

INTERACCIÓN DE N, P Y K SOBRE CARACTERÍSTICAS DEL SUELO, CRECIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE CACAO EN LA AMAZONÍA ECUATORIANA

Rebeca Herrera¹, Santiago C. Vásquez¹, Fernando Granja¹, Marlene Molina-Müller¹, Mirian Capa-Morocho¹ y Alex O. Guamán¹

RESUMEN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los cultivos más importantes de Ecuador; sin embargo, su producción está limitada, entre otros factores, por la nutrición. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la fertilización combinada de nitrógeno, fósforo y potasio sobre características del suelo, rasgos de crecimiento y calidad de brotes y frutos en cacao. El experimento se realizó bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial, con tres factores, N, P y K, y dos niveles por factor (con fertilización y sin fertilización), más un testigo absoluto sin fertilización. Se evaluaron las características químicas del suelo incluyendo el pH, y el contenido de N, P, K, Ca y Mg. También se evaluaron los brotes nuevos midiendo su número, longitud, área foliar y tasa de crecimiento. En los frutos, se determinó el peso, el largo y la tasa de crecimiento. En brotes y frutos, se evaluaron rasgos de calidad incluyendo materia seca, fibra, cenizas, grasas y proteínas. Se encontraron interacciones significativas entre los nutrientes aplicados, los cuales, incrementaron el contenido de P y K, y disminución del Ca y Mg del suelo. La fertilización con sólo N no afectó el crecimiento de los brotes y el área foliar. Las interacciones de los elementos primarios incrementaron significativamente la materia seca y fibra de los brotes, mientras que, el crecimiento y calidad de los frutos no se modificaron.

Palabras clave adicionales: Fertilización, NPK, nutrición, *Theobroma cacao*

ABSTRACT

Interaction of N, P and K on soil characteristics, growth and quality of cocoa sprouts and fruits in Ecuadorian Amazon
Cocoa (*Theobroma cacao* L.) is one of the most important crops in Ecuador; however, its production is limited, among other factors, by the crop nutrition. The objective of this research was to determine the effect of the combined nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on soil characteristics, growth traits and quality of shoots and fruits in cocoa. The experiment was carried out under a completely randomized design with factorial arrangement, with three factors, N, P and K, and two levels by factor (with and without fertilization), plus an absolute control without fertilization. The chemical characteristics of the soil, including pH, N, P, K, Ca and Mg content were evaluated. New shoots were also evaluated by measuring its number, length, leaf area, and growth rate. In the fruits, the weight, length and growth rate were measured. In shoots and fruits, quality traits including dry matter, fiber, ash, lipids and protein content were measured. Significant interactions of the applied nutrients were found, which increased the content of P and K, and decreased Ca and Mg of the soil. The N fertilization alone did not affect the growth of the shoots and foliar area. The interactions of the primary elements significantly increased the dry matter and fiber of the shoots, while the growth and quality of fruits were not modified.

Additional keywords: Fertilization, NPK, nutrition, *Theobroma cacao*

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.), perteneciente a la familia Malvaceae, es originario de la cuenca alta del Amazonas (Zarrillo et al., 2018) y representa un cultivo que se convirtió en unos de los primeros productos que Ecuador exportó a

Europa (Contreras, 1994). Actualmente, se proyectan incrementos importantes en la demanda mundial de cacao, lo que podría generar un déficit de granos de cacao en los próximos años (Beg et al., 2017; Meza et al., 2020). A pesar de que el cacao es uno de los principales cultivos de interés económico y agrícola, la información sobre los

Recibido: Agosto 1, 2021

Aceptado: Abril 18, 2022

¹ Carrera de Agronomía. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional de Loja. Campus La Argelia, 110150. Loja - Ecuador. e-mail: rxherreram@unl.edu.ec; santiago.vasquez@unl.edu.ec (autor de correspondencia); johnny.granja@unl.edu.ec; marlene.molina@unl.edu.ec; mirian.capa@unl.edu.ec; alex.guaman@unl.edu.ec

factores que determinan su rendimiento es escasa (Moreno et al., 2020).

Se informa que el rendimiento potencial del cacao podría alcanzar $5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Van Vliet y Giller, 2017); sin embargo, los promedios de rendimiento mundial, incluido el de Ecuador, apenas se aproximan a $0,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (MAG, 2018; FAOSTAT, 2019). Como en todos los cultivos, el rendimiento depende de varios factores, entre los cuales, se pueden mencionar el genotipo, manejo agronómico, condiciones climáticas, fertilidad del suelo y la nutrición vegetal (Van Ittersum et al., 2013). Dado que en Ecuador existe amplia diversidad genética del cacao (Carranza et al., 2020), es la nutrición el aspecto reconocido como una de las principales limitantes del rendimiento del cultivo (Snoeck et al., 2016; Marrocos et al., 2020).

En Ecuador, el cacao se cultiva en diferentes ambientes, incluyendo la región costera y amazónica, las cuales, difieren en la fertilidad del suelo, condiciones meteorológicas y sistemas de producción. A pesar de la importancia de la fertilidad del suelo sobre el rendimiento de este cultivo (Kongor et al., 2019), los productores en la Amazonía Ecuatoriana tienen pocas nociones sobre el manejo técnico de la fertilización del cacao (Zambrano y Chávez, 2018), lo cual podría estar relacionado con la baja productividad de los huertos. Adicionalmente, existe escasa información sobre el efecto de la fertilización en genotipos locales de cacao cultivados en la zona Amazónica de Ecuador.

