

INTRODUCCIÓN

En Cuba, más del 70 % de los cafetos tienen entre 30 y 40 años de plantados (1), por lo que es necesaria la renovación de las plantaciones para la obtención de altos niveles de producción. Por este motivo, es necesario contar con posturas sanas y vigorosas, lo que se traducirá en el desarrollo inicial rápido de las plantas, en la reducción de los gastos en la resiembra y, finalmente, en un exitoso establecimiento de las plantaciones (2).

Dentro de las innovaciones tecnológicas en la caficultura, está la producción de posturas en contenedores plásticos, los que entre sus ventajas se menciona la reducción de las posibilidades de incidencia de patógenos, el incremento del crecimiento de los órganos vegetativos y la calidad de las posturas (3), la formación normal del sistema radicular, el menor volumen de sustrato, la disminución de la incidencia de las malezas, el menor espacio del vivero y la disminución de los costos de transporte (4,5). Esta tecnología incluye la aplicación de fertilizantes de lenta liberación, que aseguran la disponibilidad de los nutrientes en diferentes momentos del crecimiento de las posturas y las plantaciones (6,7); sin embargo, los mismos se caracterizan por sus altos precios.

En Cuba, al adecuar la tecnología de tubetes, recipientes pequeños en forma de tubo, se observó defoliación y disminución de la calidad, a medida que crecían las posturas, por lo que, basándose en los resultados que referían el mayor desarrollo de las posturas producidas en los tubetes de mayor tamaño (7), se realizaron investigaciones sobre el volumen de los tubetes para las condiciones edafo-climáticas del país (8), la selección del sustrato (9) y luego sobre la acción del fertilizante de liberación controlada (FLC) Multicote (18-6-12), en la que se encontró el mayor crecimiento de las posturas, con dosis que oscilaron entre 2 y 3 gramos por tubete (10); dosis superiores deprimieron algunas variables de crecimiento.

Las instrucciones técnicas del cultivo (11) recomiendan la fertilización mineral en la fase de vivero del cultivo, lo que, unido a los altos planes de producción de posturas, incrementan considerablemente los costos de esta actividad. Para Brasil, el costo del fertilizante representa el 30 % del costo total de la producción (12). La anterior situación, unida al incremento del precio de los fertilizantes en el mercado mundial, obliga a buscar soluciones que conlleven al incremento de la eficiencia del uso de estos portadores.

El término eficiencia nutricional es utilizado para caracterizar la capacidad de las plantas de absorber y utilizar nutrientes (13) y se relaciona con términos como la eficiencia de absorción, de translocación y de utilización (14). La eficiencia de utilización refleja la habilidad de un cultivar de producir bien en condiciones de baja disponibilidad de nutrientes en el suelo (13).

La eficiencia de absorción está relacionada con la tasa de absorción de nutrientes por unidad de masa de la raíz. Como eficiencia nutricional también se menciona la producción por unidad de fertilizante aplicado y otros

términos en el ámbito de la fisiología y la agronomía; sin embargo, se han realizado pocos estudios sobre esa temática en el cultivo del café (14). La optimización de la eficiencia nutricional es fundamental para mejorar la productividad y reducir los costos (15).

Debido a la ausencia de trabajos sobre esta temática en Cuba, se realizó la investigación con el objetivo de establecer el efecto de diferentes dosis del fertilizante de liberación controlada (FLC), Multicote (18-6-12), sobre la eficiencia nutricional de las posturas de cafetos producidas en tubetes y su relación con el índice de calidad de las mismas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en el periodo comprendido de noviembre 2018 a mayo 2019, en el vivero del Instituto de Investigaciones Agroforestales en la Unidad de Ciencia y Tecnología de Base Tercer Frente, localizada a 20° 9' 15.8394" latitud Norte y -76° 16' 16.3554" longitud Oeste, en la provincia Santiago de Cuba. La temperatura media en el periodo experimental fue de 25,1°C, la humedad relativa de 69 % y 654,7 mm de lluvia, en 36 días.

