

Influencia de diferentes estrategias de nutrición en la etapa reproductiva del café (*Coffea arabica*) en la Región Sur del Ecuador

Influence of different nutrition strategies in the reproductive stage of coffee (Coffea arabica) in the Southern Region of Ecuador

María Álvarez-Lino^{1,*}, Vinicio Ruilova², Rodrigo Abad-Guamán³ y Mirian Capa-Morocho¹

¹ Grupo de Investigación en Ecofisiología y Producción Agraria, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, maria.alvarez@unl.edu.ec

² Euroagro S.A, Loja, Ecuador, vruilova@hotmail.com

³ Centro I+D+i de Nutrición Animal, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, rodrigo.abad@unl.edu.ec

* Autor para correspondencia: maria.alvarez@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 30/03/2023 Fecha de aceptación del manuscrito: 06/09/2023 Fecha de publicación: 31/12/2023

Resumen—La producción de café es de gran importancia económica a nivel mundial por su alta contribución a los agricultores. Sin embargo, su rendimiento aún es bajo debido a la falta de programas de fertilización adecuados a las diferentes etapas fenológicas. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes estrategias de nutrición en los parámetros productivos de dos variedades de café. Para tal efecto, se ejecutó un ensayo en las variedades Borboun Sidra y SL28 de 2,5 años de edad en etapa productiva en Malacatos, al sur del Ecuador. Se estableció un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos de nutrición: manejo del productor (testigo), manejo alternativo (fertilización inorgánica y aplicación de bioestimulantes de forma edáfica y foliar) y dos combinaciones entre estos (manejo del productor más manejo alternativo). La nutrición se aplicó cada 15, 30 y 90 días durante cinco meses después de la floración de acuerdo al tratamiento. Se evaluó la fenología, número de frutos por rama y planta, peso y tamaño del fruto, crecimiento del fruto, producción por planta y rendimiento del café en cereza. La estrategia de manejo alternativo 2 (fertilización edáfica a base de N, P, K, Ca, S, micorrizas y ácidos húmicos aplicados mensualmente y aplicaciones foliares cada 15 días de N, P, K, S, Zn, Fe y aminoácidos) presentó un efecto positivo y significativo en el número, tamaño y peso de frutos. El rendimiento se incrementó en un 71 % en promedio en comparación con el testigo. Una adecuada estrategia de nutrición en la etapa productiva del café podría estimular los procesos fisiológicos, e incidir en los parámetros productivos y el rendimiento.

Palabras clave—Bioestimulantes, Fertilización, Micorrizas, Aminoácidos, Rendimiento.

Abstract—Coffee production is highly economically important worldwide due to its high contribution to farmers. However, its yield is still low due to the lack of adequate fertilization programs for the different phenological stages. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of different nutrition strategies on the productive parameters of two coffee varieties. For this purpose, a trial was carried out on the Borboun Sidra and SL28 varieties of 2.5 years of age in the productive stage in Malacatos, southern Ecuador. A completely randomized design was established with four nutrition treatments: producer management (control), alternative management (inorganic fertilization and application of biostimulants in soil and foliar form) and two combinations of these (producer management plus alternative management). According to the treatment, nutrition was applied every 15, 30 and 90 days for five months after flowering. Phenology, number of fruits per branch and plant, fruit weight and size, fruit growth, production per plant and cherry yield were evaluated. Alternative management strategy 2 (edaphic fertilization based on N, P, K, Ca, S, mycorrhizae and humic acids applied monthly and foliar applications every 15 days of N, P, K, S, Zn, Fe and amino acids) had a positive and significant effect on the number, size and weight of fruits. Yield increased on average 71 % compared to the control. An adequate nutrition strategy in the coffee production stage could stimulate physiological processes and impact production parameters and yield.

Keywords—Biostimulants, Fertilization, Mycorrhizae, Amino acids, Yield.

INTRODUCCIÓN

El café tiene una gran importancia económica a nivel mundial: sus semillas, tostadas, molidas y en infusión,

constituyen la bebida no alcohólica más consumida actualmente (Deshpande *et al.*, 2019). En el Ecuador, se distribuye en todo el país, desde la Amazonía hasta la región andina y costera (Echeverría *et al.*, 2022), encontrándose en 23 de las

24 provincias del país (Sánchez *et al.*, 2018). Ecuador cuenta con 34931 ha cultivadas, de las cuales el 68% de esta área corresponde a la especie *Coffea arabica* y el 32% a *Coffea canephora* (SIPA, 2023).

En la región Sur, Loja es considerada como la principal zona cafetalera por la calidad del producto, el cual ha sido de los mejores puntuados en los últimos años en el torneo nacional Taza dorada (UTPL, 2022) y reconocido internacionalmente por presentar café de altura (Jiménez & Massa, 2016). En la provincia se destaca la producción de café debido a su ubicación geográfica y a las condiciones climáticas que posee, brindando las condiciones aptas para la producción de café. De acuerdo al INEC-ESPAC (2021), el rendimiento promedio de café a nivel nacional es de 0,17 t/ha y en la provincia de Loja el rendimiento es de 0,14 t/ha, los cuales son menores en comparación con los países productores vecinos como Perú, Colombia y Brasil, considerando que la planta de café arábica tiene un amplio rango de rendimiento de acuerdo a las zonas productivas donde se cultive y de la temporada (Echeverría *et al.*, 2022). A nivel local los bajos rendimientos se atribuyen a que provienen de huertos de pequeños productores que no han sido renovados durante décadas y en los cuales no existe innovación tecnológica (Chiriboga, 2019). También los factores climáticos juegan un rol importante en el rendimiento, especialmente la temperatura y la iluminación (Baliza *et al.*, 2012). La zona óptima para el cultivo del café arábica presenta una temperatura entre 19 y 21,5 °C, tolerando temperaturas de zonas tropicales y subtropicales, pero no de zonas templadas (González & Hernández, 2016); a menos de 19 °C, el café se desarrolla menos y tiene menor producción, mientras que por encima de los 21,5 °C, la vida productiva del café es más corta, y la cosecha más temprana y más concentrada (Torres, 2013).

Para expresar el potencial de un sistema de producción, se requiere de un programa de manejo de nutrición adecuado y eficiente, que garantice el suministro de las cantidades de nutrimentos necesarios para mantener una máxima productividad y rentabilidad del cultivo, que además minimice el impacto ambiental (Naranjo, 2018). En los sistemas productivos de café en Ecuador, se manejan inapropiadamente los fertilizantes, lo que conlleva a una pérdida de nutrientes, y con ello, bajas producciones (Capa, 2015). Por ello, es importante estudiar las dosis, momentos adecuados para la fertilización y la forma más efectiva de aplicación tanto mineral como orgánica (Pérez *et al.*, 2021).

