <https://doi.org/10.1111/pbi.12848>.
- Van Vliet, J. and K. Giller. 2017. Mineral nutrition of cocoa: A Review. *Advances in Agronomy* 141: 185 – 270. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.017>.
- Yadav, M. and V. Solanki. 2015. Use of micronutrients in tropical and sub-tropical fruit crops: A review. *African Journal of Agricultural Research* 10(5): 416 – 422. <https://doi.org/10.5897/AJAR2014.9287>.
- Zahed, Z., S. Kumar, A. Mahale, R. Krishna, and S. Mufti. 2021. Foliar Micro-nutrition of Vegetable Crops - A Critical Review. *Current Journal of Applied Science and Technology* 40(7): 1-12.