Las investigaciones primarias en cacao se realizaron hace más de 40 años; sin embargo, hasta ahora existe mucha ambigüedad en los estudios de fertilización (Van Vliet y Giller, 2017), debido a que la mayoría de trabajos que han estudiado el efecto de los nutrientes sobre el crecimiento y producción del cacao, generalmente han puesto poca atención a las posibles interacciones entre los elementos nutricionales (Oyewole et al., 2012; Sitompul et al., 2014; Famuwagun y Oladitan, 2020). En consecuencia, no hay claridad sobre los efectos de los nutrientes en este cultivo. En este sentido, es fundamental generar información que permita incrementar el conocimiento sobre la nutrición en cacao, lo que es relevante para mejorar su rendimiento (Van Vliet y Giller, 2017). Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo determinar el

efecto combinado de la fertilización con los elementos primarios nitrógeno, fósforo y potasio, sobre el crecimiento y calidad de los brotes y frutos en el cultivo de cacao, en una zona de la Amazonía de Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal, ubicación del experimento y características del clima. El experimento se llevó a cabo en un huerto productivo con plantas del genotipo CCN-51, de 5 años de edad, con una densidad de $816 \text{ plantas}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($3,5 \times 3,5 \text{ m}$), ubicado en Piuntza, Zamora Chinchipe, Ecuador ($03^{\circ}52' \text{ S}$, $78^{\circ}52' \text{ W}$; 978 msnm). Es una zona tropical, con una temperatura promedio anual de 22°C , precipitación 2300 mm, evapotranspiración de 1237 mm y humedad relativa media de 90 % (PDOT, 2015).

Propiedades químicas del suelo. El análisis del suelo, realizado por métodos rutinarios, indicó las siguientes características: pH 4,7; capacidad de intercambio catiónico $11,2 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ y materia orgánica 4,0 %. Asimismo (en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) $47,0 \text{ NH}_4$; 22,0 P; 145,0 K; 494,0 Ca; 195 Mg; 16,0 S; 4,1 Zn; 6,5 Cu; 711,0 Fe; 34,0 Mn y 0,5 B. Estos valores fueron considerados para el cálculo de las dosis de los tratamientos de fertilización.

Previo a la aplicación mensual de los tratamientos de fertilización, en cada unidad experimental, se colectaron muestras de suelo, a una profundidad de 20 cm, en los lugares donde se aplicaron los fertilizantes, y se determinó el pH por volumetría potenciométrica en relación 1:2,5 al inicio y 115 días después. Al final del experimento, se realizó un análisis de las características químicas del suelo evaluando el contenido de N y P por colorimetría, K, Ca y Mg por absorción atómica en tres repeticiones por tratamiento.

Diseño experimental y tratamientos. Debido a que el suelo tenía deficiencias en Ca, B, y alta acidez, se realizó un encalado y corrección de los elementos usando CaCO_3 en una dosis de $1635 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, en dos aplicaciones mensuales antes del inicio de los tratamientos, y B (10 %) en una dosis de $3,47 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

El ensayo se estableció bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial, donde se evaluaron ocho tratamientos de fertilización, compuestos por los factores N, P_2O_5 y K_2O , y las

combinaciones entre ellos (Cuadro 1). Cada factor con dos niveles: sin fertilización y con fertilización; cada tratamiento con 5 repeticiones y un árbol por unidad experimental (un total de 40 unidades experimentales).

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización acumulada durante 4 meses en el cultivo de cacao

Tratamiento		Factores (kg·ha ⁻¹)		
Número	Nombre	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Testigo	0	0	0
2	N	77	0	0
3	P	0	51	0
4	N+P	77	51	0
5	K	0	0	68
6	N+K	77	0	68
7	P+K	0	51	68
8	N+P+K	77	51	68

La dosis de cada tratamiento se determinó a partir del análisis de suelo y la absorción del cultivo, aplicando NH₄NO₃; P₂O₅ y K₂O para N, P y K, respectivamente, usando el modelo básico de fertilización demanda-suministro:

$$Dosis = \frac{Demanda - Suministro}{Eficiencia de fertilización}$$

Se empleó una eficiencia de 50, 15 y 40 % para N, P y K, respectivamente, según Baligar y Bennett (1986), y para los requerimientos nutricionales del cultivo se usó la información propuesta por Arvelo et al. (2017). La fertilización se fraccionó mensualmente durante los cuatro meses del experimento; las aplicaciones se realizaron alrededor de la planta, tomando como referencia la copa del árbol aproximadamente de 1,0 m de distancia desde la base del tallo, a una profundidad de 5 cm, en 4 puntos alrededor de la misma.

Con el propósito de disminuir el error experimental los árboles fueron seleccionados considerando los siguientes criterios de homogeneidad: 3 a 4 número de ramas, 1,8 a 2,0 m de altura, 5 años de edad, plantas en el estadio 60 de la escala BBCH (floración) (Niemenak et al., 2010). Así mismo, no se evaluaron las hileras de los extremos de la parcela para evitar el efecto

borde, y se procuró aplicar tratamientos en árboles bien separados entre sí para evitar traslape de la fertilización.