Actualmente, hay un interés creciente en el uso de bioestimulantes por su potencial de mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos, regulando el crecimiento y desarrollo de las plantas, y además promueve la agricultura sostenible (Craigie, 2011). Ayudan a corregir la falta de nutrientes que a veces suelen presentar las plantas por una mala fertilización o por las características físicas y químicas del suelo (Quintero *et al.*, 2018). Entre algunos de los bioestimulantes que se utilizan se encuentran los aminoácidos, los cuales son importantes para la estimulación del crecimiento celular, ayudan a mantener un valor de pH favorable dentro de la célula vegetal y mitigan significativamente las lesiones causadas por el estrés abiótico (Boras *et al.*, 2011; Chen y Murata, 2011). Por su parte, las sustancias húmicas constituyen la fracción donde es retenido mayoritariamente el carbono de la materia orgánica del suelo e intervienen en múltiples propiedades

del sistema suelo-planta (Ramírez, 2017). En cuanto a las micorrizas, en el área de la agricultura sostenible son como mecanismo para mantener cultivos comerciales eficientes y sostenibles (Siddiqui *et al.*, 2008; Gianinazzi *et al.*, 2010; Ruíz *et al.*, 2011; Candido *et al.*, 2015; Colla *et al.*, 2015). Alves *et al.* (2012) señala que contribuyen con el aumento de productividad de los cultivos, la regeneración de comunidades vegetales degradadas y el mantenimiento del equilibrio del ecosistema. De igual manera, la aplicación de inoculantes micorrícicos (IM) como biofertilizantes en diferentes plantas, ha mostrado tener impacto sinérgico en la nutrición de la planta y ayuda en el desarrollo vegetativo y reproductivo (Candido *et al.*, 2013; Montes y Flores, 2019).

Dentro de este contexto, la presente investigación buscó evaluar el efecto de diferentes estrategias de nutrición con base en fertilización inorgánica y orgánica en la etapa reproductiva y en el rendimiento de dos variedades de café bajo las condiciones de la región sur del Ecuador, en busca de proporcionar alternativas de manejo que beneficien a los productores cafetaleros de la región y aumenten su productividad. Las estrategias de nutrición incluyeron fertilización edáfica a base de macronutrientes (N, P, K, Ca, S) y biofertilizantes, así como una fertilización foliar principalmente de Zn, Fe y aminoácidos con aplicaciones a mayor frecuencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

El estudio se desarrolló en la provincia de Loja, en la finca Santa Gertrudis, ubicada en el Barrio El Porvenir de la parroquia Malacatos, con clima templado húmedo, temperatura media de 20 °C y una precipitación media anual de 1000 mm (PDOT Loja, 2019). La latitud del área de estudio es de 5°49'51'' sur y la longitud de 80°47'16'' oeste, con una altitud de 1800 m s.n.m. (GAD Loja, 2020). El suelo del sitio experimental mostró una textura franca, con pH de 7 y 2,12% de materia orgánica.

Material vegetal

Se evaluaron plantas de café de la variedad Borboun Sidra y SL28 de 2,5 años de edad, puesto que estas eran las plantas disponibles en la finca, sembradas a una densidad de 3333 plantas/ha (2 m entre planta 1,5 m entre surco).

Los individuos para la investigación se seleccionaron según su homogeneidad en altura, número de ramas principales, vigor y estado fenológico de acuerdo a la escala BBCH 70 (frutos visibles como pequeñas cerezas amarillentas) (Arcila *et al.*, 2001). La evaluación en campo se realizó durante 8 meses desde enero hasta agosto de 2021.

Diseño experimental y tratamientos

Se usó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2*4, donde se evaluaron dos variedades de café y cuatro estrategias de nutrición, con 5 repeticiones, teniendo un total de 40 unidades experimentales, donde cada unidad experimental fue integrada por 3 plantas con características homogéneas para reducir el error experimental, dando un total de 120 plantas de café. Las estrategias de nutrición incluyen fertilización de macro y micronutrientes, aplicación de ami-

Tabla 1: Estrategias de nutrición aplicadas a dos variedades de café arábico (Borboun Sidra y SL28) en Malacatos, Loja.

Nutrientes	Tratamientos (Estrategia)				
	T1	T2	T3	T4	
Nutrientes aplicados de forma edáfica (kg/ha/aplicación)	N	7	103	103	7
	P	15	38	38	15
	K	20	50	50	20
	Fe	-	-	-	-
	Ca	-	25	25	-
	Zn	-	-	-	-
	Mg	36	-	-	36
	S	-	21	21	-
	Micorrizas	25	25	25	25
	Ácidos húmicos	25	25	25	25
	Nutrientes aplicados de forma foliar (g/ha/aplicación)	N	860	687	860
P		192	-	192	-
K		210	320	210	320
Fe		-	80	-	80
Ca		-	-	-	-
Zn		-	216	-	216
Mg		-	-	-	-
S		-	160	-	160
Aminoácidos		-	4650	-	4650
Frecuencia de aplicación (días): Edáfico/Foliar		90/90	30/15	30/90	90/15
Numero de aplicaciones: Edáfico/Foliar		3/3	5/10	5/2	2/10

noácidos, micorrizas y ácidos húmicos (Tabla 1).

El tratamiento 1 corresponde al manejo tradicional que da el agricultor en la zona de estudio, el cual fue usado como testigo, incluye una fertilización inorgánica de N, P, K aplicados de forma edáfica y foliar cada 90 días. Además, el productor aplica micorrizas y ácidos húmicos en la misma frecuencia que la aplicación edáfica, cada 90 días. En total se realizaron dos aplicaciones durante el estudio (Tabla 1). Las fuentes utilizadas por el productor fueron: para micorrizas y ácidos húmicos Orgevit, para macro y microelementos, micropónico y Kfol.

El tratamiento 2 es la nutrición alternativa 1, que incluye una fertilización edáfica a base de N, P, K, Ca, S, micorrizas y ácidos húmicos aplicados mensualmente. Además, se realizaron aplicaciones foliares cada 15 días de N, P, K, S, Zn, Fe y aminoácidos. Durante el estudio se realizaron 5 aplicaciones edáficas y 10 aplicaciones foliares en las dosis indicadas en la Tabla 1.

Los tratamientos 3 y 4 (T3 y T4) son combinaciones de los tratamientos 1 y 2. El 3 corresponde a la fertilización edáfica alternativa del tratamiento 2 y la fertilización foliar del testigo (T1), mientras que el tratamiento 4 incluye la fertilización edáfica del testigo (T1) y la fertilización foliar alternativa del tratamiento 2. Las fuentes utilizadas en la nutrición alternativa fueron: para micorrizas y ácidos húmicos Orgevit, como fuente de aminoácidos Diamin Bassic y Pluss, y para macro y microelementos Agacomplex, Terravit, Cropmax, Bioprotan Microfoliar, Bioprotan, Protan N9 y Microga Z15.

Manejo del ensayo

Se delimitó el ensayo según el diseño experimental establecido, señalando con etiquetas las plantas, ramas por planta, y frutos a evaluar. Previamente se realizó un análisis de suelo, en el cual no se observó deficiencia de N, P, ni micronutrientes (Tabla 2), pero sí de potasio, por lo que todas

Tabla 2: Parámetros químicos del suelo antes de la aplicación de las estrategias de nutrición, en una finca de café arábigo de Malacatos, provincia de Loja.

