



APLICACIÓN DE UREA, DAP Y KCl SOBRE ALMÁCIGOS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) DE LA VARIEDAD CASTILLO

APPLICATION OF UREA, DAP AND KCl TO COFFEE (*Coffea arabica* L.) SEEDBEDS OF THE CASTILLO VARIETY

Javier García Alzate • javier@udenar.edu.co

Doctor en Fisiología de la Producción, Universidad de Nariño, Colombia.

Carlos Andrés Benavides-Cardona • cabenavides@udenar.edu.co

Estudiante del Doctorado en Ciencias Agrarias, Universidad de Nariño, Colombia.

David Eduardo Álvarez Sánchez • daealvarezsa@udenar.edu.co

Doctor en Agroecología, Universidad de Nariño, Colombia.

Citación: García, J., Benavides-Cardona, C., Álvarez, D. (2022). Aplicación de Urea, DAP y KCl sobre almácigos de café (*Coffea arabica* L.) de la variedad Castillo. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 33 - 49. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4297>

RESUMEN

Contextualización: en el sistema productivo del café, la etapa de almácigo o semillero se constituye como determinante del éxito para la implementación y comportamiento del cultivo. En esta etapa, la nutrición es un factor muy relevante.

Vacío de conocimiento: la utilización de sustratos de diversas procedencias para la implementación de almácigos en el café, dificulta un correcto diagnóstico de fertilidad. Por esta razón, la nutrición en esta fase del sistema productivo se basa en recomendaciones y fórmulas generalizadas que no consideran las necesidades diferenciales de las variedades de café empleadas y su estado al momento del trasplante.

Propósito: el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de los fertilizantes Urea, DAP, KCl y mezclas de estas sobre el crecimiento de plántulas de café (variedad Castillo) durante la etapa de almácigo.

Metodología: este trabajo se realizó en el año 2019 en la granja La Quinta, del municipio de Consacá (Nariño-Colombia), a 1.650msnm, bajo un diseño completamente al azar, con ocho tratamientos y ocho

repeticiones, así: 2,17g de Urea + 0,7g de DAP; 4,3g de DAP; 3,3g de KCl; 0,6g de Urea + 4,3g de DAP; 2,1g de Urea + 3,3g de KCl; 4,3g de DAP + 3,3g de KCl; 2,1g de Urea + 4,3g de DAP + 3,3g de KCl y un testigo al que no se le aplicaron tratamientos. Se realizó un análisis de varianza con las siguientes variables: altura de planta, número de hojas, peso seco y fresco de las plántulas, además de un análisis de crecimiento funcional con evaluaciones quincenales.

Resultados y conclusiones: el tratamiento con DAP presentó la mayor altura (20,65cm), mayor peso fresco y seco de tallo (3,86g; 1,43g), mayor peso seco total (5,33g), mayor área foliar (350,8 cm²) e índice de área foliar (0,99). El tratamiento con Urea + DAP mostró la mejor tasa de asimilación neta (0,00029g cm⁻² d⁻¹) y mejor tasa de crecimiento del cultivo (2,87 e-05 g cm⁻² d⁻¹). El tratamiento con DAP + KCl alcanzó el mayor valor para tasa de crecimiento relativa (0,047g⁻¹ d⁻¹). En todos los casos se demostró que, para la fase de almácigo, el fósforo se tornó concluyente, debido a que su presencia se relacionó con comportamientos fisiológicos superiores.

Palabras clave: área foliar; crecimiento; fertilización; plántula; peso seco

ABSTRACT

Contextualization: In the coffee production system, the seedling stage is a determining factor in the success of the implementation and behavior of the crop. In this stage, the nutrition is a very relevant factor.

Knowledge gap: The use of substrates with diverse origins for the implementation of seedbeds in coffee makes difficult a correct diagnosis of fertility. For this reason, the nutrition in this phase of the productive system is based on recommendations and generalized formulas, that do not consider the differential needs of the varieties used and their state at the time of transplantation.

Purpose: The objective of this research was: evaluating the effect of Urea, DAP and KCl fertilizers and mixtures of these on the growth of coffee seedlings (variety Castillo) during the seedling stage.

Methodology: The work was carried out in 2019, at the farm La Quinta, in the municipality of Consacá (Nariño-Colombia), at 1.650 meters above sea level, using a completely randomized design with eight treatments and eight repetitions distributed

this way: 2.17g of Urea + 0.7g of DAP; 4.3g of DAP; 3.3g of KCl; 0.6g of Urea + 4.3g of DAP; 2.1g of Urea + 3.3g of KCl; 4.3g of DAP + 3.3g of KCl; 2.1g of Urea + 4.3g of DAP + 3.3g of KCl and a control without application. It was carried out an analysis of variance with these variables: height, number of leaves, dry and fresh weight of the seedlings, besides a functional growth analysis with biweekly evaluations.

Results and conclusions: The treatment with DAP presented the highest height (20.65cm), greater fresh and dry weight of stem (3.86g; 1.43g), greater total dry weight (5.33g) greater leaf area (350.8cm²) and leaf area index (0.99). The Treatment with Urea + DAP showed better net assimilation rate (0.00029g cm⁻² d⁻¹) and better crop growth rate (2.87e-05 g cm⁻² d⁻¹). The Treatment with DAP and KCl reached the highest value for relative growth rate (0.047g g⁻¹ d⁻¹). In all cases, phosphorus became conclusive for the seedling stage, due to its presence was related to superior physiological behavior.

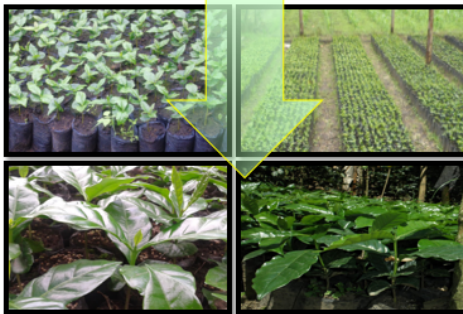
Keywords: leaf area; growth; fertilization; seedling; dry weight



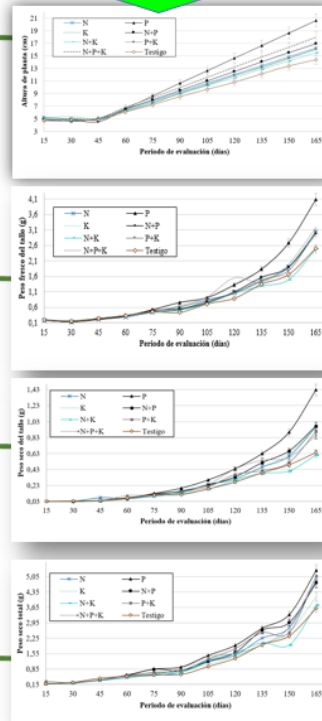
RESUMEN GRÁFICO

Diseño irrestrictamente al azar (DCA)

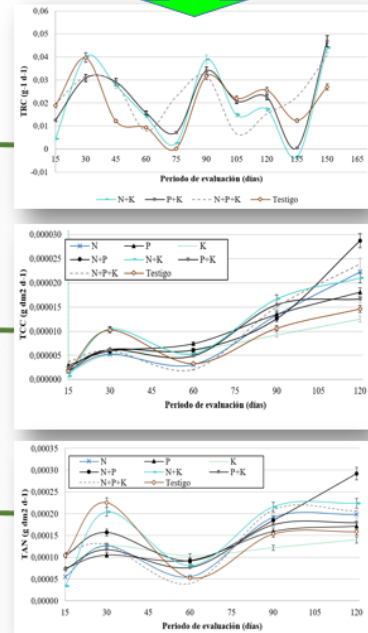
Tratamiento.	Elemento	Dosis comercial (g planta ⁻¹)
1	N	2,17 g UREA
2	P ₂ O ₅	4,3 g DAP
3	K ₂ O	3,3 g KCL
4	N + P ₂ O ₅	0,6 g Urea + 4,3 g DAP
5	N + K ₂ O	2,1 g Urea + 3,3 g KCL
6	P ₂ O ₅ + K ₂ O	4,3 g DAP + 3,3 g KCL
7	N+ P ₂ O ₅ + K ₂ O	2,1 g Urea + 4,3 g DAP + 3,3 g KCL
8	Testigo	-----



Variables de crecimiento



Análisis de crecimiento



Esquema metodológico y descripción de resultados.

Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

El café es uno de los principales cultivos en el mundo. Se cultiva en alrededor de 80 países (Moisés et al., 2015) con una distribución marcada en las regiones tropicales y subtropicales. Sin embargo, a pesar de la importancia que representa, solo dos especies son explotadas comercialmente *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* L. (Herrera et al., 2002).

De acuerdo con la Organización Internacional del Café (OIC, 2016), el consumo de café aumentó en las últimas décadas, pasando de aproximadamente 58 millones de sacos en los años 60 a 150 millones de sacos en el 2014. Colombia participa del mercado y concentra su producción en zonas históricamente conocidas por su vocación cafetera. Entre ellas, el eje cafetero y departamentos como Huila y Nariño que presentan diferenciales en crecimiento y desarrollo frente a otros países (Ramírez, 2014).

Estas diferencias, hacen que la producción nacional presente variaciones con respecto a otros países, de tal forma que, para 2015, el rendimiento fue de 16,8 sacos ha⁻¹ año⁻¹ por debajo de Brasil que produjo 24,5 sacos ha⁻¹ año⁻¹ (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia [FNC], 2015). Además, se suman otros problemas de índole socioeconómico, tales como la escasez de mano de obra para labores agronómicas, que afectan su productividad (Ocampo y Alvarez, 2017; Salazar et al., 2016).

La calidad y rendimiento del cultivo se determina proporcionalmente a cada una de sus fases: desde la conformación del almácigo, hasta su procesamiento (Flórez et al., 2016; Sadeghian, 2013). En la etapa de almácigo, el objetivo es obtener plantas de calidad con eficiencia en recursos, iniciando con las chapolas (como son conocidas las plántulas seleccionadas en el germinador) que pasan al almácigo como tal y continuando con sustratos eficientes, bolsas de capacidad

apropiadas, requisitos fitosanitarios y nutrición conforme a los requerimientos del material vegetal (Puerta et al., 2016). Debe tenerse en cuenta que los requerimientos minerales varían según el estado del crecimiento (Ávila-Reyes et al., 2010). Por lo tanto, utilizar patrones generalizados de nutrición en almácigos o aportes de materiales orgánicos convencionales (Arcila et al., 2007) puede resultar contraproducente a nivel económico, agronómico, social y ambiental (Sadeghian y Duque, 2003).

La obtención de almácigos vigorosos es uno de los pilares fundamentales en el establecimiento de los cultivos de café, que pueden permanecer hasta por más de 15 años en el campo. Entre los factores de éxito para lograr este objetivo está la adecuada nutrición de las plantas, la cual depende, entre otros aspectos, de la selección apropiada de la dosis y la fuente de cada elemento fertilizante.

En este contexto, y con miras a fortalecer el conocimiento del sistema productivo del café, este trabajo planteó como objetivo evaluar el efecto sobre las variables fisiológicas y de crecimiento de los fertilizantes Urea, DAP y KCl en la etapa de almácigo de café (variedad Castillo) en condiciones de manejo tradicional.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El trabajo se realizó durante el primer semestre del 2019 en la granja experimental La Quinta de la Universidad de Nariño, ubicada en el municipio de Consacá (Nariño-Colombia), a 1.650 msnm, temperatura media de 20°C y 1.600 mm de precipitación anual (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2017).

Material vegetal y sustrato

Se emplearon plántulas de café (*Coffea arabica* L.) de la variedad Castillo, trasplantadas en bolsas plásticas (17cm x 23cm), con un sustrato mezcla de suelo y pulpa de café descompuesta 3:1 (Tabla 1). El almácigo se ubicó bajo polisombra negra al 50% y se condujo agronómicamente de forma homogénea, en cuanto a los parámetros de riego y fitosanitarios, de acuerdo con las observaciones y el monitoreo periódico.

Tabla 1. Caracterización física-química del sustrato utilizado.

Característica	Contenido
Ph	6,10
Materia Orgánica %	3,81
CIC cmol Kg ⁻¹	14,6
Ca cmol Kg ⁻¹	10,5
Mg cmol Kg ⁻¹	3,3
K cmol Kg ⁻¹	0,72
Fe mg Kg ⁻¹	143
Mn mg Kg ⁻¹	30,7
P mg Kg ⁻¹	10,8
Cu mg Kg ⁻¹	2,48
Zn mg Kg ⁻¹	5,29
B mg Kg ⁻¹	0,18
N total %	0,15
S mg Kg ⁻¹	4,41
Textura	Areno-arcilloso
Densidad aparente g cc ⁻¹	0,76

Fuente: Autores.

Diseño experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con ocho tratamientos e igual número de repeticiones (Tabla 2). La fertilización se aplicó en dos fases: 50% de la dosis al momento del trasplante de las plántulas y 50% dos meses después. Las dosis aplicadas, correspondieron a un aporte por planta de 1g de N, 2g de P₂O₅ y 2g de K₂O, representadas en dosis comerciales de Urea (46% NH₄), (DAP) (46% P₂O₅ y 18% NH₄) y Cloruro de Potasio (KCl) (60% K₂O) aplicados en forma individual y en combinación en forma granulada.

VARIABLES EVALUADAS

En un esquema de muestreo destructivo, a partir de los **15 días después del trasplante (ddt)**, quincenalmente se evaluaron en ocho plantas por repetición, durante seis meses, las siguientes variables: altura total en centímetros (AT); número de hojas (NH); peso fresco (PFR) y seco de raíz (PSR); peso de tallo (PST); peso de hojas (PSH) en gramos y área foliar total (AF) estimada a partir del NH y de la evaluación individual, obtenida a través de la ecuación propuesta por Soto (1980).



Tabla 2. Tratamientos utilizados en el café de la variedad Castillo en etapa de almácigo.

Tratamiento	Elemento	Dosis comercial (g planta ⁻¹)
1	N	2,17 g de Urea
2	P ₂ O ₅	4,3 g de DAP
3	K ₂ O	3,3 g de KCl
4	N + P ₂ O ₅	0,6 g de Urea + 4,3 g de DAP
5	N + K ₂ O	2,1 g de Urea + 3,3 g de KCl
6	P ₂ O ₅ + K ₂ O	4,3 g de DAP + 3,3 g de KCl
7	N+ P ₂ O ₅ + K ₂ O	2,1 g de Urea + 4,3g de DAP + 3,3 g de KCl
8	Testigo (sin aplicación)	

Fuente: Autores.

$$Y=0,64*(L*A)+0,49 \quad (\text{Ecuación 1})$$

En donde: Y= área foliar; L = largo de la hoja; A = ancho de la hoja; 0,64 y 0,49 = constantes

Teniendo en cuenta las variables anteriores, para el análisis del crecimiento, se obtuvo el Índice de área foliar (IAF), mediante la ecuación propuesta por Campostrini y Yaminisi (2001). Así mismo, se determinaron la tasa absoluta de crecimiento (TAC), la tasa relativa de crecimiento (TCR), la tasa de asimilación neta (TAN) y la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) a través de los procedimientos descritos por Gardner et al. (2003).

Análisis de la información

Los datos correspondientes a la última medición (160 ddt) se sometieron a un análisis de varianza ($\alpha = 0,05$) y, una vez comprobados los supuestos de normalidad, independencia y homocedasticidad, se procedió a realizar una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Para el análisis de crecimiento se graficó el comportamiento de las variables con respecto al tiempo (15 a 160 ddt), estudiando los modelos de regresión lineal simple y el modelo cuadrático. Para la evaluación se consideró la significancia estadística ($\alpha=0,05$) y el coeficiente de determinación ajustado (R²) de acuerdo con Di Benedetto y Tognetti (2016). Los procesos estadísticos se realizaron mediante el lenguaje de programación R v.4.2, usando el paquete Agricolae.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con el análisis del sustrato, es importante indicar que presentó un pH cercano a la neutralidad (6,1) y con bajos niveles de aluminio intercambiable (Al⁺⁺). Estos aspectos facilitan las reacciones químicas y absorción de nutrientes por parte de las plántulas de café (Sadeghian y González, 2014; Bojórquez-Quintal et al., 2014). Lo contrario sucede cuando existe incremento de la acidez con implicaciones considerables en la eficiencia de la fertilización, ya que entre más ácido sea un sustrato, habrá menor capacidad de retención o “almacenamiento”. Por ende, más aluminio ocupará sitios de intercambio, habrá menos bases intercambiables y más susceptibilidad de los nutrientes para perderse por lavado, más allá del alcance de las raíces (Sadeghian, 2016).