En un diseño experimental completamente aleatorizado se estudió el efecto de siete dosis de FLC: 0; 1; 2; 3; 4; 5 y 6 gramos, sobre el crecimiento de plántulas de *Coffea arabica* L., variedad "Isla 6-14", cultivadas en un sustrato suelo Pardo-estiércol vacuno, en proporción 1:1 con 8,2 % de materia orgánica, pH en agua de 7,38; valores altos de fósforo y potasio-279,5 y 282,7 mg de P₂O₅ y K₂O en 100 g de suelo, respectivamente.

Las semillas fueron pregerminadas en arena y se sembraron en tubetes de propileno de forma cónica, con estrías internas y dimensiones de 5 cm de diámetro interno en la parte superior, 1 cm de diámetro interno en la abertura inferior, 13 cm de altura y 180 cm³ de capacidad. La siembra fue realizada a 2 cm de profundidad y se colocó una semilla por tubete.

El fertilizante utilizado fue el FLC Multicote (18-6-12), con tasa de liberación total de nutrientes de 60 a 120 días a temperatura de 30°C. Las dosis del fertilizante se aplicaron al momento de elaborar el sustrato.

Cada tratamiento estuvo compuesto por 54 tubetes colocados en una bandeja. De ellos, se consideraron como parcela útil las 24 plantas centrales de cada bandeja.

Se utilizó como cubierta, para el control de la insolación, una malla de sombra negra, con un paso de luz del 50 %, colocada a dos metros por encima de los tubetes, así como en el costado del vivero para evitar la luz solar directa sobre las plantas.

Al momento de la evaluación, las posturas se dividieron en hojas, tallos y raíces, los que se lavaron con agua destilada y se secaron en estufa con ventilación forzada de aire a 70 °C, hasta alcanzar el peso constante. Después del pesaje, tres muestras de cada órgano y de cada tratamiento se analizaron en el laboratorio de suelos y fertilizantes de la Estación Territorial de la Caña de Azúcar de Palma Soriano.

El material vegetal se sometió a una digestión húmeda con ácido sulfúrico y selenio para la determinación de los contenidos totales de nitrógeno, fósforo y potasio. El nitrógeno se determinó por la técnica de Nessler, el fósforo por colorimetría con molibdato de amonio y el potasio por fotometría de llama.

A partir de los valores de masa seca y los contenidos de nutrientes, se calculó la absorción de los nutrientes y, a partir de estos datos, los índices de eficiencia de utilización de nutrientes (EU) (16).

$$EU = (g \text{ materia seca total})^2 / mg \text{ de nutriente en planta}$$

El análisis de la varianza clasificación simple se efectuó mediante un diseño completamente al azar, según el modelo lineal de efectos fijos. Los datos se procesaron empleando el programa Statistica para Windows. Se comprobó la normalidad de los datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la homogeneidad de la varianza por la prueba de Levene. Para la determinación de las diferencias entre los tratamientos se utilizó la dócima de comparación de rangos múltiples de Duncan para $p \leq 0,05$.

Los datos de la relación N/P en las hojas, así como los de eficiencia de utilización de los nutrientes y el índice de calidad de las posturas se ajustaron a varios modelos y se seleccionó el de mayor coeficiente de determinación (R^2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las dosis del fertilizante (FLC) influyeron significativamente ($p \leq 0,05$) en los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio en todos los órganos de las posturas de cafetos (Tabla 1). Los valores de nitrógeno y fósforo se diferenciaron entre órganos y, de manera general, siguieron el siguiente comportamiento: hojas>raíz>tallo, mientras que para el potasio fue raíz>hojas>tallo.

Los valores en hoja de los macronutrientes obtenidos en este trabajo resultaron superiores a los informados para la variedad Isla al aplicar FitoMas E al 1 %, mensualmente, a posturas de cafetos producidas en bolsos (17). En el caso de los contenidos de fósforo en hoja, fueron igualmente superiores a los valores entre 0,21-0,26 informados para las condiciones de invernaderos en Colombia, al estudiar el efecto de bacterias solubilizadoras de fosfatos (18).