Parámetro	Unidad de medida	Cantidad
Materia orgánica	%	2,12
pH		6,8
Nitrógeno total	%	0,26
Fósforo (P)	Ppm	12,04
Potasio (K)	meq/100 g	0,10
Calcio (Ca)	meq/100 g	7,44
Magnesio (Mg)	meq/100 g	2,51
Azufre (S)	Ppm	15,61
Zinc (Zn)	Ppm	14,17
Cobre (Cu)	Ppm	8,18
Hierro (Fe)	Ppm	53,94
Manganeso (Mn)	Ppm	47,46
Boro (B)	Ppm	1,31
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	meq/100 g	10,61
PSI	%	5,32
Ca/Mg		2,96
Mg/K		28,25
Ca/K		83,56

las estrategias de nutrición incluyeron aplicaciones de K de forma edáfica y foliar. Los suelos donde se encontraban las variedades de estudio presentaron pH neutros evitando con ello problemas de asimilación de nutrientes.

Se realizó el control de arvenses, plagas y enfermedades periódicamente según la incidencia en el cultivo. En ausencia de lluvia se aplicó riego por aspersión instalado en la finca. La cosecha se realizó tomando en cuenta el color del fruto cereza que corresponde a la escala BBCH 88 (Arcila et al., 2001).

Variables analizadas

En cada unidad experimental se seleccionaron 12 ramas en total (4 ramas por planta), de las cuales se evaluó el número de frutos por rama y por planta al inicio del ensayo y al final, en el momento de la cosecha.

Para el crecimiento del fruto se registraron mensualmente el diámetro polar (DP) y el diámetro ecuatorial (DE) de 10 frutos de cada una de las ramas seleccionadas previamente al azar y plantas señaladas previamente por tratamiento, desde el inicio de la fructificación hasta el momento de la cosecha (madurez fisiológica) utilizando un pie de rey digital (mm).

El peso de la cereza de café (PCC) se determinó seleccionando 30 frutos maduros por unidad experimental (10 frutos/planta), se pesaron y se promediaron.

Para cuantificar la producción de café cereza por planta, se cosechó una rama al azar de las cuatro señaladas por planta y tratamiento; se pesó y este se multiplicó por el número total de ramas productivas. Finalmente, el rendimiento de café cereza (kg/ha) se estimó considerando la densidad de siembra (3 333 plantas/ha) y la producción por planta.

La fenología se evaluó en las cuatro ramas previamente seleccionadas, las cuales estaban iniciando la formación de frutos, siendo convenientes para identificar los estados de desarrollo del fruto de acuerdo a la escala BBCH para el cultivo de café de Arcila et al. (2001). También se calculó el tiempo

térmico (IT) de cada fase a partir de los grados días (GD) acumulados por el método directo sugerido por Arnold (1959), mediante la sumatoria de la diferencia de las temperaturas medias (Tm) y la temperatura base (Tb) para cada una de las etapas fenológicas siguiendo la siguiente fórmula:

$$IT = \sum_i^n (Tm - Tb) \quad (1)$$

La temperatura media diaria se registró con un data logger Elitech modelo RC-5 y se consideró como temperatura base del café 10 °C (Montoya y Jaramillo, 2016).

Análisis estadístico

Los datos registrados fueron analizados en el programa estadístico *InfoStat* versión 2020, previamente sometidos a un análisis de supuestos (se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y de homogeneidad de varianzas con el test de Levene). Se realizó análisis de varianza con un nivel de significancia del 5%, donde los factores de variación fueron la variedad, la estrategia de nutrición y la interacción de estos dos factores. Las medias se compararon a través del test de Tukey con el 95% de confianza con la que se determinaron diferencias significativas entre cada tratamiento.

RESULTADOS

Número y peso de frutos

El número de frutos por rama y planta, así como el peso de los frutos, no presentaron diferencias significativas en la interacción del factor variedad y estrategia de nutrición. No obstante, sí se observa un efecto significativo de la estrategia de nutrición (Tabla 3). Se obtuvieron valores superiores en número de frutos por rama (NFR) y peso cereza de café (PCC) con la estrategia de nutrición 2 (EN_2), aumentando aproximadamente en un 25,61% y 47,06% el NFR y PCC respectivamente en comparación con el testigo (EN_1). Sin embargo, no existe un efecto significativo en el número de frutos por planta.

La variedad influye significativamente en las variables productivas del café (Tabla 3), destacándose la variedad Borboun Sidra en número frutos por planta (1111,7) y NFR (72,36), sin embargo presenta el PCC más bajo de 2,08 g, mientras que la variedad SL28 presenta menor cantidad de frutos pero de mayor peso (966,6 frutos/planta y cerezas de 2,25 g).

Crecimiento del fruto

Al inicio del ensayo, los frutos seleccionados presentaron valores promedios de 5,22 mm de diámetro ecuatorial (DE) y 6,58 mm de diámetro polar (DP). Los frutos presentaron un crecimiento sigmoidal, visiblemente lento (30 días después de aplicadas las estrategias de nutrición), seguido de un rápido llenado de frutos hasta los 200 días (6 meses aproximadamente), para posteriormente pasar a la fase de maduración. En los primeros estadios de crecimiento de fruto no se observaron diferencias significativas (Fig. 1), sin embargo, en la cosecha se detectó un efecto de la interacción variedad y estrategia de nutrición. Tanto la variedad Borboun Sidra como SL28 presentaron altos valores de DE al final del ensayo,

Tabla 3: Número de frutos por rama (NFR), número de frutos por planta (NFP) y peso de cereza de café (PCC) en dos variedades de café bajo diferentes estrategias de nutrición (EN) en una finca de Malacatos, provincia de Loja.

Variedad	Estrategia de nutrición	NFR	NFP	PCC (g/cereza)
Borboun Sidra	EN_1 (T1)	68,15	1064,90	1,76
	EN_2 (T2)	78,43	1195,81	2,40
	EN_3 (T3)	71,80	1094,20	2,04
	EN_4 (T4)	71,05	1091,95	2,13
SL28	EN_1 (T1)	50,30	855,70	1,78
	EN_2 (T2)	70,35	1067,05	2,70
	EN_3 (T3)	57,75	967,50	2,21
	EN_4 (T4)	61,80	976,05	2,30
Efecto principal				
Variedad				
	Borboun Sidra	72,36 ^a	1111,7 ^a	2,08 ^b
	SL28	60,05 ^b	966,6 ^b	2,25 ^a
Estrategia de Nutrición				
	EN_1 (T1)	59,22 ^c	960,0	1,7 ^c
	EN_2 (T2)	74,39 ^a	1131,0	2,5 ^a
	EN_3 (T3)	64,78 ^b	1031,0	2,1 ^b
	EN_4 (T4)	66,44 ^b	1034,0	2,2 ^b
EEM*				
	Variedad	3,728	315,72	0,04
	EN	2,440	446,50	0,06
	Variedad*EN	3,455	63,14	0,08
P-valor				
	Variedad	<0,0001	0,0032	0,0105
	EN	0,0021	0,0950	<,0001
	Variedad*EN	0,4917	0,8738	0,5000

*EEM: error estándar de la media de la interacción variedad/tratamiento. Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas (p <0,05).

con 16,56 mm y 17,36 mm respectivamente bajo la estrategia de nutrición 2 (EN_2). De igual manera, el DP presentó un incremento promedio del 28% en las dos variedades de café bajo la EN_2 en relación al testigo (EN_1) con valores finales de 17,83 mm en Borboun Sidra y 18,03 mm en SL28 (Figura 1).