En el sustrato se reportó, también, 0,93g de N por bolsa, cumpliendo con los requerimientos para el almácigo. Sin embargo, después de la aplicación de los tratamientos hubo respuestas diferenciales en el comportamiento de las variables evaluadas en él. Esto posiblemente se deba a que la cantidad presente del elemento no estuvo disponible para la planta por procesos de mineralización o fijación de amonio en las arcillas (Debela et al., 2018).

Respecto a las variables de altura total (AT), peso fresco del tallo (PFT), peso fresco de hojas (PFH), peso seco del tallo (PST) y peso seco total (PSTT), después

de evidenciar diferencias estadísticas que cumplieran con los supuestos del análisis de varianza, se compararon los tratamientos como se resume en la Tabla 3. Por otra parte, la variable número de hojas (NH) no

presentó diferencias estadísticas significativas, posiblemente, porque en el estado fenológico evaluado, esta depende de las características morfológicas del genotipo, sin ser afectada por factores externos (Pino et al., 2019).

Tabla 3. Comparación de Medias de Tukey para las variables altura de planta (AT), peso fresco de tallo (PFT), peso fresco de hojas (PFH), peso seco de tallo (PST), peso seco total (PSTT).

TRAT	EQUIVALENCIA	AT (cm)	PFT (g)	PFH (g)	PST (g)	PSTT (g)
T2	DAP	20,65 a	3,86 a	9,52 ab	1,43 a	5,33 a
T7	Urea+ DAP + KCl	18,00 b	3,18 ab	11,00 a	0,86 bc	5,06 ab
T4	Urea + DAP	16,94 c	3,00 b	9,01 ab	0,97 b	4,78 ab
T1	Urea	16,25 cd	3,05 ab	10,03 ab	0,96 b	4,85 ab
T3	KCl	16,05 cd	2,90 b	7,66 b	0,96 b	4,13 ab
T6	DAP + KCl	16,05 cd	3,03 ab	9,67 ab	0,91 bc	5,07 ab
T5	Urea + KCl	15,51 d	2,48 b	8,54 ab	0,61 c	3,75 ab
T8	Testigo	14,39 e	2,50 b	7,31 b	0,64 c	3,61 b

Letras iguales no difieren estadísticamente (P - valor \leq 0,05).

Fuente: autores.

En cuanto a AT, los tratamientos con mayor influencia fueron T2 (20,65 cm) y T7 (18 cm), mientras que el menos influyente fue T8 (14,39 cm), siendo los tres estadísticamente diferentes (Tabla 3). Esto coincide con Domínguez et al. (2000), quienes reportaron que la altura, peso seco aéreo y peso radical de *Pinus pinea* respondieron de forma creciente al aporte de fósforo, y contrasta con Andrade et al. (2010), quienes en presencia de fósforo sin micorrizas obtuvieron bajos valores en el crecimiento de café. Así mismo, Arizaleta et

al. (2002), manifestaron que el potencial que ofrece la aplicación de estos microorganismos simbióticos y el fraccionamiento de la dosis de las fuentes fosfatadas, mejora la asimilación nutricional de la planta. Esto último se evidenció en el presente ensayo.

Adicionalmente, la AT se pudo explicar bajo los modelos lineal y cuadrático, como se presenta en la Tabla 4, en cada caso con valores significativos. Sin embargo, se presentó un mayor ajuste para las variables

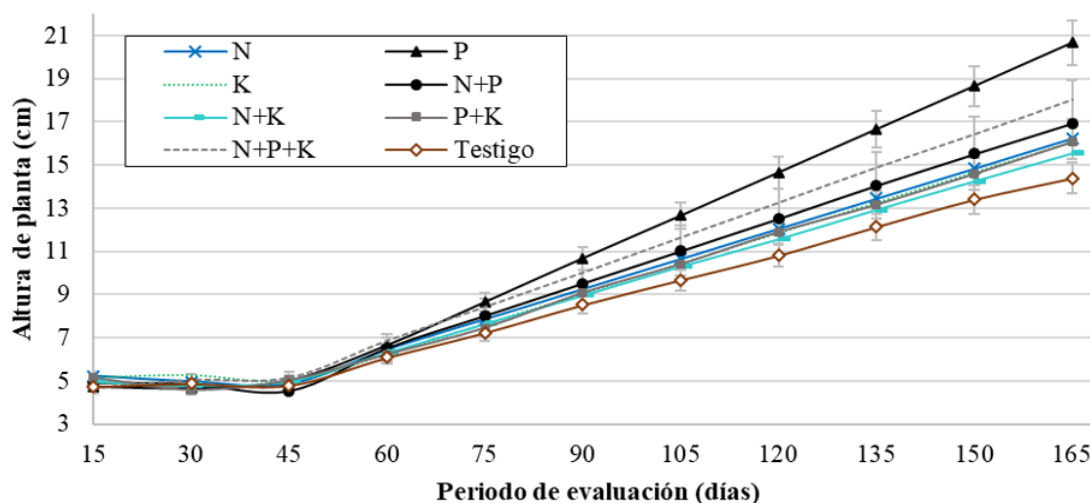


Figura 1: Altura de Planta en función del período de evaluación (días). T1 (N: Urea), T2(P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl), T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7(N+ P₂O₅ + K₂O: Urea+ DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). Fuente: Autores.



estudiadas en el modelo no lineal, con un valor de R² superior a 0,98. Además, como se observa en la Figura 1, se pudo evidenciar un crecimiento lento durante los primeros 45 días, explicado por Arcila et al. (2007) por el hecho de que, durante este periodo, las plántulas dependen principalmente de sus hojas cotiledonales. Después de esto, a partir de los 60ddt, se observó una respuesta diferencial al DAP, con respecto a los demás tratamientos (Tabla 3).

La inclusión de KCl en mezclas con N o P (T3, T6 y T5) no mostró diferencias estadísticas (Tabla 3). Posiblemente, porque es un elemento que cumple funciones de regulación osmótica y transporte de agua a través de la planta. Estas funciones no influyeron directamente en el crecimiento durante el periodo de tiempo estudiado (Pyo et al., 2010).

La Tabla 3 también mostró que, para la variable PFT, T1 (3,05g), T6 (3,03g) y T7 (3,18g) no difirieron estadísticamente, al

igual que T3, T4, T5 y T8 no presentaron diferencias entre ellos, pero sí con los demás tratamientos. Esto se podría relacionar con los bajos niveles de fósforo en la unidad experimental, lo que disminuye el crecimiento por su intervención en la división celular, respiración y fotosíntesis de la plántula de café en esta etapa fisiológica de almacigo (De Bauw et al., 2016; Rop et al., 2018).

Asociado al comportamiento de PFT durante los 165 días, se pudo establecer un ajuste estadísticamente significativo de esta variable a los dos modelos evaluados (Tabla 4 y Figura 2). Sin embargo, se presentó un valor superior en R² cuando se utilizó la función cuadrática con una relación entre 0,95 y 0,97, a diferencia del modelo lineal con el cual se obtuvo un coeficiente entre 0,79 a 0,83 dependiendo del tratamiento, lo que muestra una disminución considerable del porcentaje, explicado por la varianza de la regresión en relación con la varianza de las variables, como lo explican Di Benedetto y Tognetti (2016).

Tabla 4. Modelos de Regresión lineal, cuadrático y su coeficiente de determinación para el crecimiento de plántulas de café en almacigo.