Con excepción del contenido de nitrógeno en las hojas del tratamiento testigo, el resto de los valores de ese

elemento y los de fósforo y potasio resultaron superiores a los valores críticos encontrados al realizar estos estudios para las posturas producidas en tubetes en Brasil (19), lo que pudiera estar relacionado con el tipo de sustrato utilizado. Las concentraciones de fósforo y potasio fueron superiores a los rangos de suficiencia, informados al correlacionar los análisis foliares y de suelos para cafetos con altos niveles productivos en Brasil (20).

En los tubetes las posturas encuentran mayor disponibilidad de agua y nutrientes, lo que unido al desarrollo del sistema radicular, minimizan el estrés hídrico y limita el metabolismo (21).

La aplicación de las dosis del FLC posibilitó el incremento paulatino de las concentraciones de los nutrientes. En las hojas y raíces se alcanzaron los máximos valores de nitrógeno y fósforo, significativamente superiores al resto de los contenidos, al aplicar 5 gramos del Multicote (Tabla 1). En las hojas, el mayor contenido de potasio se alcanzó con la mayor dosis de FLC.

La relación N:P en tejidos vegetales se propuso como un indicador limitante del crecimiento. Se encontró que esta relación osciló entre 5,36 y 10,25, y en el caso específico de las hojas, entre 7,41 y 10,25, lo que es un reflejo de que el nitrógeno resultó el limitante en el sustrato, ya que relaciones superiores a 16, indican que el crecimiento es limitado por el fósforo (22); mientras que menores de 16 señalan al nitrógeno. Se encontraron coeficientes de determinación (R^2) altos y significativos entre las dosis del FLC y la relación N/P, siendo estos de mayor valor en la raíz de los cafetos (Figura 1).

La absorción de nutrientes se incrementó en todos los órganos por efecto de las dosis de FLC, y la misma se diferenció según el nutriente analizado. De esta manera, la dosis de 3 g de FLC tubete⁻¹ garantizó valores de nitrógeno similares, estadísticamente, al mayor valor alcanzado con la dosis de 5 g FLC tubete⁻¹ (Tabla 2).

La dosis de 2 g FLC tubete⁻¹ permitió obtener valores de absorción de fósforo similares, estadísticamente, a los mayores valores de este elemento, alcanzados con la dosis de 5 g de FLC (Tabla 2). Con la aplicación de esta misma dosis, se lograron los valores superiores de absorción de potasio, que se diferenciaron, estadísticamente, de los alcanzados con el resto de los tratamientos (Tabla 2).

Tabla 1. Efecto de las dosis del FLC Multicote en las concentraciones de nutrientes (%) en posturas de *Coffea arabica* L

Multicote (g tubete ⁻¹)	Hojas			Tallo			Raíz		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
0	2,00 g	0,239 f	3,74 d	1,31 e	0,19 e	2,56 c	1,38 e	0,19 c	4,03 g
1	2,28 e	0,27 d	3,92 c	1,14 f	0,19 e	2,30 e	1,44 d	0,17 d	4,27 f
2	2,11 f	0,25 e	3,69 d	1,12 g	0,20 d	2,34 d	1,62 b	0,17 d	4,90 c
3	2,68 d	0,28 c	3,90 c	1,34 d	0,19 e	2,69 b	1,54 c	0,18 d	4,54 e
4	2,73 c	0,29 b	3,77 d	1,41 c	0,26 a	2,71 b	1,96 a	0,23 b	5,15 b
5	3,16 a	0,32 a	4,13 b	1,57 b	0,25 b	3,08 a	1,99 a	0,25 a	5,33 a
6	2,86 b	0,28 c	4,63 a	1,83 a	0,23 c	2,71 b	1,64 b	0,25 a	4,74 d
E,E, \bar{x}	0,07*	0,0007*	0,03*	0,002*	0,0002*	0,01*	0,01*	0,001*	0,01*

*Medias con letras diferentes en la misma columna difieren entre sí para $p < 0,05$ según dócima de Duncan

La distribución relativa de la absorción de los macronutrientes en los órganos de la planta fue diferente, según el nutriente analizado. Como promedio de todas las dosis, el 64,2 % del nitrógeno se localizó en las hojas de las posturas, seguido del 26,2 % en las raíces. En el tallo se localizó el resto de este elemento, con la característica de un marcado efecto descendente, desde el 11,3 % para el testigo, hasta un 4,5 % en el tratamiento con la dosis de 6 g FLC tubete⁻¹.