Producción y rendimiento

La producción por planta y el rendimiento no muestran diferencias significativas en la interacción variedad*estrategia de nutrición (Tabla 4), pero el factor estrategia de nutrición tiene un efecto positivo en la producción y rendimiento de café. La estrategia de nutrición 2 incrementó significativamente la producción por planta en un 71% aproximadamente a diferencia de la estrategia testigo y en un 31,5 y 26,3% en comparación a las estrategias de nutrición 3 y 4 respectivamente. La máxima producción promedio de café cereza obtenida fue de 2,88 kg/planta, representando rendimientos promedios de 9610,45 kg/ha. De igual manera, las estrategias de nutrición 3 y 4 fueron significativamente diferentes de la estrategia testigo, pero no se detectaron diferencias significativas entre ambas (Tabla 4).

Fenología del fruto

El desarrollo de los frutos se presentó de manera continua y similar en las dos variedades, la fenología del fruto se determinó a partir del estadio 70 (frutos visibles) de acuerdo a la escala BBCH. El fruto alcanzó su madurez fisiológica (estadio 77) a los 196 días después de la floración (DF), mientras

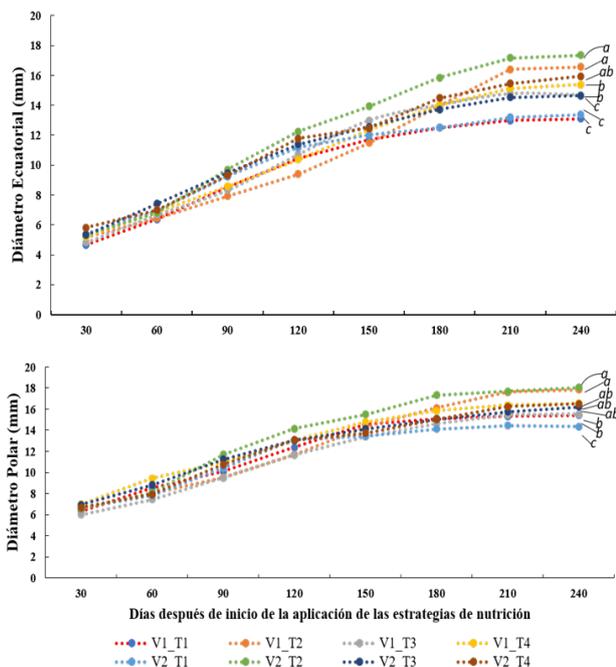


Fig. 1: Dinámica de crecimiento del fruto de café desde fructificación hasta el momento de la cosecha, en función de las distintas estrategias de nutrición: A) Diámetro ecuatorial y B) Diámetro polar. Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

Tabla 4: Producción y rendimiento en café en dos variedades bajo diferentes estrategias de nutrición (EN) en la finca Santa Gertrudis de Malacatos, provincia de Loja.

Variedad	Estrategia de nutrición	Producción (kg/planta)	Rendimiento (kg/ha)
Borboun Sidra	EN_1 (T1)	1,84	6136,37
	EN_2 (T2)	2,88	9611,32
	EN_3 (T3)	2,25	7527,09
	EN_4 (T4)	2,32	7747,01
SL28	EN_1 (T1)	1,51	5064,05
	EN_2 (T2)	2,88	9609,57
	EN_3 (T3)	2,12	7089,34
	EN_4 (T4)	2,24	7492,81
Efecto principal			
Variedad			
	Borboun Sidra	2,32	7755,45
	SL28	2,19	7313,94
Estrategia de Nutrición (EN)			
	EN_1 (T1)	1,68c	5600,21c
	EN_2 (T2)	2,88a	9610,45a
	EN_3 (T3)	2,19b	7308,21b
	EN_4 (T4)	2,28b	7619,91b
EEM*			
	Variedad	0,08	255,10
	EN	0,11	360,77
	Variedad*EN	0,15	510,20
P-value			
	Variedad	0,2373	0,2373
	EN	<,0001	<,0001
	Variedad*EN	0,7632	0,7632

*EEM: error estándar medio de la variedad, estrategia de nutrición (EN) e interacción variedad*EN. Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

que su cosecha se realizó a los 240 DF aproximadamente bajo las condiciones edafoclimáticas de la región Sur del Ecuador, necesitando acumular en promedio 1171,1 °C día (Tabla 5).

La Figura 2 muestra los diferentes estadios del fruto de café,

Tabla 5: Tiempo cronológico promedio (días) e integral térmica (°C día) acumulada del cultivo de café en la etapa reproductiva en Malacatos, provincia de Loja.

Estadio	Escala BBCH	Tiempo cronológico (días)	IT acumulada (°C día)
Frutos visibles	70	14	123,9
Inicio de crecimiento	71	28	259,0
Frutos verde intenso	73	74	655,4
Frutos verde pálido	73	189	1699,7
Madurez fisiológica y cambio de color	77	196	1764,6
Frutos con tonalidades amarillentas	81	200	1801,8
Frutos con tonalidades rojas	85	210	1900,0
Frutos rojos	88	240	1171,1

según la escala BBCH en Malacatos, Loja.

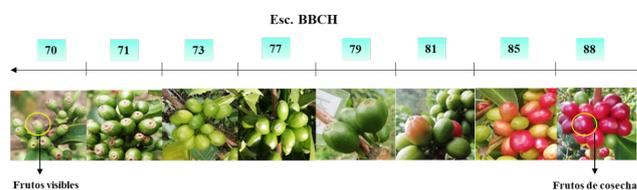


Fig. 2: Fenología del fruto de café según la escala BBCH.

DISCUSIÓN

Con la aplicación de la EN_2 (fertilización edáfica a base N, P, K, Ca, S, micorrizas y ácidos húmicos aplicados mensualmente; y aplicaciones foliares cada 15 días de N, P, K, S, Zn, Fe y aminoácidos), se encontraron efectos significativos en el número de frutos por rama y peso de cereza de café en las variedades Borboun Sidra y SL28.

El número de frutos es similar a los de Chacón *et al.* (2021), quienes registraron 75 frutos por rama en la variedad de café Sarchimor (T5296) de 2 años al realizar 3 aplicaciones de bioestimulantes a base de extracto de algas en etapa productiva, superando al testigo. Sadeghian (2008) reporta un menor NFR (53,83) en la variedad Caturra en producción de 8 años, con manejo de podas y fertilizaciones edáficas.

La nutrición en etapa productiva del café influye directamente en el tamaño, la cantidad y calidad de los granos cosechados (Rosas *et al.*, 2008). Barrantes *et al.* (2019) en evaluaciones de fertilizantes químicos y orgánicos en café, indicaron que la fertilización combinada con aplicaciones de 18-5-15-6-2 (N-P2O5-K2O-MgO-S) más lombricompost mostró efectos significativos superiores a los demás tratamientos, por la disponibilidad tanto del abono mineral como del orgánico. La ventaja del tratamiento de fertilización combinada (orgánica e inorgánica) es el resultado de la mayor disponibilidad de nutrientes en forma inmediata de las fertilizaciones minerales y la disponibilidad a largo plazo de la fertilización orgánica. Ramírez-Iglesias *et al.* (2021) señaló la importancia de la fertilización y bioestimulación en frutales para aumentar el peso de los frutos en el cultivo de tomate en Zamora Chinchipe-Ecuador. Por otra parte, Latacela *et al.* (2017) reportan que la aplicación de ácidos húmicos en aspersión foliar y edáfica mejora el crecimiento y calidad de

la fruta de durazno en Florida. Por lo tanto, se evidencia una fuerte relación entre la fertilización orgánica e inorgánica y calidad de los cultivos.