Variables	Tratamiento	Función Lineal	P-valor	R ²	Función Cuadrática	P-valor	R ²
Altura de planta (AT)	N	y=0,081x+2,286	**	0,96	y=0,0003x ² +0,032x+3,8836	**	0,98
	P+N	y=0,115x+0,847	**	0,97	y=0,0004x ² +0,047x+3,0497	**	0,99
	K	y=0,079x+2,395	*	0,96	y=0,0003x ² +0,025x+4,1453	**	0,98
	N+P	y=0,088x+1,867	**	0,97	y=0,0003x ² +0,041x+3,4082	**	0,98
	N+K	y=0,077x+2,342	**	0,97	y=0,0002x ² +0,034x+3,7208	**	0,98
	P+K	y=0,080x+2,152	*	0,96	y=0,0003x ² +0,029x+3,8081	**	0,98
	N+P+K	y=0,095x+1,804	**	0,98	y=0,0002x ² +0,050x+3,2495	**	0,99
	T	y=0,070x+2,447	**	0,97	y=0,0002x ² +0,032x+3,6818	**	0,98
Peso fresco del tallo (PFT)	N	y=0,016x-0,576	*	0,80	y=0,0002x ² -0,015x+0,4639	*	0,97
	P+N	y=0,022x-0,834	*	0,79	y=0,0003x ² -0,023x+0,6398	**	0,97
	K	y=0,015x-0,506	*	0,81	y=0,0002x ² -0,015x+0,4912	**	0,97
	N+P	y=0,016x-0,545	*	0,81	y=0,0002x ² -0,014x+0,4568	**	0,97
	N+K	y=0,013x-0,377	*	0,82	y=0,0001x ² -0,009x+0,3732	*	0,96
	P+K	y=0,016x-0,514	*	0,80	y=0,0002x ² -0,013x+0,4568	*	0,96
	N+P+K	y=0,017x-0,567	*	0,83	y=0,0002x ² -0,011x+0,3792	**	0,95
	T	y=0,013x-0,410	*	0,81	y=0,0001x ² -0,012x+0,4263	*	0,97
Peso fresco de las hojas (PFH)	N	y=0,053x-1,833	*	0,79	y=0,0006x ² -0,051x+1,5669	*	0,96
	P+N	y=0,052x-1,400	**	0,88	y=0,0004x ² -0,016x+0,8596	**	0,97
	K	y=0,041x-1,131	*	0,84	y=0,0004x ² -0,025x+1,0361	**	0,96
	N+P	y=0,049x-1,347	**	0,86	y=0,0004x ² -0,023x+1,0138	**	0,96
	N+K	y=0,043x-1,081	*	0,81	y=0,0004x ² -0,023x+0,9728	**	0,97
	P+K	y=0,048x-1,211	*	0,79	y=0,0005x ² -0,034x+1,3911	**	0,96
	N+P+K	y=0,051x-1,593	*	0,71	y=0,0006x ² -0,048x+1,6135	*	0,95
	T	y=0,037x-0,980	*	0,81	y=0,0004x ² -0,028x+1,1591	*	0,95

* = P - valor modelo ≤ 0,05; **= P - valor modelo ≤ 0,01. T1 (N: Urea), T2 (P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl), T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7 (N+ P₂O₅ + K₂O: Urea+ DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.

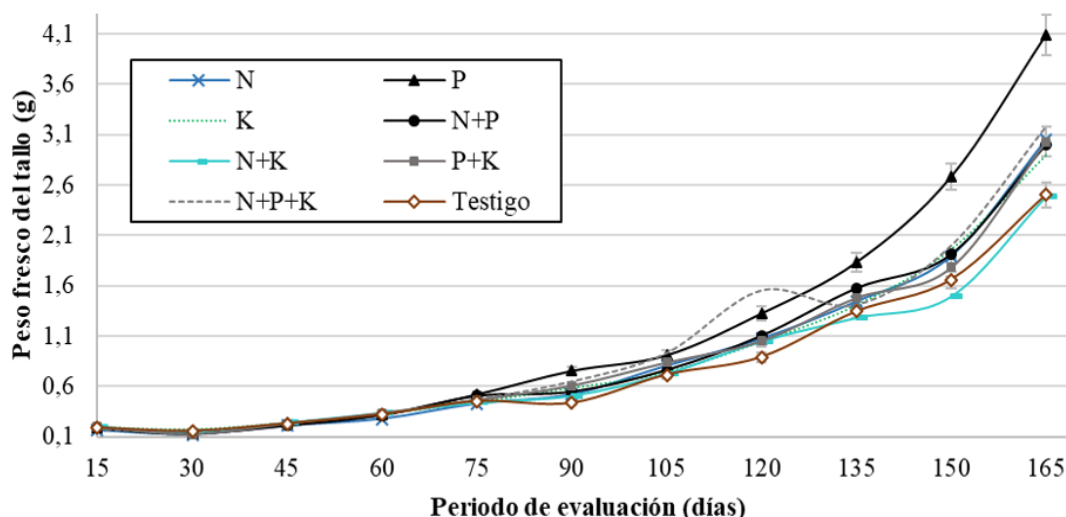


Figura 2. Peso Fresco del Tallo en función del período de evaluación (días). T1 (N: Urea), T2(P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl, T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7(N + P₂O₅ + K₂O: Urea+ DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.

Por otro lado, para la variable PFH, la Tabla 3 evidenció que T7 (11,0g) difirió estadísticamente con T3 (7,56) y T8 (7,31g) y a su vez T7 no difirió con los demás tratamientos, que fueron estadísticamente iguales con T3 y T8. Ante este comportamiento, se ha indicado que los nutrientes NPK están implicados en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos en diferentes grados, según su fenología y los efectos externos, lo que estableció una explicación al valor superior de T7, en el que se presentó una nutrición completa aplicada al almácigo (Hossain et ál., 2010; Parry et al., 2008).

Para analizar el comportamiento de la variable peso fresco de las hojas (PFH), representada en la Figura 3, se determinó que existe un mayor ajuste con el modelo cuadrático frente al modelo lineal (como se indica en la Tabla 4), lo cual explica que los datos observados se distribuyan alrededor de una curva. Por tal motivo, esta expresión podría usarse para hacer estimaciones y predicciones de los valores de PFH, a partir del trasplante, cuando se presenten condiciones parcialmente similares a las reportadas en este estudio.

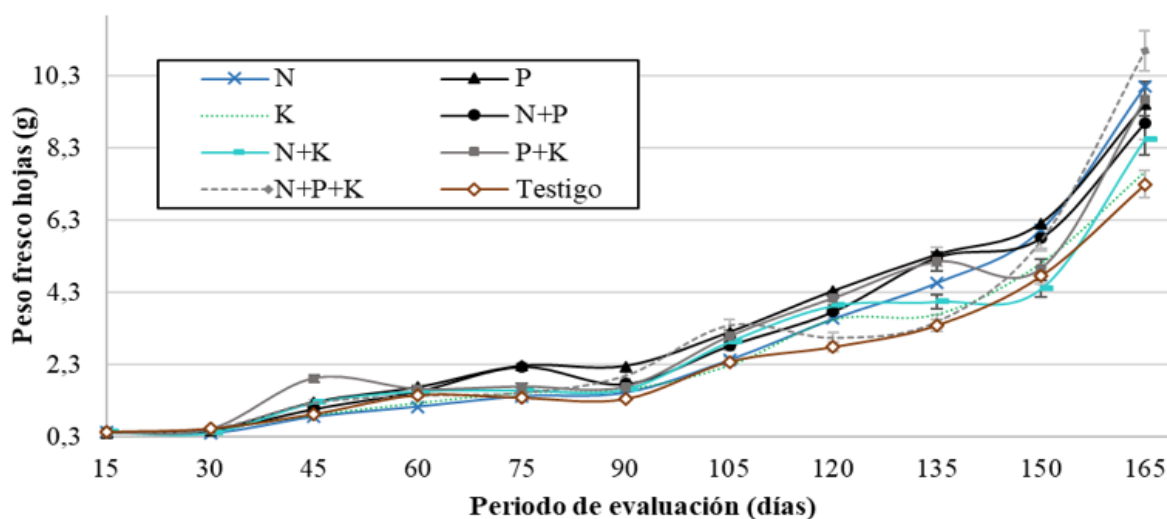


Figura 3. Peso Fresco de las Hojas en función del período de evaluación (días). T1 (N: Urea), T2(P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl, T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7(N + P₂O₅ + K₂O: Urea + DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.



En relación con PST, el T2 evidenció el mayor efecto (1,43g), diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos (Tabla 3). Sin embargo, en la medida que se supere los 165 ddt, la baja disponibilidad de nitrógeno podría reducir la concentración de clorofila, disminuyendo la fotosíntesis y, por ende, el crecimiento, como lo evidenció Cruz et al. (2007). Los tratamientos T5 y T8, por su parte, obtuvieron los PST más bajos

sin diferenciarse con T7 y T6, en los que, de forma general, se identifica un aumento con comportamiento progresivo para esta variable, a medida que transcurre el tiempo. Sadeghian y González (2014) encontraron respuesta a este incremento de materia seca del café en la etapa de almácigo con la aplicación de fuentes de N y P, respaldando el comportamiento observado en la Figura 4.