El 58,6 % del fósforo se localizó en las hojas, el 27,4 % en las raíces y el 14 % en el tallo.

La distribución del potasio entre los órganos fue también diferente y se encontró, como promedio de todas las dosis, el 61,8 % en las raíces, el 31,8 % en las hojas y solo el 6,4 % en los tallos.

La eficiencia de la utilización resulta de las interacciones entre la absorción, el transporte, la redistribución y el metabolismo de los nutrientes en una planta y la misma refleja, no solo el contenido del nutriente en los diferentes órganos, sino también la cantidad de materia seca producida por unidad de nutriente adquirido (23).

Para las posturas de cafetos cultivadas en tubetes se encontró que la eficiencia de utilización de los nutrientes, independientemente de la dosis de FLC aplicada, fue superior para el fósforo, seguido del nitrógeno y, por último, el potasio (Tabla 3). Se destaca que los mayores valores de

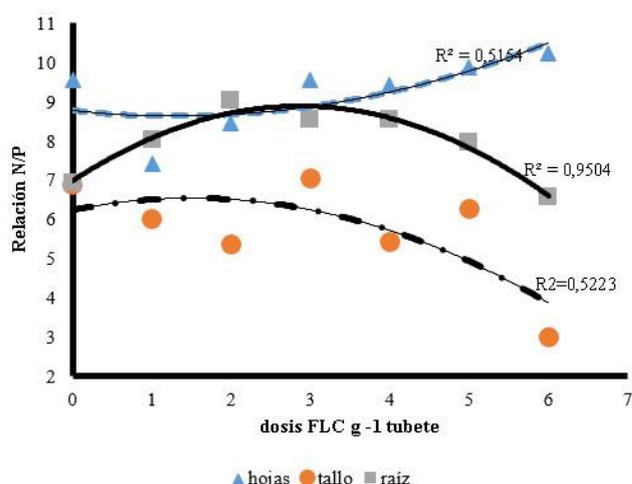


Figura 1. Efecto de las dosis de fertilizante de liberación controlada en la relación N/P en las posturas de cafetos

eficiencia de utilización de los tres nutrientes, se encontraron al aplicar la dosis de 2 g tubete⁻¹ del fertilizante, lo que concuerda con las evaluaciones morfológicas realizadas anteriormente en este experimento (10).

Similar comportamiento de mayor eficiencia de utilización del fósforo por encima del nitrógeno y el potasio, se

Tabla 2. Absorción de nutrientes por las posturas producidas en tubetes (mg postura⁻¹)