Las estrategias de nutrición mejoraron el crecimiento del fruto en relación al testigo. Medina *et al.* (2020) obtuvieron datos similares a los encontrados en esta investigación, reportando tamaños de 16 mm de DP en la localidad de Oxapampa en Perú en la variedad Borbon rojo con 25 años de edad. Además, menciona que las características físicas de tamaño en las variedades se ven afectadas por el factor altitud. Melo y Piñeros (2015) obtuvieron frutos con un tamaño de 18,06 mm de DP usando fertilizaciones a base de nitrógeno y frutos de 18,33 mm de DP con el uso de boro en la variedad Castilla con 3 años de edad. Por lo cual, la disponibilidad de nutrientes en el desarrollo del fruto juega un papel importante para alcanzar mayor tamaño en el grano de café.

En todas las estrategias de nutrición se incluyó el potasio (K), sin embargo, en la EN2 se consideró mayor dosis de K con una mayor frecuencia de aplicación, lo que pudo haber contribuido a mejorar los parámetros productivos obtenidos y la calidad de grano. El potasio juega un papel muy importante en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, ya que interviene en muchas funciones vitales de las plantas como la traslocación de fotosintatos y azúcares. Además, participa en la eficiencia en el uso del agua y los nutrientes, la tolerancia al estrés y el uso de la energía (Sharma & Singh, 2021). Sadeghian (2020) señaló que, además de la nutrición, la variedad, las condiciones de la región y la edad del cultivo también contribuyen a aumentar el número de frutos y peso de los granos de café. A pesar de ser un cultivo de café joven de 2,5 años de edad, el número de frutos por planta y el peso de la cereza fue alto, considerando que el café alcanza su máxima productividad entre los 6 a 8 años de edad (IICA, 2020). Además, se podría considerar que las variedades Borboun Sidra y SL28 estarían adaptadas a las condiciones ambientales de los Andes ecuatorianos.

En el presente estudio la producción promedio de café cereza pasó de 1,84 a 2,88 kg/planta (Borboun Sidra) y de 1,51 a 2,88 kg/planta (SL28), entre el testigo y el tratamiento EN_2, representando rendimientos de 6136 a 9611 kg/ha y de 5064 a 9609 kg/ha respectivamente. Chacón (2021) en su ensayo en la variedad Sarchimor, de 2 años de edad, obtuvieron datos inferiores de rendimiento y de peso del grano de café cereza (PGCC), reportando 3793 kg/ha de café cereza y 1,87 g respectivamente con el uso de bioestimulantes a base del extracto de algas, con 2 aplicaciones en etapa productiva. López-García *et al.* (2016) en Veracruz, México con diferentes variedades de porte bajo durante 5 años consecutivos mostraron alta productividad por planta (3,6 a 4,9 kg/planta, café cereza) frente a variedades de porte alto (2,1 a 3,1 kg/planta, café cereza). Montes y Flórez (2019) evaluaron el efecto de fertilización con abono líquido orgánico fermentado aeróbicamente (ALOFA) e inoculantes micorrizicos foliares aplicados al suelo mensualmente desde floración hasta la cosecha, en la variedad de café Castillo, alcanzando una producción de 2,3 kg/planta y un rendimiento de 12 070 kg/ha de café cereza superando los resultados del presente estudio.

La fertilización inorgánica es un factor que está estrechamente relacionado con el rendimiento ya que suple los nutrientes necesarios para un buen desarrollo y productividad

de la planta. Sadeghian (2008) en plantaciones de café de 8 años de edad, variedad Caturra obtuvo valores mayores de rendimiento cuando aplicó fertilizaciones edáficas y manejo de podas (1,9 g de PGCC y una producción de 940 g/planta de café cereza) en comparación con el testigo (no fertilizado). Es importante establecer un plan nutricional con macro y micronutrientes adecuado, debido a que la deficiencia o exceso de estos afectan negativamente la producción y calidad del café. Así, el grano presenta menor densidad y calidad cuando se aplica el nitrógeno en exceso; por el contrario, la deficiencia de fósforo produce grano pequeño, la de hierro ocasiona granos ámbar pálido, café tostado suave y falta de acidez, la de boro produce vaneamiento de granos, los excesos de calcio y potasio producen bebida amarga y áspera, la deficiencia de zinc reduce el tamaño y densidad del grano, y la deficiencia de magnesio causa granos marrones y características irregulares en el proceso de tostado (Lara & Vaast, 2007; Pérez *et al.*, 2005; Puerta-Quintero, 2001; Rosas *et al.*, 2008). En este estudio, con las aplicaciones edáficas y foliares en mayor frecuencia se proporcionó a las plantas de café los nutrientes necesarios para el desarrollo del fruto.

Dentro de la estrategia de nutrición se consideró la aplicación simultánea de nutrición mineral y micorrizas. Algunos estudios muestran que uno de los principales beneficios de las micorrizas es la absorción de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo (Aguirre *et al.*, 2011; Guridi-Izquierdo *et al.*, 2017; Coello *et al.*, 2017; Rui *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2023). El hongo dentro de la raíz produce arbuscúlos en las células corticales, las cuales intercambian los nutrientes obtenidos en el suelo con azúcares para crecer y formar ácidos grasos de reserva con la planta (Luginbuehl & Oldroyd, 2017). Además, el hongo se desarrolla hacia el exterior de la raíz, lo que le permite explorar el suelo, absorber y transferir nutrientes y agua a la planta (Bücking *et al.*, 2012; Pagano, 2014). La fertilización inorgánica con macro y micronutrientes en diferentes dosis y aplicaciones más frecuentes podría favorecer la simbiosis con las micorrizas y mejorar la productividad de las dos variedades de café, a través de la mejora en la eficiencia del uso del N y P.

Se ha observado que la aplicación de nitratos mejora la colonización de micorrizas arbusculares en varios cultivos (Nanjareddy *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2020), aumentando el porcentaje de colonización de la longitud de la raíz, reduciendo el tamaño arbuscular y mejorando el transporte de amoníaco y de fosfato. Javan Gholiloo *et al.* (2019) demostraron que la aplicación de biofertilizantes mejora la nutrición de P y N, en consecuencia, mejora el crecimiento de las plantas de palma datilera en condiciones de déficit. Nadeem *et al.* (2014) demostraron que la aplicación de micorrizas y bacterias puede regular la nutrición mineral al solubilizar nutrientes en el suelo y producir reguladores del crecimiento de las plantas (como hormonas). Además, Anli *et al.* (2021) señalan que la biofertilización a base de microorganismo da lugar a una mejora el aparato fotosintético, una mejor eficiencia de PSII, la acumulación de osmolitos, la producción de enzimas antioxidantes, una mayor estabilidad de la membrana y una menor peroxidación de lípidos, mejorando el crecimiento y la tolerancia al estrés por sequía en la palma datilera. El crecimiento y el desarrollo de los cafetales y, por ende, su producción y rentabilidad, dependen en gran medida de una adecuada nutrición orgánica e inorgánica, la cual se logra cuando

la planta dispone de cantidades suficientes y balanceadas de todos los nutrientes requeridos (Sadeghian, 2013).