Crecimiento de estructuras vegetativas. En el tercio medio de la copa de cada unidad experimental se marcaron cinco brotes en crecimiento activo, y al finalizar el experimento (115 días) se registró la longitud, tasa de crecimiento absoluta y relativa de los brotes, de acuerdo con estudios previos de Morandi et al. (2011) y Bastías et al. (2014). Además, se contabilizó el número de metámeros y el área foliar de cada brote. Para la determinación del área foliar, se recolectaron hojas de diferente tamaño, es decir, desde estados iniciales de desarrollo hasta hojas totalmente expandidas, cuya área, digitalizada mediante fotografías, se determinó usando el programa Adobe Photoshop CS4, y posteriormente, usando análisis de regresión no lineal con las dimensiones de la hoja, se encontró una ecuación con el ancho de la hoja ($y = 1,9944 x^{2,0698}$; $R^2 = 0,98$; $P \leq 0,001$). Esta ecuación permitió estimar el área foliar de todas las hojas a partir de su ancho en cada brote evaluado, según Kumar (2009).

Crecimiento de frutos. En cada árbol, se marcaron cinco frutos en estadio BBCH 72 (20 % del tamaño final del fruto), a los cuales se les registró el largo hasta la madurez fisiológica. El peso del fruto se estimó usando un análisis de regresión, relacionando el peso fresco de frutos de distinto tamaño, con las dimensiones de largo y ancho del fruto. El peso de los frutos marcados se estimó usando una ecuación con la dimensión del largo del fruto, que fue la variable que mostró un mejor ajuste ($y = 0,0998 x^{2,6806}$; $R^2 = 0,99$; $P \leq 0,001$). Además, se determinó la tasa de crecimiento absoluta y relativa de los frutos, según estudios de Morandi et al. (2011) y Bastías et al. (2014).

Contenido nutricional en brotes y frutos. En la madurez fisiológica, se colectaron frutos y brotes, con cuatro repeticiones por cada tratamiento, y se analizó de manera independiente el exocarpo y las almendras. A continuación, se aplicaron las normas AOAC 925.10, 923.03, 978.10 y 920.39 (AOAC, 1990; 2005; 2012) con la finalidad de obtener la materia seca de las muestras luego de secadas hasta peso constante en estufa a 65 °C, así como las cenizas determinadas por el método

gravimétrico, la fibra cruda por doble hidrólisis ácido-básica, la grasa bruta o extracto etéreo en los frutos mediante el método Soxhlet y las proteínas mediante el método de kjeldahl.

Análisis estadísticos. Los datos registrados fueron examinados estadísticamente mediante un análisis de varianza multifactorial en función de los elementos primarios N, P y K y sus combinaciones. Posteriormente, se hicieron pruebas de comparación múltiple de medias usando la prueba de Tukey. Todos los análisis se realizaron utilizando el software Infostat 2015 (Universidad de Córdoba, Argentina).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del suelo. Los suelos de la Amazonía Ecuatoriana se caracterizan por su elevada acidez (Martín y Pérez, 2009), lo cual puede limitar la disponibilidad de nutrientes para el cultivo. En la presente investigación, el pH del suelo, al inicio del experimento, fue de 4,7, un nivel crítico para la absorción de varios nutrientes. Posterior al encalado, el pH subió en un rango entre 0,8 y 2,7 unidades, lo que mejoraría la disponibilidad de la mayoría de nutrientes, como en estudios previos (Rosas et al., 2019). Sin embargo, con la adición de los fertilizantes el pH en el suelo mostró una tendencia a la acidificación, como se observó a los 115 días, llegando a un pH= 4,57 (Figura 1), atribuido a la acción acidificante de los fertilizantes y el efecto de mayor extracción de bases por las plantas (Heinze et al., 2010). El tratamiento testigo (pH=6,16), no mostró disminución del pH. Estos resultados, sugieren monitorear y corregir el pH para evitar limitaciones en la disponibilidad de nutrientes, debido a la acidificación de los suelos, luego de la aplicación de fertilizantes.

El contenido de N, P, K, Ca y Mg en el suelo, cuantificado al final del experimento (115 días) se presenta en el Cuadro 2. Respecto al nitrógeno, no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos, probablemente debido al importante contenido inicial de este elemento en el suelo, previo a los tratamientos. Asimismo, también pudo influir la alta movilidad de este elemento en suelo, como se ha señalado en estudios previos, donde las concentraciones de nitrógeno en el suelo han fluctuado significativamente en muy poco tiempo (Bertsch, 2005; Van Vliet y Giller, 2017).

Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos con respecto al contenido de fósforo, destacando que su incremento solamente ocurrió en los tratamientos que incluían la adición del elemento al suelo (Cuadro 2). Este resultado indica que se pudo detectar en el suelo un contenido considerable de fósforo, a pesar de que una buena parte del fósforo aplicado posiblemente se fijó en el suelo en fracciones que estarían poco disponibles para las plantas (Fernández, 2007).