Órgano	Nutriente	Dosis de fertilizante							EE
		0	1	2	3	4	5	6	
Hojas	N	25,60 c	12,26 d	26,22 bc	36,33 a	30,09 b	40,11 a	25,06 c	1,39 *
	P ₂ O ₅	3,24 c	1,99d	3,74 b	4,56 a	3,84 b	4,90 a	2,95 c	0,17 *
	K ₂ O	96,26 b	55,01 c	105,32 b	120,62 a	94,87 b	120,18 a	93,05 b	4,91 *
Tallo	N	4,53 abc	3,69 c	5,03 a	4,78 ab	4,37 abc	4,13 bc	4,08 bc	0,26 *
	P ₂ O ₅	0,79 c	0,74 cd	1,13 a	0,82 bc	0,97 b	0,79 c	0,62 e	0,05*
	K ₂ O	20,29 bc	17,07 cd	24,09 a	21,98 ab	19,25 bc	18,58 bc	13,86 d	1,21*
Raíz	N	10,05 bc	10,29 bc	16,18 a	10,70 bc	11,42 b	9,34 c	7,65 d	0,56*
	P ₂ O ₅	1,75 b	1,54 bc	2,16 a	1,5 c	1,6 bc	1,41 c	1,42 d	0,08*
	K ₂ O	67,24 bc	69,87 b	112,07 a	72,27 b	68,72 b	57,09 cd	50,94 d	3,64*
Total	N	40,19 d	26,24 e	47,44 bc	51,81 ab	45,88 c	53,59 a	36,80 d	1,70 *
	P ₂ O ₅	5,78 b	4,28 d	7,03 a	6,88 a	6,42 ab	7,10 a	4,98 c	0,24*
	K ₂ O	183,80 c	141,96 d	241,48 a	214,88 b	182,83 c	195,85 bc	157,86 d	7,35*

*Medias con letras diferentes en la misma columna difieren entre sí para p<0,05 según dócima de Duncan

Tabla 3. Eficiencia de utilización de los nutrientes por posturas (g² de materia seca mg nutriente⁻¹)

Dosis Multicote (g tubete ⁻¹)	Eficiencia de utilización		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
0	0,122 b	0,845 b	0,027 a
1	0,124 b	0,764 c	0,024 b
2	0,143 a	0,963 a	0,028 a
3	0,111 c	0,839 b	0,027 a
4	0,093 d	0,671 d	0,024 b
5	0,074 e	0,561 e	0,020 c
6	0,072 e	0,494 f	0,016 d
EE \bar{x}	0,003*	0,022*	0,0007*

*Medias con letras diferentes en la misma columna difieren entre sí para p<0,05 según dócima de Duncan

encontró al estudiar este indicador en tres variedades injertadas de café (24). Estos autores citan a Gerloff y Gabelman (25), quienes exponen tres posibles razones para explicar esta situación, de las cuales se considera se ajusta más a los resultados de esta investigación, la que lo relaciona con la mayor redistribución del nutriente a los puntos de crecimiento.

La mayor eficiencia de utilización del nitrógeno se encontró con la dosis de 2 g de Multicote tubete⁻¹, que implica 0,36 g de N por tubete⁻¹, que coincide con investigaciones donde se concluyó que dosis superiores a 0,4 g N planta⁻¹ deprimen el crecimiento de las posturas de café (26) y que las sobredosis de nitrógeno pueden incrementar el contenido de nitratos, reducir los aminoácidos esenciales, causar toxicidad por amonio o dañar el sistema radical, entre otros efectos negativos y, en resumen, dañar el crecimiento de las plantas, el rendimiento y su calidad.