En las estrategias nutricionales, además de la cantidad de nutrientes, también se consideró la frecuencia de aplicación. Benavides-Cardona et al. (2021) señalaron que la aplicación de mayores dosis de fertilizantes y fraccionada mejora el rendimiento y calidad de taza en café variedad Castillo en el departamento de Nariño-Colombia, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio al lograr mayores beneficios con aplicaciones a mayor frecuencia y con dosis fraccionadas.

La variedad es un factor importante que afecta a las variables productivas (Sadeghian, 2020). Sin embargo, en este estudio, aunque se destacó Borboun Sidra con un mayor número de frutos, no se evidenció un efecto de esta variedad en la producción y rendimiento del cultivo, dado que SL28 presentó mayor peso de frutos. Las condiciones ambientales y el manejo del cultivo (nutrición y fitosanitario) fueron los principales factores influyentes en el rendimiento del café, permitiendo a la planta expresar su máximo potencial productivo.

En la fenología del café Arcila et al. (2001), con la escala BBCH, indica que los estados principales del crecimiento del café son el 7 y el 8 (Desarrollo del fruto y Maduración del fruto y de la semilla). El desarrollo del fruto depende de la variedad y las condiciones climáticas que se den durante esta etapa, oscilando entre 7 a 8 meses para madurar. Sadeghian & Salamanca (2015) detectaron que la cosecha de los frutos fue a partir de los 240 y 260 DDF (Días después de floración) en la variedad Castillo ubicados en cuatro Estaciones Experimentales (EE) del Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé en las diferentes estaciones, resultados similares a los del presente estudio, lo que indica que las diferencias entre localidades pueden atribuirse a múltiples factores, siendo quizá más determinantes los componentes climáticos de la zona. Marín et al. (2004) determinaron que el estado de maduración para la variedad Colombia es a los 217 días después de la floración en la Estación Central Naranjal en Chinchiná, Colombia, con condiciones climáticas similares a la del presente estudio (21,3° C temperatura media y altitud de 1400 m). Se consideraron para la recolección los frutos completamente maduros con coloración rojiza en el exocarpo y características de coloración para más del 50% de las cerezas. Estos datos se asemejan a los encontrados en las variedades de este estudio, con lo que se podría establecer que, dependiendo de las condiciones climáticas, edad del cultivo, variedad u otros factores, se encuentran dentro del rango de días de maduración del fruto de acuerdo a la escala BBCH.

En la acumulación de calor en el cultivo, Jaramillo-Robledo & Guzmán-Martínez (1984) reportan que la variedad Caturra en Colombia requiere de 2500 °C día entre floración y desarrollo de fruto, considerando como temperatura base 10 °C. La integral térmica proporciona los requerimientos de calor asociados a las etapas fenológicas de los cultivos, lo que permite predecir cuándo ocurrirá una determinada etapa de la planta conociendo las temperaturas diarias (Parra-Coronado et al., 2015; León et al., 2019). Los resultados de esta investigación demuestran que las variedades Borboun Sidra y SL28 necesitan menos acumulación de calor (1171,1 °C día en promedio) para completar el desarrollo de los frutos, en comparación con otras variedades de café. Por

lo tanto, los resultados de este trabajo podrían ser útiles para generar un modelo de fructificación del café que se adapte a las condiciones del sur del Ecuador.

CONCLUSIONES

La estrategia de nutrición con fertilización inorgánica y orgánica edáfica mensual y fertilización foliar quincenal presentó un efecto positivo y significativo en los parámetros productivos, incrementando en un 15 %, 36 % y 56,5 % (Borboun Sidra), y 39 %, 51 % y 90 % (SL28) el número de frutos por rama, peso del futo y producción por planta, respectivamente. En consecuencia, el rendimiento se incrementó en un 56,6 % y 89 % en comparación con el manejo del productor. Por lo tanto, la aplicación de una nutrición orgánica e inorgánica simultánea podría contribuir a mejorar la productividad de café en la región del Sur del Ecuador, y ser utilizada como una estrategia de manejo eficiente del cultivo.

La variedad Borboun Sidra se destacó por presentar mayor número de frutos por rama y planta, pero frutos de menor peso en comparación con la variedad de café SL 28, por lo que la producción por planta y el rendimiento no presentaron diferencias significativas entre las dos variedades.

Bajo las condiciones edafoclimáticas del sur del Ecuador, los frutos de café alcanzaron su madurez a los 240 días después de la floración, acumulando en promedio 1171,1 °C día.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la familia Eguiguren Pozo propietarios de la Finca Santa Gertrudis por permitirnos desarrollar el presente estudio en su propiedad.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: MCM y VR; metodología: MAL, MCM y VR; análisis formal: MAL, MCM y RAG.; investigación: MAL y MCM; recursos: VR; curación de datos: MAL y MCM; redacción - preparación del borrador original: MAL y MCM; redacción - revisión y edición: MCM y RAG; visualización: MAL, MCM y RAG; supervisión: MCM y VR; administración de proyecto: VR y MCM; adquisición de financiamiento para la investigación: VR. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

María Alvarez-Lino: MAL. Mirian Capa-Morocho: MCM. Rodrigo Abad-Guamán: RAG. Vinicio Ruilova: VR.

FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por EUROAGRO S.A.

REFERENCIAS

- Aguirre, J., Moroyoqui, D., Mendoza, A., Cadena, J., Avenaño, C., & Aguirre-Cadena, J. (2011). Hongo endomicorrízico y bacteria fijadora de nitrógeno inoculadas a Coffea arabica en vivero. *Agronomía Mesoamericana*, 71-80.
- Alves, D.K. Rabelo, c, M, Gomes, R. Alves, G. Fritz, O. & Cpsta, M. (2012). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in restinga and dunes areas in Brazilian Northeast. *Biodiversity and Conservation*, 21(9), 2361-