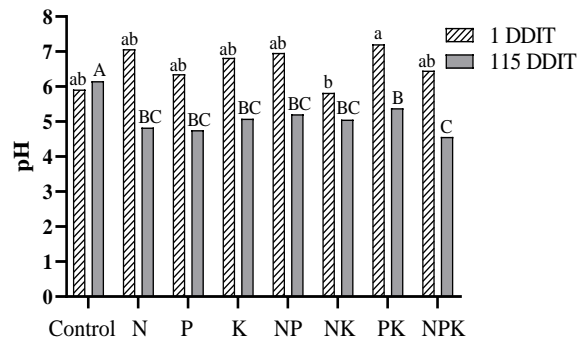


Figura 1. Valores de pH en el suelo en el cultivo de cacao en dos momentos después del inicio de los tratamientos de fertilización. Medias con distinta letra dentro de columnas del mismo tipo difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Letras minúsculas corresponden al día 1 y mayúsculas al día 115

Asimismo, se encontraron efectos significativos ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos con respecto al contenido de potasio, y como era de esperarse, los menores valores se encontraron siempre en los tratamientos que no incluían este elemento. Es decir, las aplicaciones de potasio, en todos los casos, incrementaron su contenido en el suelo; inclusive hubo un efecto sinérgico cuando se aplicó K+P (Cuadro 2), a la vez que se observó el menor contenido de potasio en el suelo en el tratamiento que incluyó solamente aplicación de nitrógeno. Las mayores concentraciones de potasio en el suelo incrementan la probabilidad de ser absorbido en plantas adultas de cacao (Hartemink y Donald, 2005; Puentes et al., 2014), lo que es relevante para el rendimiento del cultivo. Adicionalmente, se conoce que la hojarasca contiene cantidades de potasio altamente soluble (Andrews et al., 2021) que, en combinación con

las altas precipitaciones de la zona de estudio, pudieron contribuir al incremento de los niveles generales de potasio encontrados en esta investigación.

La respuesta hallada para el potasio es similar a lo encontrado en estudios anteriores (Britto y Kronsucker, 2008; Fernández et al., 2016), e indica que la menor residualidad en el suelo ocurrió cuando no se fertilizó con K, y a la vez sugiere una importante absorción del mismo. Es importante garantizar el K en un nivel adecuado en el suelo, debido a que la deficiencia podría ser crítica durante la etapa reproductiva y de crecimiento de frutos.

Se produjo un efecto significativo ($P \leq 0,05$) de la interacción NxP sobre los contenidos de calcio y

magnesio en el suelo (Cuadro 2). Fernández (2007) señala que una de las interacciones más comunes en el suelo precisamente está dada por NxP, donde el nitrógeno puede jugar un papel crítico en la asimilación del fósforo, e inducir un incremento en la absorción de éste por parte de la planta (Sunmer y Farina, 1986). La forma en que la planta toma el nitrógeno (nitrato o amonio) también tiene repercusión en la toma de fósforo. Si el nitrógeno se absorbe predominantemente como amonio hay disminución del pH, mientras que si es el nitrato el que es absorbido de forma preferencial hay aumento del pH (Barber, 1984); dado que el fósforo es absorbido a pH neutro o ligeramente ácido, su disponibilidad estará influenciada según la forma absorbida de nitrógeno.

Cuadro 2. Concentración de elementos en el suelo en el cultivo de cacao bajo diferentes tratamientos de fertilización a los 115 días después del inicio de las aplicaciones

Tratamiento			Concentración del elemento en el suelo ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)					
N	P	K	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	
0	0	0	108,0	42,0 b	73,0 cd	1195,7 a	218,3 a	
77	0	0	120,6	32,6 b	50,8 d	54,7 ab	126,8 b	
0	51	0	135,0	318,3 a	170,6 bcd	614,5 ab	134,9 b	
0	0	68	85,0	40,0 b	443,1 ab	921,8 ab	153,5 ab	
77	51	0	179,0	302,0 a	134,3 cd	1068,7 a	159,6 ab	
77	0	68	148,0	29,3 b	248,9 abcd	317,9 b	109,7 b	
0	51	68	96,6	369,0 a	475,7 a	761,5 ab	145,8 b	
77	51	68	125,7	377,0 a	346,7 abc	1148,9 a	148,3 b	
Significancia			ns	***	*	*	*	
Interacciones			NxP	ns	ns	ns	*	*
			NxK	ns	ns	ns	ns	
			PxK	ns	ns	ns	ns	
			NxPxK	ns	ns	ns	ns	

Medias con distinta letra dentro de la misma columna difieren estadísticamente según la prueba de Tukey.

*: $P \leq 0,05$ y ***: $P \leq 0,001$; ns: no significativo ($P > 0,05$), según el ANOVA

Por otra parte, se observó que los contenidos de calcio y magnesio fueron superiores ($P \leq 0,05$) en el tratamiento testigo, es decir, en el cual no se aplicó fertilización. Es importante mantener el equilibrio de la relación N/Mg, ya que podría verse afectada la disponibilidad de magnesio en el suelo (Puentes et al., 2015; Fernández et al., 2016).

Crecimiento de los brotes. El largo de los brotes evaluado a los 115 días no fue afectado por los tratamientos de fertilización ($P > 0,05$),

probablemente porque el suministro de nutrientes del suelo fue suficiente para lograr el crecimiento de los brotes durante el periodo evaluado. Por el contrario, se encontró el menor número de metámeros cuando se fertilizó con fósforo, lo que indica un efecto negativo ($P \leq 0,05$) del tratamiento fósforo sobre el número de metámeros por brote (Cuadro 3).

En general, el número de metámeros en todos los tratamientos está dentro de los rangos

reportados en otros estudios (Almeida y Valle, 2007). Considerando que, previo a la aplicación de los fertilizantes, el suelo tenía un nivel alto de fósforo ($22 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), el efecto significativo de este elemento podría deberse a un exceso, que pudo afectar el crecimiento vegetal por su consecuencia deficitaria en otros nutrientes. Al respecto, Novoa et al. (2018) señalan que el exceso de fósforo puede afectar el crecimiento de órganos vegetativos.