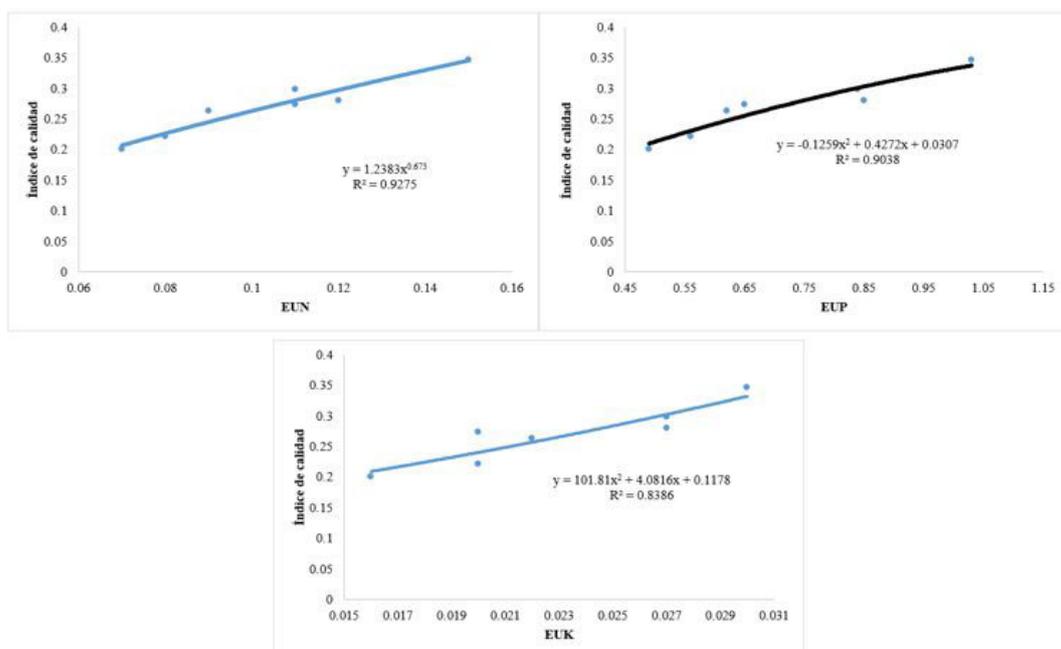
Estos valores de masa seca obtenidos por mg de fósforo reafirman el papel del nutriente en esta fase del cultivo, que además de promover el crecimiento prematuro de las raíces, mejora la eficiencia del uso del agua (27). Por otro lado, la menor producción de biomasa por unidad de potasio puede relacionarse con su bajo requerimiento en esta fase fenológica del cultivo y, por consiguiente, la baja eficiencia de absorción (Tabla 3).

Los datos de la regresión entre las dosis de FLC y la eficiencia de utilización de los tres nutrientes, mostraron mejores ajustes a diferentes funciones. Para el nitrógeno, exponencial con R²=0,58; mientras que, para el fósforo y el potasio, cuadráticas con R² de 0,59 para ambos. En todos los casos, se encontró la tendencia a la disminución de la eficiencia con el incremento de las dosis del

fertilizante. Similar situación de disminución de la eficiencia de utilización con el incremento de las dosis de Osmocote, se encontró en la producción de posturas de *Pinus halepensis* mil (28) y en cafetos, al estudiar la relación entre dosis de nitrógeno, fotosíntesis y el rendimiento en cafetos de 2,5 años de plantados en Etiopía (29). Similar disminución de la absorción de nitrógeno con el incremento de la dosis de urea se demostró en estudios realizados en café con isotopos de nitrógeno (30).

Se debe destacar que el índice de calidad de las posturas de café en el experimento estuvo cercano al valor de 0.42, considerado ideal para las mismas (31). Los valores de correlación entre el índice de calidad de las posturas de café y el índice de utilización de los nutrientes, alcanzaron valores de 0,93; 0,90 y 0,84 para el nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente. Se encontró el incremento paulatino de este índice con el incremento de la eficiencia de utilización de los nutrientes (Figura 2). Al estudiar la absorción de fósforo e índices de eficiencia en genotipos de café (27), se encontraron correlaciones positivas con la altura, el diámetro del tallo, el número de hojas y ramas, todos ellos relacionados con la masa seca de la planta, un componente significativo en el cálculo del coeficiente de utilización del fósforo.

De esta manera se estableció que para la fertilización de las posturas de cafetos producidas en tubetes, la dosis de 2 g del Multicote propició la mayor eficiencia de utilización de los nutrientes y que dosis superiores podrían incrementar una mayor absorción de los mismos, pero también podrían ocasionar impactos negativos, como un mayor riesgo medioambiental, por el incremento de los lixiviados, además del impacto económico al utilizar una dosis superior del costoso fertilizante.