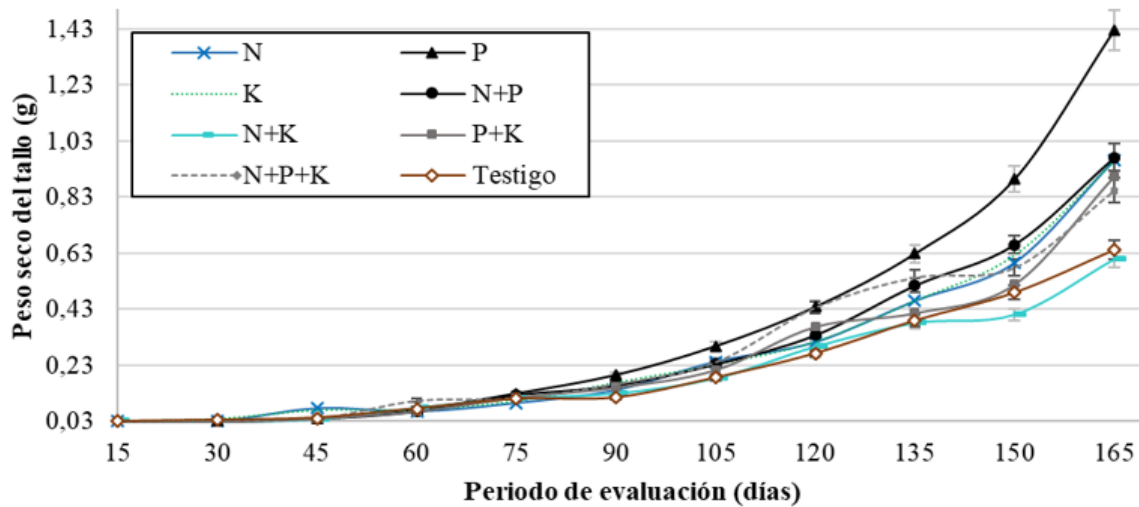


Figura 4. Peso Seco del Tallo (PST) en función del período de evaluación (días). T1 (N: Urea), T2(P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl), T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7(N+ P₂O₅ + K₂O: Urea+ DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.

La capacidad de producción de fotoasimilados, a través del mecanismo fotosintético y su distribución dentro de la planta, se representó en PST a partir de los modelos lineal y cuadrático con significancia estadística para esta variable (Tabla 5). Sin embargo, sigue siendo el modelo cuadrático el que mejor se ajusta al comportamiento del almácigo, particularmente en T1, T7, T4 y T5, en comparación a la regresión lineal. Esto posiblemente se deba a la tendencia que tiene esta especie de presentar una curva de acumulación de biomasa al inicio del desarrollo de la plántula, por la proporción de tejidos meristemáticos presentes, pero que disminuirá conforme avance el tiempo y se ajustará a una función sigmoidea como se

ha reportado en otros estudios (Alvarado y Ochoa, 2006; Andrade et al., 2010; Arcila et al., 2007).

Finalmente, en la variable PST se evidenció que T2 (5,33g) difirió con T8 (3,61g) y a su vez estos, en forma independiente, no mostraron diferencias con los demás tratamientos que oscilaron entre 3,75g y 5,06g (Tabla 3). El comportamiento, al igual que en las demás variables, presenta significancia estadística en los parámetros de la regresión, pero el modelo cuadrático se ajusta con mayor precisión al comportamiento general registrado cuando se analiza el coeficiente de determinación (Figura 5 y Tabla 5).

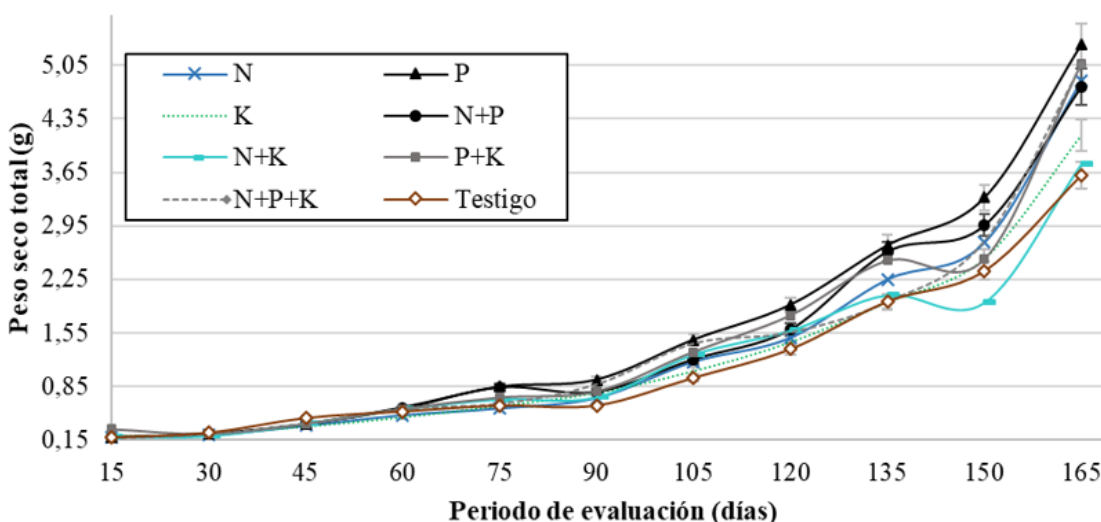


Figura 5. Peso Seco Total (PSTT) en función del período de evaluación (días). T1 (N: Urea), T2(P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl, T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7(N+ P₂O₅ + K₂O: Urea+ DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.

Este tipo de análisis es particularmente apropiado para plantas que se encuentran en una fase exponencial de desarrollo, como lo sugieren Di Benedetto y Tognetti (2016), lo cual muestra, en todas las variables, que el crecimiento evidenció una respuesta que podría explicarse bajo un modelo lineal o

cuadrático en función del tiempo (Tabla 4 y 5). En este caso, el factor independiente siempre positivo indica aumento progresivo (Sakai et al., 2015). Lo que explica, en la mayoría de los crecimientos naturales, los parámetros que se describen con ecuaciones polinomiales (Campos-Meza et al., 2016).

Tabla 5. Modelos de Regresión lineal, cuadrático y su coeficiente de determinación para el crecimiento de plántulas de café en almacigo.

Variables	Tratamientos	Función Lineal	R ²	Función Cuadrática	R ²
Peso seco del tallo	N	$y=0,0053x-0,2004$	0,79	$y= 6E-05x^2-0,0054x+0,1452$	0,97
	P+N	$y=0,008x-0,3354$	0,78	$y= 9E-05x^2 - 0,0086x + 0,204$	0,97
	K	$y=0,0053x-0,2007$	0,80	$y=6E-05x^2-0,0052x+0,142$	0,97
	N+P	$y=0,0057x-0,2212$	0,82	$y=6E-05x^2-0,005x+0,124$	0,98
	N+K	$y=0,0036x-0,1157$	0,88	$y=3E-05x^2-0,0016x+0,0541$	0,98
	P+K	$y=0,005x-0,1855$	0,81	$y=5E-05x^2-0,0041x+0,1093$	0,96
	N+P+K	$y=0,0052x-0,1855$	0,88	$y=4E-05x^2-0,0024x+0,0626$	0,98
	T	$y=0,0039x-0,1315$	0,86	$y=4E-05x^2-0,0026x+0,0775$	0,99
Peso seco total	N	$y=0,0253x-0,922$	0,77	$y=0,0003x^2-0,0271x+0,7822$	0,95
	P+N	$y=0,0294x-1,0235$	0,83	$y=0,0003x^2-0,0226x+0,6663$	0,97
	K	$y=0,0219x-0,7271$	0,80	$y=0,0002x^2-0,0206x+0,6521$	0,96
	N+P	$y=0,0262x-0,8934$	0,81	$y=0,0003x^2-0,0218x+0,6651$	0,96
	N+K	$y=0,0197x-0,5655$	0,82	$y=0,0002x^2-0,0121x+0,4397$	0,97
	P+K	$y=0,0257x-0,8565$	0,77	$y=0,0003x^2-0,0264x+0,8114$	0,96
	N+P+K	$y=0,0255x-0,8848$	0,76	$y=0,0003x^2-0,025x+0,7575$	0,92
	T	$y=0,0195x-0,5943$	0,81	$y=0,0002x^2-0,0168x+0,5857$	0,97

T1 (N: Urea), T2(P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl, T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7(N+ P₂O₅ + K₂O: Urea+ DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.



Análisis de crecimiento

En la figura 6 se observa como AF se incrementó hasta los 150 días en todos los tratamientos. Esto coincidió con la máxima

formación de hojas que, como se mencionó, no presentó diferencias por ser características dependientes del genotipo (Alvarado & Ochoa, 2006).