La mayor tasa de crecimiento absoluta de los brotes se consiguió con la aplicación de nitrógeno ($0,75 \text{ cm}\cdot\text{día}^{-1}$), mientras que la menor tasa se observó cuando se fertilizó con fósforo ($0,36 \text{ cm}\cdot\text{día}^{-1}$); sin embargo, no hubo efectos significativos de los tratamientos sobre esta variable ($P>0,05$). Se observó un efecto positivo de la fertilización nitrogenada sobre la tasa de crecimiento relativa, alcanzándose el valor máximo a los 115 días ($0,15 \text{ mm}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$) (Cuadro 3), resaltando el papel de nitrógeno en el crecimiento de brotes, tal como fue reportado por Da Silva et al. (2012).

En contraste con lo anterior, el área foliar a los 115 días, no fue afectada por la aplicación de

nitrógeno (Cuadro 3). El nitrógeno es uno de los elementos que están relacionados con el incremento del crecimiento de los cultivos (Arguello y Moreno, 2014); sin embargo, en el presente trabajo la aplicación individual de este elemento no favoreció la expansión foliar de los brotes, resultado que pudiera estar relacionado con el relativamente alto nivel inicial de nitrógeno en el suelo ($47 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de NH_4). Asimismo, se reporta que la respuesta a la adición del nitrógeno es mayor en plantas jóvenes (Appiah et al., 2000), comparado con las plantas adultas, como las analizadas en este estudio. En cacao, altos niveles de nitrógeno podrían afectar la absorción de otros elementos como el potasio, lo que a su vez tendría consecuencias sobre el crecimiento de algunos órganos (Puentes et al., 2016), y específicamente en órganos fotosintéticos como son las hojas (Bot et al., 1998).

Crecimiento de los frutos. Las variables de crecimiento del fruto como longitud, peso y tasa de crecimiento no fueron afectadas ($P>0,05$) por los tratamientos de fertilización (Cuadro 4).

Cuadro 3. Número de metámeros, longitud, área foliar y tasas de crecimiento de los brotes de cacao bajo diferentes tratamientos de fertilización a los 115 después del inicio de las aplicaciones

Tratamientos			Brotes				
N	P	K	Largo (cm)	Número de metámeros	Área foliar (cm^2)	TCA ($\text{cm}\cdot\text{día}^{-1}$)	TCR ($\text{mm}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$)
0	0	0	24,5	8,79 ab	7787,4	0,44	0,07
77	0	0	27,9	9,86 a	6374,9	0,75	0,15
0	51	0	20,7	7,33 b	7797,4	0,36	0,07
0	0	68	25,6	9,21 ab	9476,8	0,64	0,10
77	51	0	24,1	7,61 b	7063,7	0,55	0,09
77	0	68	26,6	9,18 ab	6425,9	0,66	0,10
0	51	68	25,3	8,43 ab	9697,2	0,64	0,11
77	51	68	21,9	7,45 b	7478,8	0,66	0,13
Significancia			ns	**	ns	ns	ns
Interacciones							
NxP			ns	ns	ns	ns	ns
NxK			ns	ns	ns	ns	ns
PxK			ns	ns	ns	ns	ns
NxPxK			ns	ns	ns	ns	ns

TCA: tasa de crecimiento absoluta; TCR: tasa de crecimiento relativa. Medias con distinta letra dentro de la misma columna difieren estadísticamente según la prueba de Tukey. **: $P\leq 0,01$; ns: no significativo ($P>0,05$), según el ANOVA

La escasa sensibilidad del crecimiento del fruto a la aplicación de fertilizantes encontrada en este estudio, puede deberse a que, en los tratamientos incluido el testigo, no hubo limitantes nutricionales que afectaran el crecimiento de los frutos. Así mismo, el efecto de la fertilización podría ser más notorio en el siguiente periodo de producción, posterior a la aplicación de los tratamientos. El impacto de la fertilización es más evidente en ambientes con menos recursos, como se muestra en otros estudios donde el K y N están asociados con el tamaño y la calidad de frutos del cacao (Pellerin et al., 2000; Almeida y Valle, 2007; Snoeck et al., 2016).

Contenido nutricional de brotes y frutos. Los

contenidos de materia seca y fibra de los brotes a los 115 días mostraron una interacción significativa de N \times P \times K ($P\leq 0,05$), encontrándose mayores valores de materia seca en los tratamientos donde se aplicaron los tres nutrientes, así como en aplicaciones aisladas de N o P, mientras que el mayor contenido de fibra bruta del brote se alcanzó con aplicaciones de P+K (Cuadro 5). Estos resultados sugieren que la fertilización conjunta de los elementos primarios puede tener un impacto sobre algunos aspectos de la calidad de los nuevos brotes, los cuales son una fuente importante de recursos para los órganos reproductivos, por lo que podrían ser relevantes para el establecimiento de los órganos destino.