EU - eficiencia de utilización

Figura 2. Relación entre la eficiencia de utilización de los nutrientes y el índice de calidad de las posturas

CONCLUSIONES

- La eficiencia de utilización de los nutrientes, independientemente de la dosis de fertilizante aplicada, fue superior para el fósforo seguido del nitrógeno y por último el potasio.
- Los mayores valores de eficiencia de utilización de los tres nutrientes, se encontraron al aplicar la dosis de 2 g tubete⁻¹ del fertilizante.
- El índice de calidad de las posturas se incrementó con la eficiencia de utilización de los nutrientes

BIBLIOGRAFÍA

1. Gutiérrez-Benítez JR, Gaskin-Espinosa B. Aplicaciones de "Fitomas e" en posturas de cafeto variedad Caturra rojo. *Revista Ingeniería Agrícola*. 2017;7(1):16-21.
2. Mario EP da CJ, Richardson SR, Israel MP, Derivaldo P da C, Josimar NB, Rita de KG da S, et al. Multivariate analysis in the evaluation of substrate quality and containers in the production of Arabica coffee seedlings. *African Journal of Agricultural Research*. 2020;15(3):457-63.
3. Bachião POB, de Rezende Maciel AL, Avila RG, Campos CN. Crescimento de mudas de cafeeiro em tubos com fertilizante de liberação lenta. 2018;10(1):105-16.
4. Coelho VP de M, Rosa KM, Paiva PEB, Moreira ÉFA, Carvalho M. Fertigation and growth regulator on coffee seedling production in tubes. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 2018;48(4):350-7.
5. Guisolfi LP, Lo Monaco PAV, Krause MR, Meneghelli CM, Almeida KM, Meneghelli LAM, et al. Agricultural wastes as alternative substrates in the production of conilon coffee seedlings. *Biosci. j. (Online)*. 2020;36(3):792-8.
6. Guelfi D. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. *Informações Agronômicas*. 2017;157(1):1-14.
7. Jaeggi MEP da C, Saluci JCG, Rodrigues RR, Gravina G de A, Lima WL de. Alternative substrates in different containers for production of conilon coffee seedlings. 2018;13(1):80-9.
8. Sánchez C, Martínez F, Morán N, Cabanas Y, Meneses I, Vicet E. Influencia de tres tipos de tubetes y diferentes momentos de fertilización en el desarrollo de posturas de café. *Café Cacao*. 2018;17(1):35-43.
9. Morán N, Martínez F, Bustamante C. Estudio de diferentes fuentes de abono orgánico y mejoradores de sustratos en el desarrollo de posturas de cafetos producidas en tubetes de 180 cm³. *Café Cacao*. 2020;19(1):24-32.
10. Bustamante-González C, Ferrás-Negrín Y, Sánchez-Esmoris C. Efecto de dosis de fertilizante de liberación controlada sobre el desarrollo de posturas de cafeto. *Café Cacao*. 2020;19(1):51-8.
11. Díaz W, Caro P, Bustamante C, Sánchez C, Rodríguez M, Vázquez E. Instructivo Técnico Café Arábico (*Coffea arabica* Lin). Instituto de Investigaciones Agro-Forestales: Ministerio de la Agricultura. Dirección de Café y Cacao del Grupo Empresarial de Agricultura de Montaña. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales; 2013 p. 138.
12. Franco-Junior KS, Carvalho JS, Guimarães BC, Barbosa CKR, Brigante GP, Dias M de S, et al. Evaluation of slow release fertilizer on the initial development and coffee production. 2019;14(4):538-43. doi:10.25186/cs.v14i4
13. Martins LD, Machado LDS, Tomaz MA, Amaral J do. The nutritional efficiency of Coffea spp. A review. *African Journal of Biotechnology*. 2015;14(9):728-34. doi:10.4314/ajb.v14i9
14. Amaral JFT do, Martinez HEP, Laviola BG, Fernandes Filho EI, Cruz CD. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. *Ciência Rural*. 2011;41(4):621-9. doi:10.1590/S0103-84782011005000027
15. Amaral J, Martinez HE, Cruz CD, Mantovani E, Novais R, Souza R. Índices de eficiência nutricional em Coffea arabica L. In 2001 [cited 2022 Dec 5]. Available from: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_ana_is/simposio2/solos35.pdf
16. Siddiqi MY, Glass ADM. Utilization index: A modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*. 1981;4(3):289-302. doi:10.1080/01904168109362919
17. Bustamante C, Ferrás Y. Efecto del FitoMas-E en la eficiencia de utilización de nutrientes por posturas de variedades de Coffea arabica L. *Café Cacao*. 2019;18(1):15-23.
18. Cisneros-Rojas CA, Sánchez-de Prager M, Menjivar-Flores JC. Efecto de bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el desarrollo de plántulas de café. *Agronomía Mesoamericana*. 2017;28(1):149-58. doi:10.15517/am.v28i1.22021
19. Gonçalves SM, Guimarães RJ, Carvalho JG de, Botrel ÉP. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) produzidas em tubetes. *Ciência e Agrotecnologia*. 2009;33(3):743-52. doi:10.1590/S1413-70542009000300012
20. Sousa JS, Neves JC, Martinez HE, Alvarez VH. Relationship between Coffee Leaf Analysis and Soil Chemical Analysis. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [Internet]. 2018 [cited 05/11/2022];42. doi:10.1590/18069657rbcs20170109
21. Espindula M, Balbino TJ, Jaraceski R, Teixeira AL, Machado JR, Pasqualotto RG. Different volumes of tubes for clonal propagation of Coffea canephora from seedlings. 2018;13(1):33-40. doi:10.25186/cs.v13i1.1353
22. Tessier JT, Raynal DJ. Use of nitrogen to phosphorus ratios in plant tissue as an indicator of nutrient limitation and nitrogen saturation. *Journal of Applied Ecology*. 2003;40(3):523-34. doi:https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2003.00820.x
23. Pedrosa AW, Martinez HEP, Cruz CD, DaMatta FM, Clemente JM, Neto AP. Characterizing zinc use efficiency in varieties of Arabica coffee. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 2013;35(3):343-8. doi:10.4025/actasciagron.v35i3.16322
24. Tomaz MA, Sakiyama NS, Martinez HEP, Cruz CD, Zambolim L, Pereira AA. Comparison of nutritional efficiency among hydroponic grafted young coffee trees for N, P, and K. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 2004;4(1):92-9.