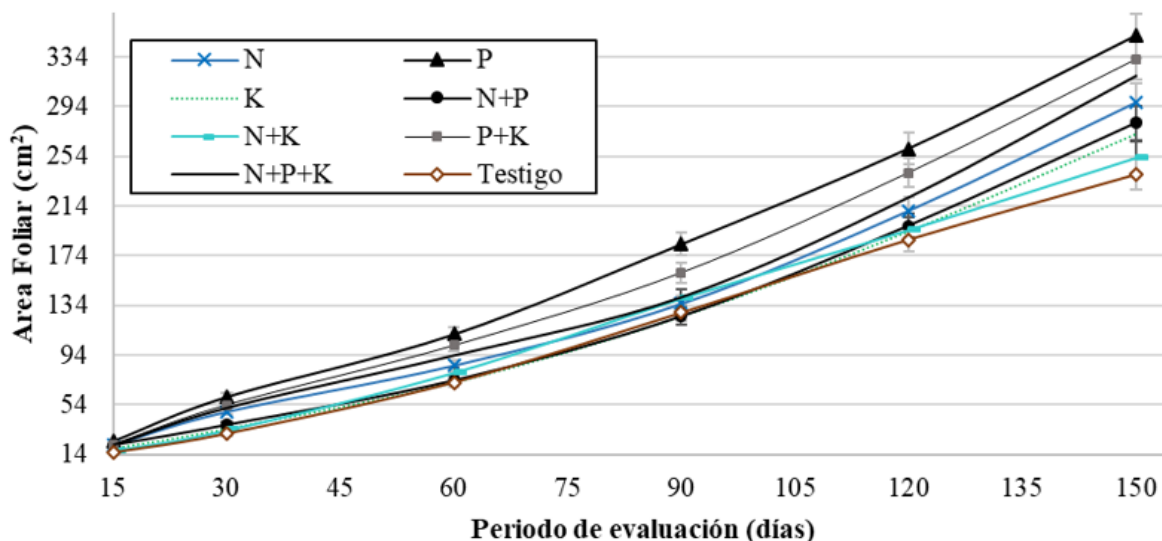


Figura 6. Área foliar en función del período de evaluación (días). T1 (N: Urea), T2 (P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl), T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7 (N + P₂O₅ + K₂O: Urea + DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.

El AF se relaciona con la producción de materia seca, ya que cuando es alto, se espera mayor acumulación (Jarman et al., 1999). Lo anterior ocurrió en el presente estudio. En 150 días, el T2 con 350,8 cm² superó en AF a los demás tratamientos y alcanzó el mayor PST, mientras que el testigo presentó el menor valor en AF (239,1 cm²) y PST.

Los resultados del IAF mostraron un comportamiento lineal ascendente y homogéneo en todos los tratamientos sin diferencias estadísticas. El mayor valor fue para T2 (0,09 cm²), mientras que T3 (KCl), tuvo el menor valor (0,08 cm²) al final del periodo de evaluación. La diferencia entre los dos fue baja, lo que podría explicarse porque la producción de biomasa y distribución de

asimilados en vivero es equilibrada, de acuerdo con lo encontrado por Hirose et al. (1997).

La tasa relativa de crecimiento (TRC) está determinada por procesos fisiológicos, morfológicos, genéticos y ambientales (Pommerening y Muszta, 2016). Esta tasa evidenció mayores valores en 30, 90, 120 y 150 ddt en todos los tratamientos, a excepción del T7, en el cual, después de 30 ddt, tuvo un comportamiento que varió muy poco (figuras 7a y 7b). En la variación de la TRC, estuvieron involucrados factores internos y externos que hicieron irregular la velocidad de crecimiento de la plántula de café. Este comportamiento se evidenció bajo las condiciones particulares de la genética del material vegetal y de la localidad en donde se instaló este ensayo.

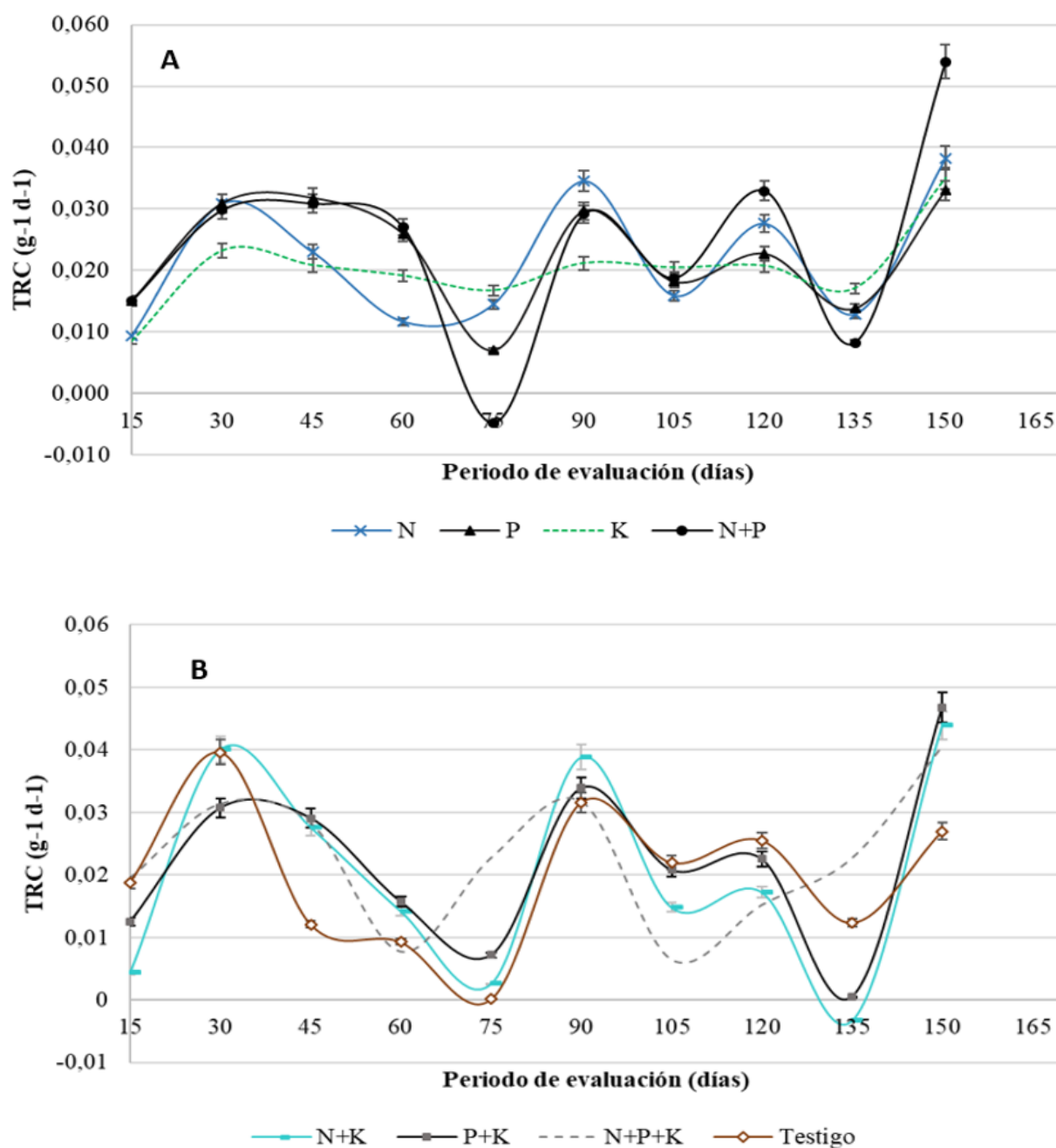


Figura 7. Tasa Relativa de Crecimiento en función del período de evaluación (días) (A = T1 al T4 y B = T5 al T8). T1 (N: Urea), T2 (P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl), T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7 (N + P₂O₅ + K₂O: Urea + DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

En la figura 8 se puede observar que la máxima ganancia de biomasa en área de superficie ocupada fue para el T4 (2,8g cm^{1,2}

d^{1%}), mientras que el T3 tuvo el menor valor (1,25 g cm^{1,2} d^{1%}) a los 120 días después del trasplante.