- 2373.
- Anli M., Baslam M., Tahari A., Raklami A., Symanczik S., Boutasknit A., Ait-El-Mokhtar M., Ben-Laouane M., Toubali S., Ait Rahou Y., Ait Chitt M., Oufdou K., Mitsui t., Hafidi M., and Meddich A. (2020). Biofertilizers as Strategies to Improve Photosynthetic Apparatus, Growth, and Drought Stress Tolerance in the Date Palm. *Front. Plant Sci*, 11, <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.516818>
- Arcila, J., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H., & Wicke, H. (2001). Aplicación de la escala BBCH ampliada para la descripción de las fases fenológicas del desarrollo de la planta de café *Coffea sp.* 32 p. (Boletín Técnico No. 23)
- Arnold, C. Y. (1959). *The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 74, 430-445.
- Baliza D., Cunha R., Guimaraes R., Barbosa J., Ávila F., & Passos A. (2012). *Physiological characteristics and development of coffee plants under different shading levels. Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 1 (7), 37-43.
- Barrantes, E. S., Ballesteros, D. E., & Rosales, D. A. (2019). El efecto de la fertilización mineral, orgánica y mineral-orgánica sobre las características agroproductivas en plantas de café y de la calidad de taza. *Universidad en Diálogo: Revista de Extensión*, 9(2), 175-185.
- Benavides-Cardona, C. A., Criollo-Velázquez, C. P., Muñoz-Belalcazar, J. A., & Lagos-Burbano, T. C. (2021). Manejo agronómico sobre el rendimiento y la calidad de café (*Coffea arabica*) variedad Castillo en Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 750-763.
- Boras, M., Zidan, R., & Halloum, W. (2011). Effect of amino acids on growth, production and quality of tomato in plastic greenhouse. *Biolog Sci Series*, 33(5), 229-238.
- Bücking, H., Liepold, E., & Ambilwade, P. (2012). The Role of the Mycorrhizal Symbiosis in Nutrient Uptake of Plants and the Regulatory Mechanisms Underlying These Transport Processes. InTech. doi: 10.5772/52570
- Candido, V., G. Campanelli, T.D. Addabbo, D. Castronuovo, M. Renco, and I. Camele. (2013). Growth and yield promoting effect of artificial mycorrhization combined with different fertiliser rates on field-grown tomato. *Ital. J. Agron.*, 8, 168-174
- Candido, V., G. Campanelli, T. D'Addabbo, D. Castronuovo, M. Perniola, and I. Camele. (2015). Growth and yield promoting effect of artificial mycorrhization on field tomato at different irrigation regimes. *Sci. Hortic.*, 187, 35-43
- Capa, E. (2015). *Efecto de la fertilización orgánica y mineral en las propiedades del suelo, la emisión de los principales gases de efecto invernadero y en las diferentes fases fenológicas del cultivos de cafe (Coffea arabica L.)*. Madrid. Tesis (Doctoral), E.T.S.I. Agrónomos (UPM) [antigua denominación]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.36539>
- Chacón, Y., Chacón, A., Vargas, M., Cerda, J., & Hernandez, P. (2021). Influencia de un nuevo bioestimulante sobre la floración y fructificación en café (*Coffea arabica* L.). *ESPAMCIENCIA*, 33-40.
- Chen, T.H. and N. Murata. (2011). Glycinebetaine protects plants against abiotic stress: mechanisms and biotechnological applications. *Plant Cell Environ.*, 34, 1-20
- Chiriboga, M. J. (2019). *La producción de café en el Ecuador y su importancia en las exportaciones periodo 2014-2017*. Guayaquil
- Coello, W. L., Navarrete, E. C., Arteaga, C. C., Aragone, D. S., Paredes, J. L., Vásquez, G. G., Cabezas, M. G., & Suarez, M. V. (2017). Efectos De La Fertilización Nitrogenada Y Fosfatada Sobre Poblaciones De Micorizas Asociadas Al Cultivo De Cacao. *European Scientific Journal*, ESJ, 13(6), 464. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n6p464>
- Colla, G., Y. Roupheal, E. Di Mattia, C. El-Nakhel, and M. Cardarelli. (2015). Co-inoculation of *Glomus intraradices* and *Trichoderma atroviride* acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of vegetable crops. *J. Sci. Food Agric.*, 95, 1706-1715
- Craigie, J.S. (2011). *Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. J. Appl. Phycol.*, 23, 371-393.
- Deshpande, S., Singh, S., Panneerselvam, A., & Rajeswari, V. D. (2019). Nutrients in caffeinated beverages—An overview. *Caffeinated and Cocoa Based Beverages*, 367-389.
- Echeverría, M, C. Ortega, A, S. Obandon, O & Nuti, M. (2022). Scientific, Technical, and Social Challenges of Coffee Rural Production in Ecuador. In *Sustainable Agricultural Value Chain*.
- GAD Loja (2020). Malacatos. <https://www.loja.gob.ec/contenido/malacatos>
- Gianinazzi, S., A. Golotte, M.-N. Binet, D. van Tuinen, D. Redecker, and D. Wipf. (2010). Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services *Mycorrhiza*, 20, 519-530.
- González González, H. A., & Hernández Santana, J. R. (2016). Zonificación agroecológica del *Coffea arabica* en el municipio Atoyac de Álvarez, Guerrero, México. *Investigaciones geográficas*, (90), 105-118.
- Guridi-Izquierdo, F., Calderín-García, A., Louro-Berbara, R. L., Martínez-Balmori, D., & Rosquete-Bassó, M. (2017). Los ácidos húmicos de vermicompost protegen a plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) contra un estrés hídrico posterior. *Cultivos Tropicales*, 38(2), 53-60.
- IICA (2020). Guía práctica de caficultura: Manejo agronómico del café. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 24. Disponible en: <https://iica.int/sites/default/files/2020-1/impresion%20GPCAFI%2010.2020.pdf>
- INEC-ESPAC (2021) Documento metodológico de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua Año 2020.
- Jaramillo-Robledo and Guzmán-Martínez. (1984) Relación entre la temperatura y el crecimiento en *Coffea arabica* L, variedad Caturra. *Cenicafe*, 35(3):57-65 Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/708/1/arc035%2803%2957-65.pdf>
- Javan Gholiloo, M., Yarnia, M., Ghorttpeh, A. H., Farahvash, F., and Daneshian, A. M. (2019). Evaluating effects of drought stress and bio-fertilizer on quantitative and qualitative traits of valerian (*Valeriana officinalis* L.). *J. Plant Nutr.* 42, 1417-1429. doi: 10.1080/01904167.2019.1628972