Cuadro 4. Longitud, peso y tasa de crecimiento de los frutos de cacao bajo diferentes tratamientos de fertilización a los 115 días después del inicio de las aplicaciones

N	P	K	Largo (cm)	Peso (g)	TCA (g.día ⁻¹)	TCR (mg.g ⁻¹ .día ⁻¹)	
0	0	0	23,82	459,42	13,61	0,15	
77	0	0	22,83	457,07	12,04	0,12	
0	51	0	22,52	439,10	11,22	0,11	
0	0	68	23,08	465,72	11,90	0,11	
77	51	0	22,93	451,65	11,54	0,12	
77	0	68	24,64	558,54	14,95	0,14	
0	51	68	23,90	504,26	13,62	0,15	
77	51	68	23,18	460,62	12,34	0,14	
Significancia			ns	ns	ns	ns	ns
Interacciones							
			N \times P	ns	ns	ns	ns
			N \times K	ns	ns	ns	ns
			P \times K	ns	ns	ns	ns
			N \times P \times K	ns	ns	ns	ns

TCA: tasa de crecimiento absoluta; TCR: tasa de crecimiento relativa. ns: no significativo ($P>0,05$), según el ANOVA

El conocimiento actual sobre la demanda de nutrientes en los nuevos brotes no está claro (Van Vliet y Giller, 2017; Marrocos et al, 2020). Existe información que las hojas viejas cubren completamente la demanda de los nuevos brotes (Almeida y Valle, 2007); sin embargo, los resultados de la presente investigación, muestran que la materia seca y fibra de los nuevos brotes puede incrementarse con el aporte de fertilizantes, indicando una sensibilidad al aporte de nutrientes, lo que podría tener implicaciones en la relación fuente-demanda.

La cantidad de cenizas de los brotes a los 115 días mostró diferencias con la aplicación de N ($P\leq 0,05$), encontrándose una disminución significativa con respecto al tratamiento con sólo P, y ligeramente inferior al testigo, aunque sin significancia estadística (Cuadro 5). El incremento de fertilización nitrogenada puede disminuir la eficiencia de uso, absorción y utilización del nitrógeno (Hosseini et al., 2017), lo que podría explicar la disminución de las cenizas en el brote, si se considera el importante contenido de nitrógeno del suelo antes de la fertilización. Esta

respuesta al nitrógeno es similar a lo que se expuso previamente en relación al área foliar y a la tasa de crecimiento del brote.

Recientemente, Marrocos et al. (2020) encontraron una relación negativa entre el contenido de N foliar y la productividad del cacao, lo cual podría compararse con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Respecto a la calidad nutricional de los frutos, se observó un efecto significativo de las interacciones NxP, NxK y PxK en el contenido de grasa del exocarpo (Cuadro 5); sin embargo, este efecto no se observó en las almendras, donde este parámetro tiene mayor importancia para la industria

alimentaria. Los contenidos de grasa están en concordancia con reportes previos donde se indican valores entre 1 y 6 % (Vriesmann et al., 2011). Se destaca que los valores de ceniza en el exocarpo fueron superiores a 6,9 % en todos los tratamientos, superando valores reportados previamente de 6.70 % (Vriesmann et al., 2011), posiblemente, como consecuencia de la buena fertilidad del suelo, como se comentó anteriormente. El contenido de proteína, grasa y ceniza de las almendras no fue afectado por los tratamientos de fertilización (Cuadro 5), lo cual indica que la calidad del fruto tuvo poca sensibilidad a la fertilización bajo las condiciones del presente experimento.

Cuadro 5. Contenido nutricional de brotes y frutos de cacao bajo diferentes tratamientos de fertilización a los 115 días después del inicio de las aplicaciones

Tratamiento			Brotes (%)			Frutos (%)					
						Exocarpo			Almendra		
N	P	K	Mat. seca	Fibra	Ceniza	Proteína	Ceniza	Grasa	Proteína	Ceniza	Grasa
0	0	0	38,7 b	33,4 ab	11,5 ab	4,5	7,7	2,3 bc	11,5	3,1	53,70
77	0	0	42,1 a	30,9 ab	10,5 b	4,3	7,0	2,6 ab	14,0	3,1	56,10
0	51	0	42,6 a	29,5 b	12,2 a	3,9	8,4	1,7 c	13,9	3,0	54,51
0	0	68	40,0 ab	30,8 ab	11,6 ab	4,2	7,5	2,6 ab	15,5	3,0	53,45
77	51	0	40,6 ab	32,3 ab	10,4 b	3,8	7,7	2,7 ab	14,1	2,9	54,59
77	0	68	40,5 ab	34,1 ab	10,3 b	4,9	7,3	1,6 c	13,7	3,3	53,70
0	51	68	40,4 ab	35,2 a	10,5 b	4,6	7,7	2,5 ab	14,8	2,9	55,69
77	51	68	42,1 a	34,3 ab	10,6 b	4,9	6,9	3,0 a	16,1	3,3	53,88
Significancia			*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns
Interacciones			NxP	ns	ns	ns	ns	***	ns	ns	ns
			NxK	ns	ns	ns	ns	***	ns	ns	ns
			PxK	ns	ns	ns	ns	***	ns	ns	ns
			NxPxK	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Medias con distinta letra dentro de la misma columna difieren estadísticamente según la prueba de Tukey.

*: $P \leq 0,05$ y ***: $P \leq 0,001$; ns: no significativo ($P > 0,05$), según el ANOVA

CONCLUSIONES

Las aplicaciones fraccionadas de fertilizantes con elementos primarios tendieron a acidificar el suelo. El contenido de nutrientes en el suelo fue afectado por las interacciones entre los elementos aplicados, provocando incrementos en el contenido de fósforo y potasio, y decrementos en el calcio y magnesio. La aplicación de nitrógeno no afectó la tasa de crecimiento y el área foliar de los brotes. El crecimiento de los frutos no fue

afectado por los tratamientos de fertilización.

Las interacciones de los elementos nutricionales aplicados incrementaron significativamente la materia seca y fibra de los brotes, sin efectos sobre el contenido de proteína, grasa y ceniza de las almendras de cacao.