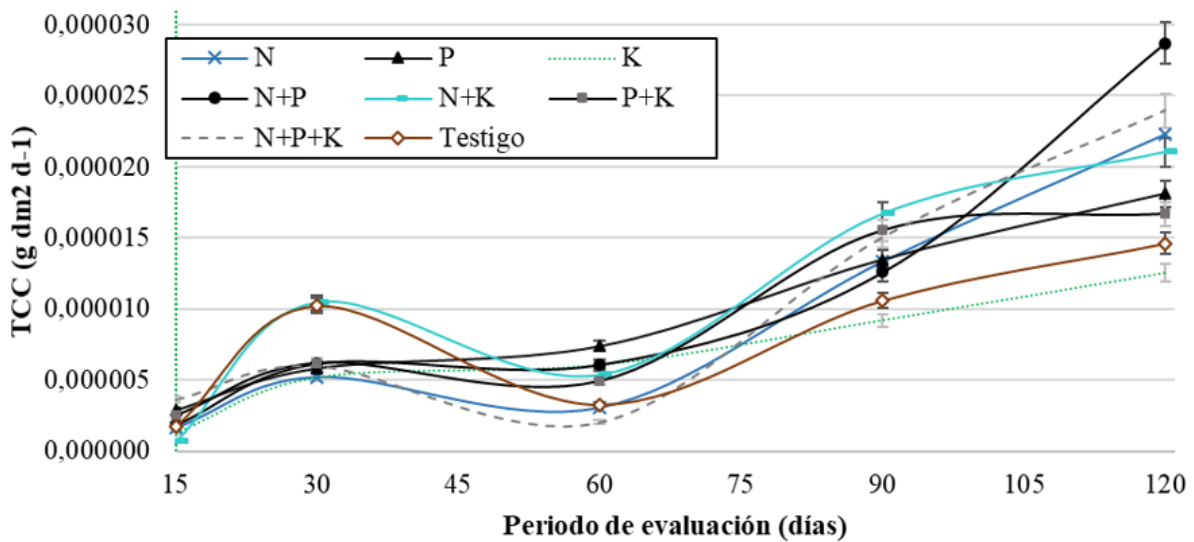


Figura 8. Tasa de Crecimiento del cultivo en función del período de evaluación (días). T1 (N: Urea), T2(P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl), T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7(N+ P₂O₅ + K₂O: Urea+ DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.

Los valores en TCC se consideran bajos debido al periodo temprano del cultivo. En ambientes favorables, la máxima TCC ocurre cuando la cobertura de las hojas es completa (máximo potencial de masa seca). Por el contrario, la TCC es baja en estadios tempranos de desarrollo debido a la baja cobertura (Baracaldo y Flórez, 2010).

Tasa de asimilación neta (TAN)

En la figura 9 el comportamiento de la TAN evidencia una disminución desde los 30 hasta

los 60ddt. Posiblemente, cuando la planta crece, existe ocultamiento por las hojas nuevas en sobreposición y esto influye en la interceptación de la radiación fotosintética y disminuye la TAN (Carranza et al., 2009). A partir de los 60 días, se registró incremento en la TAN hasta su nivelación a 120ddt aproximadamente, lo que podría atribuirse al fraccionamiento de los tratamientos. Según Lopes et al. (2011), esta práctica se involucra con un mayor desarrollo del tejido foliar e incremento de materia seca.

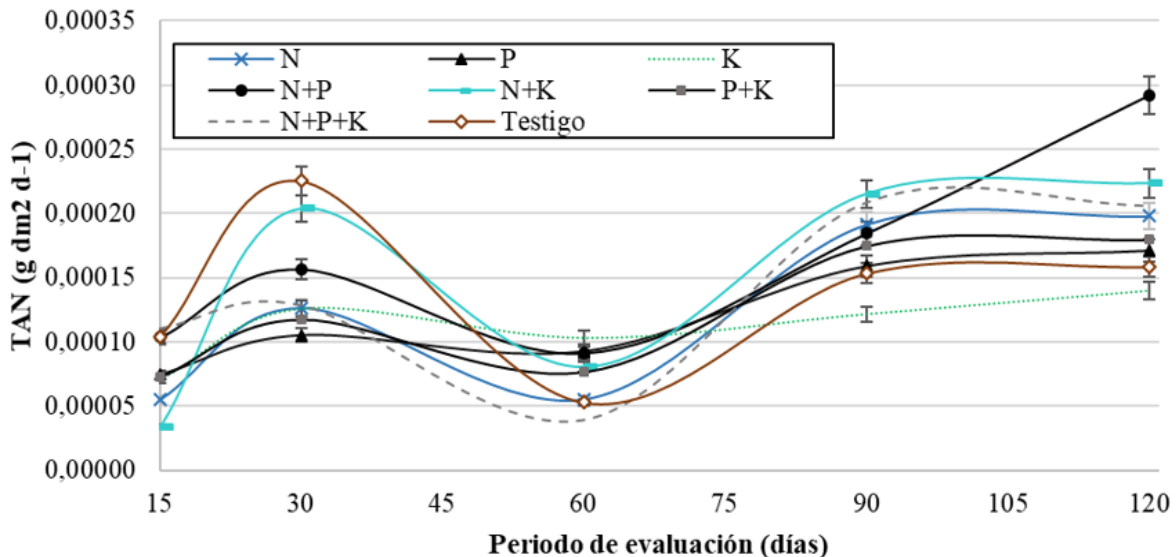



Figura 9. Tasa Asimilación Neta en función del período de evaluación (días). T1 (N: Urea), T2(P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl), T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7(N+ P₂O₅ + K₂O: Urea+ DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.

CONCLUSIONES

El comportamiento de las variables evaluadas, en forma directa, obedeció en todos los casos a un modelo lineal y cuadrático. Sin embargo, se observaron respuestas diferenciales en los tratamientos en los que se aplicó DAP (T2, T4 y T7). Las respuestas fueron superiores con respecto al testigo y a la aplicación individual de las dos fuentes restantes, lo que indica que, para el almácigo, el P es un elemento importante y por ende debe suministrarse.

El potasio, aplicado en forma de KCl, presentó un comportamiento (en la mayoría de las variables) estadísticamente similar al

testigo. Se estableció que el comportamiento del almácigo de café, relacionado con las funciones de este elemento en la presente investigación, pudiese estar determinado por el contenido de potasio en el sustrato.

En el análisis de crecimiento, la TCC y la TAN resultaron ser similares, pues se observaron dos picos de valores altos asociados al fraccionamiento de la fertilización evaluada. En lo referente a la acumulación de materia seca, este comportamiento es importante debido a que, al final del periodo de evaluación, esta refleja eficiencia en la nutrición. 

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Javier García Alzáte: coordinación del proyecto, investigación, análisis, escritura, revisión y edición. **Carlos Andrés Benavides Cardona:** investigación, análisis de datos, escritura, revisión y edición. **David Eduardo Álvares Sánchez:** investigación, análisis de datos, escritura, revisión y edición.

Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A., Salazar, L. F. y Hincapié, E. (2007). *Sistemas de producción de café en Colombia*. Chinchiná, Cenicafé, 309p.

Arizaleta, P. M., Pire, R. y Pares, J. (2002). Efecto de la fertilización con N-P-K sobre el contenido foliar y el crecimiento del cafeto *Coffea arabica* L. en la etapa de vivero, en la población de Villanueva, Estado Lara, Venezuela. *Revista Café Cacao*, 3(2),57-61.

Ávila, W., Sadeghian, S., Sánchez, P. y Castro, H. (2010). Respuesta del café al fósforo y abonos orgánicos en la etapa de almácigo. *Revista Cenicafé*, 61(4),358-369.

Baracaldo, A., Ibagué, A., y Flórez, V. (2010). Tasas e índices de crecimiento a segundo pico de cosecha en clavel estándar cv. Nelson cultivado en suelo y en sustratos. *Agronomía Colombiana*, 28(2), 209-217.

Bojórquez-Quintal, J., Sánchez-Cach, L., Ku-González, Á., De los Santos-Briones, C., Medina-Lara, M., Echevarría-Machado, I., Muñoz-Sánchez, J., Hernández, T. & Estévez, M. (2014). Differential effects of aluminum on in vitro primary root growth, nutrient content and phospholipase C activity in coffee seedlings (*Coffea arabica*). *Journal of Inorganic Biochemistry*, 134, 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2014.01.018>

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos de la Universidad de Nariño y al proyecto "Investigación evaluación del efecto de sombra de diferentes especies arbóreas en el comportamiento agronómico y calidad de Café, Consacá, Nariño, Occidente", financiado por el Sistema General de regalías [SGR].