- Jiménez, Torres, A., & Massa-Sánchez, P. (2016). Producción de café y variables climáticas: El caso de Espíndola, Ecuador. *Economía*, 40(40), 117-137.
- Lara, L., & Vaast, P. (2007). Effects of altitude, shade, yield and fertilization on coffee quality (*Coffea arabica* L. var. Caturra) produced in agroforestry systems of the Northern Central Zones of Nicaragua [Conference presentation]. 2nd International Symposium on Multi-Strata Agroforestry Systems with Perennial Crop, Turrialba, Costa Rica. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4689.1289>
- Latacela, W., Colina, E., Castro, C., Santana, D., Leon, J., Garcia, G., Goyes, M., & Vera, M. (2017). Efectos De La Fertilizacion Nitrogenada Y Fosfatada Sobre Poblaciones De Micorrizas Asociadas Al Cultivo De Cacao. *European Scientific Journal*, 13(6), 469-472.
- León, R., Correa, E., Romero, J., Arias, H., Gómez-Correa, J., Yacomelo M., and Pérez L. (2019). Accumulation of degree days and their effect on the potential yield of 15 eggplant (*Solanum melongena* L.) accessions in the Colombian Caribbean. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72 (3), <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n3.77112>
- López-García, F. J., Escamilla-Prado, E., Zamarripa-Colmenero, A., & Cruz-Castillo, J. G. (2016). Producción y calidad en variedades de café (*Coffea arabica* L.) en Veracruz, México. *Revista fitotecnica mexicana*, 39(3), 297-304.
- Luginbuehl LH, Oldroyd GED. (2017) Understanding the Arbuscule at the Heart of Endomycorrhizal Symbioses in Plants. *Curr Biol*. 11;27(17): R952-R963. doi: 10.1016/j.cub.2017.06.042. PMID: 28898668.
- Marín, S. M., Arcila, J., Montoya, E. C., & Oliveros, C. E. (2004). Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L. var. Colombia). *Cenicafé* 54(3):208-225.
- Medina, I., Roldan, E., Quispe, E., Camacho, A., Marmolejo, D., & Marmolejo, K. (2020). Selección, identificación y zonificación de café (*Coffea arabica* L.) por su adaptabilidad, rendimiento, calidad sensorial y resistencia a plagas y enfermedades. *Agroindustrial Science*, 249-257.
- Melo, R., & Piñeros, R. (2015). Evaluación de la fertilización edáfica en café (*Coffea arabica* L.) mediante el análisis sensorial y características físicas bajo diferentes alturas en Fusagasuga-Cundinamarca.
- Montes, C., & Flórez, A. (2019). Efecto de la fertilización con abono orgánico (ALOFA) en plantas de café (*Coffea arabica*). *Scientia et Technica*, 340-348.
- Montoya, R., and Jaramillo R. (2016). Efecto de la temperatura en la producción de café. *Revista Cenicafe*, 67(2), 58-65.
- Nadeem, S. M., Ahmad, M., Zahir, Z. A., Javaid, A., and Ashraf, M. (2014). The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnol. Adv.* 32, 429-448. Doi: 10.1016/j.biotechadv.2023.12.005
- Nanjareddy K, Blanco L, Arthikala MK, Affantrange XA, Sánchez F, Lara M. (2014). Nitrate regulates rhizobial and mycorrhizal symbiosis in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J Integr Plant Biol*. 2014 Mar;56(3):281-298. doi: 10.1111/jipb.12156. Epub 2014 Feb 25. PMID: 24387000.
- Naranjo, D. (2018). *Efectos De Los Elementos Menores Sobre La Productividad Del Café (Coffea arabica L.) En La Zona Cafetera Colombiana*. Colombia
- Pagano, M. C. (2014). "Drought stress and mycorrhizal plants," in *Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stress*, ed. M. Miransai (New York, NY: Springer), 97–110.
- Parra-Coronado A, Fischer G and Chaves B. (2015). Thermal time for reproductive phenological stages of pineapple guava (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). *Acta Biológica Colombiana*, 20(1), 163-173. doi: 10.15446/abc.v20n1.43390
- PDOT Loja (2019). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Loja 2015-2025.
- Pérez, E., Partida, J., & Martínez, D. (2005). Determinación de las subdenominaciones de origen del Café Veracruz (estudio preliminar). *Revista Geografía Agrícola*, 35, 35–56. <https://www.redalyc.org/pdf/757/75703502.pdf>
- Perez, R., Adriana, Y., Sancho, A., Chinchilla, M., & Subirachs, J. M. (2021). Influencia de un nuevo bioestimulante sobre la floración y fructificación en café (*Coffea arabica* L.). *Revista ESPAMCIENCIA ISSN 1390-8103*, 12(1), 33-40. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i1.226
- Puerta-Quintero, G. (2001). Cómo garantizar la buena calidad de la bebida del café y evitar los defectos (Avances técnicos 284). Centro Nacional de Investigaciones del Café. <https://www.researchgate.net/publication/324066212>
- Quintero, E., Calero Hurtado, A., Pérez Díaz, Y., & Enríquez Gómez, L. (2018). Efecto de diferentes bioestimulantes en el rendimiento del frijol común. *Centro Agrícola*, 45(3), 73-80.
- Ramírez, J. G. (2017). Los ácidos húmicos de vermicompost protegen a plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) contra un estrés hídrico posterior. *Cultivos tropicales*, 38(2), 53-61.
- Ramírez-Iglesias, E., Riofrío-Vega, R. M., Augusto, C., & Gonzáles-Quirola, P. G. O. S. (2021). Efecto de diferentes bioabonos en el crecimiento de plantas de tomate de riñón var. Alambra (*Solanum lycopersicum* Mill.). *Agronomía Tropical*, 71, e5091803.
- Rosas A, J., Escamilla P, E., & Ruiz R, O. (2008). Relación de los nutrimentos del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra latinoamericana*, 26(4), 375-384.
- Rui, W.; Mao, Z.; Li, Z. (2022). The Roles of Phosphorus and Nitrogen Nutrient Transporters in the Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. *Int. J. Mol. Sci.* 2022, 23, 11027. <https://doi.org/10.3390/ijms231911027>
- Ruiz, P. O., Rojas, K. C., & Sieverding, E. (2011). La distribución geográfica de los hongos de micorriza arbuscular: una prioridad de investigación en la Amazonía peruana. *Espacio y Desarrollo*, (23), 47-63.
- Sadeghian, S. (2008). Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guía práctica; Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/587/1/032.pdf>
- Sadeghian, S. (2013). Nutrición de cafetales. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia,

- Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura (Vol. 2, pp. 85–116). Cenicafé; 20, Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/4336>
- Sadeghian, S. (2020). Análisis foliar: Una guía para evaluar el estado nutricional del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 515, 1–4. <https://doi.org/10.38141/10779/0515>
- Sadeghian, S., & Salamanca, A. (2015). Micronutrientes en frutos y hojas de café. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/656>
- Sánchez, S. V., Bueno, D. O., & Jara, P. P. (2018). La realidad ecuatoriana en la producción de café. *RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, 2(2), 72-91.
- Sharma, S., & Singh, J. (2021). Split application of potassium improves yield and potassium uptake of rice under deficient soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 20(2), 213-220
- Siddiqui, Z.A., M.S. Akhtar, and K. Futai. (2008). *Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry*, Springer, Berlin-Heidelberg. 1-35
- SIPA. (2023). Informe de rendimientos objetivos de café (grano oro). Ministerio de Agricultura y Ganadería. Sistema de Información Pública Agropecuaria [Internet]. Disponible: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas> [Accedido: 11 de enero, 2023]
- Torres, C. (2013). Estudio de viabilidad de la finca El Roble como proyecto productivo cafetero (Doctoral dissertation, Universidad EAFIT) (70)14
- UTPL. (2022). Perspectivas de investigación. La ciencia del café. N:67. [Internet]. Disponible: <https://culturacientifica.utpl.edu.ec/?p=4780> [Accedido: 11 de enero, 2023]
- Wang, S.S.; Chen, A.Q.; Xie, K.; Yang, X.F.; Luo, Z.Z.; Chen, J.D.; Zeng, D.C.; Ren, Y.H.; Yang, C.F.; Wang, L.X.; et al. (2020). Functional analysis of the OsNPF4.5 nitrate transporter reveals a conserved mycorrhizal pathway of nitrogen in. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 117, 16649–16659.
- Zhang S, Nie Y, Fan X, Wei W, Chen H, Xie X, Tang M. (2023) A transcriptional activator from *Rhizophagus irregularis* regulates phosphate uptake and homeostasis in AM symbiosis during phosphorous starvation *Front Microbiol*, 13. doi: 10.3389/fmicb.2022.1114089. eCollection 2022.