AGRADECIMIENTOS

A Beatriz Guerrero, del Laboratorio de Bromatología de la Universidad Nacional de Loja,

por la asistencia técnica en los análisis de calidad de brotes y frutos. Al Sr. Augusto Carrión por permitirnos realizar la investigación de campo en su huerto de cacao. A Ariana Aponte por su ayuda en el análisis de calidad de las almendras. Este estudio se realizó dentro del Proyecto 11-DI-FARNR-2019 de la Dirección de Investigación, Universidad Nacional de Loja.

LITERATURA CITADA

- Almeida, A. y R. Valle. 2007. Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19(4): 425-448.
- Andrews, E.M., S. Kassama, E.E. Smith, P.H. Brown y S. Khalsa. 2021. A review of potassium-rich crop residues used as organic matter amendments in tree crop agroecosystems. *Agriculture* 11(7): 580.
- AOAC (1990; 2005; 2012). Official Methods of Analysis. Association of Official Agricultural Chemist. Washington, DC.
- Appiah, M., K. Ofori y A. Afrifa. 2000. Evaluation of fertilizer application on some peasant cocoa farms in Ghana. *Ghana Journal of Agricultural Science* 33(2): 183-190.
- Arvelo, M. A., González León, D., Delgado, T., Maroto, S., y P. Montoya López. 2017. Manual técnico del cultivo de cacao prácticas latinoamericanas (No. IICA F01). IICA, San José (Costa Rica). <https://bit.ly/3rDwkLY> (consulta de noviembre 24, 2020).
- Arguello, A. y L. Moreno. 2014. Evaluación del potencial biofertilizante de bacterias diazótrofes aisladas de suelos con cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Acta Agronómica* 6(3): 238-245.
- Baligar, V.C. y O. L. Bennett. 1986. NPK-fertilizer efficiency-a situation analysis for the tropics. *Fertilizer Research* 10(2): 147-164.
- Barber, S.A. 1984. Soil Nutrient Bioavailability. A Mechanistic Approach. Wiley, NY. pp. 201-228.
- Bastías, R., F. Diez y V. Finot. 2014. Absolute and relative growth rates as indicators of fruit development phases in sweet cherry *Prunus avium*. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences* 30(2): 89-98.
- Beg, M., S. Ahmad, K. Jan y K. Bashir. 2017. Status, supply chain and processing of cocoa. A review. *Trends in Food Science & Technology*. 66: 108-116.
- Bertsch, F. 2005. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. *Informaciones Agronómicas* 7(57): 1-11.
- Bot, J., S. Adamowicz y P. Robin. 1998. Modelling plant nutrition of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae* 74: 47-82.
- Britto, G. y L. Kronsucker. 2008. Studies on the chemical composition of isolated soil solution and the cation absorption by plants. *Plant and Soil* 3(37): 589-607.
- Carranza, M.S., Y.P. Zapata, G. Gallego, J. Nieto Rodríguez, J. Morante Carriel, N. Cruz Rosero et al. 2020. Genetic diversity of ecuadorian cocoa from the germplasm bank of Tenguel-Guayas, Ecuador based in SNP'S. *Bioagro* 32(2): 75-86.
- Contreras, C. 1994. Guayaquil y su región en el primer boom cacaotero (1750-1820). In: En Juan Manguashca (ed.). Historia y Región en el Ecuador 1830-1930. Corporación Editora Nacional. Quito, Ecuador. pp. 189-250.
- Da Silva-Almeida, R., L. Garófalo y E. da Silva. 2012. Growth of cocoa as function of fertigation with nitrogen. *Iranica Journal of Energy and Environment* 3(4): 385-389.
- Famuwagun, I y T.O. Oladitan. 2020. Influence of Varying Rates of Fertilizers on the Performance of Cacao (*Theobroma cacao*) Seedlings in the Nursery. In: Sutton M.A. et al. (eds.). Just Enough Nitrogen. Springer, Cham. pp. 55-63.
- FAOSTAT. 2019. Producción/Rendimiento de Cacao, en grano en Mundo+(Total) 2018. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize> (consulta de junio 20, 2019).
- Fernández, J., W. Bohórquez y A. Rodríguez. 2016. Dinámica nutricional de cacao bajo diferentes tratamientos de fertilización con N, P y K en vivero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 10(2): 367-380.
- Fernández, M. 2007. Fósforo: amigo o enemigo. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar 41(2): 51-57.