LITERATURA CITADA

Alvarado, A. y Ochoa, F. (2006). Características fenotípicas de componentes en variedad Castillo en dos ambientes. *Revista Cenicafé*, 57(2), 100-121.

Andrade, S. A. L., Silveira, A. P. D. & Mazzafera, P. (2010). Arbuscular mycorrhiza alters metal uptake and the physiological response of *Coffea arabica* seedlings to increasing Zn and Cu concentrations in soil. *Science of the Total Environment*, 408(22), 5381-5391.



- Campos-Meza, P., Atondo-Rubio, G. y Yee-Rendón, C. (2016). Dinámica lineal para el crecimiento de plantas y frutos con simetría definida. *Latin-American Journal of Physics Education*, 10(3), 3304-1-3304-6.
- Campostrini, E. & Yamanishi, O. (2001). Estimativa da área foliar do mamoeiro utilizando o comprimento da nervadura central. *Scientia Agrícola*, 58(1), 39-42.
- Carranza, C., Lancho, O., Miranda, D., y Chaves, B. (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) "Batavita" cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*, 27(1), 41-48.
- Cruz, J., Pelacani, C., Carvalho, J., Souza-Filho, L. & Queiroz, D. (2007). Nitrogen levels and photosynthetic rate of papaya golden. *Ciência Rural*, 37(1), 64-71.
- De Bauw, P., Van Asten, P., Jassogne, L. & Merckx, R. (2016). Soil fertility gradients and production constraints for coffee and banana on volcanic mountain slopes in the East African Rift: A case study of Mt. Elgon. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 231, 166-175. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.036>
- Debela, A., Zana, Z., Ocho, F. & Vos, J. (2018). 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*, 92, 107-114. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.10.006>
- Di Benedetto, A. y Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 42(3), 258-282.
- Domínguez, S., Oliet, J., Ruiz, P., Carrasco, I., Peñuelas, J. L. y Serrada, R. (2000). Influencia de la relación N-P-K en el desarrollo en vivero y en campo de planta de *Pinus pinea*. Actas del Congreso. Simposio del pino piñonero. Valladolid. P195-202.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2015). *Comportamiento de la industria cafetera colombiana-2014*. https://federaciondefcafeteros.org/static/files/Informe_Industrial_2014_Web.pdf
- Flórez, C., Maldonado, C., Cortina, H., Moncada, M., Montoya, E., Ibarra, L., Unigarro, C., Rendón, J. y Duque, H. (2016). Cenicafé 1: Nueva variedad de porte bajo, altamente productiva, resistente a la roya y al CBD, con mayor calidad física del grano. *Avances técnicos Cenicafé*, 469, 1-8.
- Gardner, F. P., Pearce, R. B., y Mitchell, R. L. (2003). *Physiology of crops plants*. Scientific Publishers, 327 p.
- Herrera, J., Combes, M., Anthony, F., Charrier, A. y Lashermes, P. (2002). Introgression into the allotetraploid coffee (*Coffea arabica* L.): segregation and recombination of the *C. canephora* genome in the tetraploid interspecific hybrid (*C. arabica* x *C. canephora*). *Theoretical and Applied Genetics*, 104, 661-668. <https://doi.org/10.1007/s001220100747>
- Hirose, T., Ackerly, D., Traw, M., Ramseier, D. y Bazzaz, F. (1997). CO2 elevation, canopy photosynthesis, and optimal leaf area index. *Ecology*, 78(8), 2339-2350p. <https://doi.org/10.2307/2265896>
- Hossain, D., Hanafi, M., Talib, J. & Jol, H. (2010). Effects of nitrogen, phosphorus and potassium levels on kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) Growth and photosynthesis under nutrient solution. *Journal of Agricultural Science*, 2(2). 49-56. <https://doi.org/10.5539/jas.v2n2p49>
- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia - IDEAM. (2017). *Departamento Administrativo de Estadística*. www.ideam.gov.co
- Jarma, A., Buitrago, C. y Gutiérrez, S. (1999). Respuesta del crecimiento de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var Blue Lake) a tres niveles de radiación incidente. *Revista Comafi*, 26 (1-3), 62-73.

Lopes, M., Pompeu, R., Cândido, M., Lacerda, C., da Silva, R. & Fernandes, F. (2011). Growth index in massai grass under different levels of nitrogen fertilization. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(12), 2666-2672. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011001200008>

Moisés, L., Tamayo, Y., Barraza, F. (2015). Alternativa ecológica y económica para la obtención de postura de *Coffea arabica* L. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(1), 65 - 74. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.153201.25>

Ocampo, O., y Álvarez, L. (2017). Tendencia de la producción y el consumo del café en Colombia. *Apuntes del CENES*, 36(64), 139-165. <https://doi.org/10.19053/01203053.v36.n64.2017.5419>

Organización Internacional del Café - OIC (2016). *Informe del mercado de café- febrero 2016. Aumenta el consumo mundial de café, pero los precios siguen bajos*. <http://www.ico.org/documents/cy2015-16/cmr-0216-c.pdf>

Parry, M., Flexas, J. & Medrano, H. (2008). Prospects for crop production under drought: research priorities and future directions. *Annals of Applied Biology*, 147, 211-226. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2005.00032.x>

Pino, M., Cruz, S., Espinoza, S., Silva, R., Torres, O., Gurbillón, M., & Quintana, J. (2019). Características morfológicas de variedades de café cultivadas en condiciones de sombra. *Acta Agronómica*, 68(4), 271-277. <https://doi.org/10.15446/acag.v68n4.70496>

Pommerening, A. & Muszta, A. (2016). Relative plant growth revisited: Towards a mathematical standardisation of separate approaches. *Ecological Modelling*, 320, 383-392. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.10.015>

Puerta, G., González, F., Correa, A., Álvarez, I., Ardila, J., Girón, O., Ramírez, C., Baute, J., Sánchez, P., Santamaría, M. y Montoya, D. (2016). Diagnóstico de la calidad de café según altitud, suelos y beneficio en varias regiones de Colombia. *Cenicafé*, 67(2), 15-51.

Pyo, Y., Gierth, M., Schroeder, J., Cho, M. (2010). High-affinity K (+) transport in Arabidopsis: AtHAK5 and AKT1 are vital for seedling establishment and postgermination growth under low-potassium conditions. *Plant Physiology*, 153(2), 76-105. <https://doi.org/10.1104/pp.110.154369>

Rop, K., Karuku, G., Mbui, D., Michira, I. & Njagi, N. (2018). Formulation of slow release NPK fertilizer (cellulose-graft-poly (acrylamide)/nano-hydroxyapatite/soluble fertilizer) composite and evaluating its N mineralization potential. *Annals of Agricultural Sciences*, 63(2), 163-172. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2018.11.001>

Ramírez, V. (2014). La fenología del café, una herramienta para apoyar la toma de decisiones. *Avances Técnicos Cenicafé*, 441, 1-8.

Sadeghian, S. (2013). Nutrición del café en la etapa de almácigo. En S. Marín. (Ed.), *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura, Chinchiná. FNC: CENICAFE. 3 vols.*

Sadeghian, S. (2016). La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 466, 1-12.

Sadeghian, S. y González, O. (2014). Respuesta del café (*Coffea arabica* L.) a fuentes y dosis de nitrógeno en la etapa de almácigo. *Revista Cenicafé*, 65(1), 34-43.

Sadeghian, S. y Zapata, R. D. (2014). Crecimiento de café (*Coffea arabica* L.) durante la etapa de almácigo en respuesta a la salinidad generada por fertilizantes. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 31(2), 40-50. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.143102.30>

Sadeghian, S. y Duque, H. (2003). Análisis de suelos: Importancia e implicaciones económicas en el cultivo del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 308, 1-8.

Sakai, E., Barbosa, E., Silveira, J. & Pires, R. (2015). Coffee productivity and root systems in cultivation schemes with different population arrangements and with



and without drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 148(31), 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.08.020>

Salazar, K., Arroyave, A., Ovalle, A., Ocampo, O., Ramírez, C. y Oliveros, C. (2016). Tiempos en la recolección manual tradicional de café. *Ingeniería Industrial*, 37(2), 114–126.

Soto, F. (1980). Estimación del área foliar en *Coffea arabica* L. a partir de las medidas lineales de las hojas. Instituto de Ciencias Agrícolas. San José de las Lajas, La Habana. 119p.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