25. C GG. Genetic basis of inorganic plant nutrition. Encyclopedia of Plant Physiology. 1983;453-80.
26. Salamanca-Jimenez A, Doane TA, Horwath WR. Coffee response to nitrogen and soil water content during the early growth stage. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 2017;180(5):614-23. doi:<https://doi.org/10.1002/jpln.201600601>
27. de Melo B, Mendes ANG, Guimaraes PTG, Dias FP. Substratos, fontes e doses de P₂O₅ na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes. Bioscience Journal. 2006;19(2):35-44.
28. Oliet J, Segura ML, Dominguez FM, Blanco E, Serrada R, Arias ML, et al. Los fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de planta forestal de vivero. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* Mill. Forest systems. 1999;8(1):207-28.
29. Bote AD, Zana Z, Ocho FL, Vos J. Analysis of coffee (*Coffea arabica* L.) performance in relation to radiation level and rate of nitrogen supply II. Uptake and distribution of nitrogen, leaf photosynthesis and first bean yields. European Journal of Agronomy. 2018;92:107-14. doi:[10.1016/j.eja.2017.10.006](https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.10.006)
30. Neto AP, Favarin JL, Hammond JP, Tezotto T, Couto HTZ. Analysis of Phosphorus Use Efficiency Traits in Coffea Genotypes Reveals Coffea arabica and Coffea canephora Have Contrasting Phosphorus Uptake and Utilization Efficiencies. Frontiers in Plant Science [Internet]. 2016 [cited 05/11/2022];7. doi:[10.3389/fpls.2016.00408](https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00408)
31. Jaeggi M, Rocha R, Pereira I, Cruz D, Guarnier da Silva R, Batista J, et al. Alternative Substrate and Recipients for the Production of Arabica Coffee Seedlings. Journal of Agricultural Science. 2020;12(5):82. doi:[10.5539/jas.v12n5p82](https://doi.org/10.5539/jas.v12n5p82)