21. Heinze, S., Raupp, J. y R. G. Joergensen. 2010. Effects of fertilizer and spatial heterogeneity in soil pH on microbial biomass indices in a long-term field trial of organic agriculture. *Plant and Soil* 328(1): 203-215.
22. Hartemink, A. y L. Donald. 2005. Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: A review. *Advances in Agronomy* 1(1): 227-253.
23. Hosseini, S., S. Trueman, T. Nevenimo, G. Hannet, P. Bapiwai, M. Poienou y H. Wallace. 2017. Effects of shade-tree species and spacing on soil and leaf nutrient concentrations in cocoa plantations at 8 years after establishment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 246: 134-143.
24. Kongor, J.E., P. Boeckx, P. Vermeir, D. Van de Walle, G. Baert, E.O. Afoakwa y K. Dewettinck. 2019. Assessment of soil fertility and quality for improved cocoa production in six cocoa growing regions in Ghana. *Agroforest Systems* 93(4): 1455-1467.
25. Kumar, R. 2009. Calibration and validation of regression model for non-destructive leaf area estimation of saffron (*Crocus sativus* L.). *Scientia Horticulturae*, 122(1), 142-145.
26. Marrocos, P., G. Loureiro, Q. Araujo, G. Sodr , D. Ahnert, R. Escalona-Valdez y 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.
27. Martín, N.J. y G. Pérez. 2009. Evaluación agroproductiva de cuatro sectores en la provincia de Pastaza en la Amazonía Ecuatoriana. *Cultivos Tropicales* 30(1): 5-10.
28. Meza-Sepúlveda, D., J. Quintero-Saavedra, J. Zartha-Sossa y R. Hernández-Zarta. 2020. Estudio de prospectiva del sector cacao al año 2032 como base de programas de capacitación universitaria en el sector agroindustrial. Aplicación del método Delphi. *Información Tecnológica* 31(3): 219-230.
29. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 2018. Boletín Situacional Cacao. <https://bit.ly/3FZYkhP> (consulta de junio 11, 2021).
30. Morandi B., M. Zibordi, P. Losciale, L. Manfrini, E. Pierpaoli y L. Corelli. 2011. Shading decreases the growth rate of young apple fruit by reducing their phloem import. *Scientia Horticulturae* 127(3): 347-352.
31. Moreno-Miranda, C., I. Molina, Z. Miranda, R. Moreno y P. Moreno. 2020. La cadena de valor de cacao en Ecuador: una propuesta de estrategias para coadyuvar a la sostenibilidad. *Bioagro* 32(3): 205-214.
32. Niemenak, N., C. Cilas, C. Rohsius, H. Bleiholder, U. Meier, y R. Lieberei. 2010. Phenological growth stages of cacao plants (*Theobroma* sp.): codification and description according to the BBCH scale. *Annals of Applied Biology* 156(1): 13-24.
33. Novoa M. A., D. Miranda y L.M. Melgarejo. 2018. Efecto de las deficiencias y excesos de fósforo, potasio y boro en la fisiolog a y el crecimiento de plantas de aguacate (*Persea americana*, cv. Hass). *Revista Colombiana de Ciencias Hort colas* 12(2): 293-307.
34. Oyewole O., O. Ajayi y I. Rotimi. 2012. Growth of cocoa (*Theobroma cacao* L.) seedlings on old cocoa soils amended with organic and inorganic fertilizers. *African Journal of Agricultural Research* 7(24): 3604-3608.
35. Pellerin M., P. Serrano y B. Biehl. 2000. Photosynthetic characteristics during development of leaves from *Theobroma cacao* L. *Physiology Plant* 853: 105-599.
36. PDOT (Plan de desarrollo y ordenamiento territorial). 2015. Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Zamora Chinchipe. <https://bit.ly/3tWVCr8> (consulta de noviembre 24, 2020).
37. Puentes Y., J. Menjivar y A. Ortíz. 2016. Eficiencia fisiológica de uso de NPK en clones autoincompatible y autocompatible de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 7(1): 17-24.
38. Puentes Y., J. Menjivar, A. G mez-Carabali y F. Aranzazu. 2014. Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta Agronómica* 63(2): 145-152.

39. Puentes, Y., A. Gomez y J. Menjivar. 2015. Influence of the relationship among nutrients on yield of cocoa (*Theobroma cacao* L.) clones. *Acta Agronómica* 65(2): 176-182.
40. Rosas-Patiño, G., Y. Puentes-Páramo, J. Menjivar-Flores y J. Rojas. 2019. Efecto del encalado en el uso eficiente de macronutrientes para cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia Colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 20(1): 5-28.
41. Sitompul, H., T. Simanungkalit y L. Mawarni. 2014. Respons Pertumbuhan Bibit Kakao (*Theobroma cacao* L.) Terhadap pemberian pupuk Kandang Kelinci Dan Pupuk Npk (16:16:16). *Journal Online Agroekoteknologi* 2(3): 1064-1071.
42. Snoeck, D., L. Koko, J. Joffre, P. Bastide y P. Jagoret. 2016. Cacao nutrition and fertilization. In: Eric Lichtfouse (ed.). *Sustainable Agriculture Reviews*. Springer, Cham. pp. 155-202.
43. Sunmer, M.E. y M.P. Farina. 1986. Phosphorus interactions with other nutrients and lime in field cropping systems. *Advances in Soil Science* 5: 201-236.
44. Van Ittersum, M., K. Cassman, P. Grassini, J. Wolf, P. Tittonell y Z. Hochman. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance-A review. *Field Crops Research* 143(1): 4-17.
45. Van Vliet, J. y K. Giller. 2017. Chapter five-mineral nutrition of cocoa: a review. In: Sparks, D.L. (ed.). *Advances in Agronomy*. Academic Press. pp. 185-270.
46. Vriesmann, L., R. Amboni y C. Petkowicz. 2011. Cacao pod husks (*Theobroma cacao* L.): composition and hot-water-soluble pectins. *Industrial Crops and Products* 34(1):1173-1181.
47. Zambrano J y Chávez E. 2018. Diagnóstico del Estado del Arte de la Cadena de Valor del Cacao en América Latina y El Caribe. FONTAGRO – INIAP. <https://bit.ly/3qQAJLd> (consulta 20 diciembre de 2021)
48. Zarrillo, S., N. Gaikwad, C. Lanaud, T. Powis, C. Viot, I. Lesur y F. Valdez. 2018. The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nature Ecology and Evolution* 2(12): 1879-1888.

