

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE FUENTES DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO EN
EL CRECIMIENTO DE *Coffea arabica* L. VARIEDAD CASTILLO EN ALMÁCIGO

WILLIAM MAURICIO GUANCHA CHARFUELÁN
JINNA GABRIELA PORTILLA PANTOJA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
SAN JUAN DE PASTO

2019

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE FUENTES DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO EN
EL CRECIMIENTO DE *Coffea arabica* L. VARIEDAD CASTILLO EN ALMÁCIGO

WILLIAM MAURICIO GUANCHA CHARFUELÁN
JINNA GABRIELA PORTILLA PANTOJA

JAVIER GARCÍA ÁLZATE I.A. Ph.D.
Director de Trabajo de Grado

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Agrónomo

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
SAN JUAN DE PASTO

2019

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de los autores.

Artículo 1° del acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

“La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”.

Artículo 13, Acuerdo N. 005 de 2010 emanado del Honorable Consejo Académico.

Nota de Aceptación:

Los Directores y los Jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación del mismo por su autor y lo encuentran satisfactorio.

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, marzo de 2019

CONTENIDO

Pág

Introducción.....	7
Materiales y Métodos.....	8
Resultados y Discusión.....	11
Conclusiones.....	21
Referencias bibliográficas.....	22

Evaluación del efecto de fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio en el crecimiento de *Coffea arábica* L. variedad castillo en almácigo

Evaluation of the effect of nitrogen, phosphorus and potassium sources on the growth of *Coffea arábica* L. variety Castle in seedbed

Jinna Gabriela Portilla Pantoja¹; William Mauricio Guancha Charfuelán²

¹Estudiante Ingeniería Agronómica, Universidad de Nariño. gabriela06109@gmail.com

²Estudiante Ingeniería Agronómica, Universidad de Nariño. mourinho1502@gmail.com

RESUMEN

La fertilización en el cultivo de café es una actividad importante en todas las etapas fenológicas, del cultivo, por lo tanto, el presente trabajo, tuvo como objetivo evaluar el efecto de fuentes fertilizantes sobre el crecimiento de plántulas de café en la etapa de almácigo. El trabajo fue realizado en la granja “La quinta”, ubicada en el municipio de Consacá, para ello se empleó un Diseño Completamente al Azar, con ocho tratamientos y ocho repeticiones aplicados por planta. Consistió en la aplicación de diferentes dosis de Urea, DAP y KCL. Las variables evaluadas fueron: altura, número de hojas, peso seco y peso fresco de las plántulas, se realizó un análisis de crecimiento funcional. Los resultados mostraron que el tratamiento al cual se le aplicó DAP presentó mayor altura (20,65cm), mayor peso seco total (5,33g), mayor peso fresco y seco de tallo (3.86g), (1,43g) respectivamente, mayor área foliar (350,8cm²) e índice de área foliar (0,90), el tratamiento que llevo Urea y DAP fue el mejor para la tasa de asimilación neta (0,00029g cm⁻² d⁻¹) y tasa de crecimiento del cultivo (2,87e⁻⁰⁵g cm⁻² d⁻¹), el tratamiento con DAP y KCL fue el que alcanzó el mayor valor para la tasa relativa de crecimiento (0,047g g⁻¹d⁻¹).

Palabras clave: Nutrición, almácigo, crecimiento, área foliar, peso seco.

ABSTRACT

The fertilization in the coffee crop is an important activity in all the phenological stages of the crop, therefore, the present work, had as objective evaluated the effect of fertilizer sources on the growth of coffee seedlings in the nursery stage. The work was carried out in the "La Quinta" farm, located in the municipality of Consacá, for which a Completely Random Design was used, with eight treatments and eight repetitions applied per plant. It consisted in the application of different doses of Urea, DAP and KCL. The variables evaluated were height, number of leaves, dry weight and fresh weight of the seedlings, a functional growth analysis was carried out. The results showed that the treatment that brought DAP had the highest height (20.65 cm), greater total dry weight (5.33g), higher fresh weight and dry stem (3.86g), (1.43g) respectively, greater leaf area (350.8cm²) and leaf area index (0.99), the treatment that carried Urea and DAP was the best for the net assimilation rate (0.00029g cm⁻² d⁻¹) and growth rate of the crop (2.87e⁻⁰⁵g cm⁻² d⁻¹) and treatment with DAP and KCL was the one that reached the highest value for the relative growth rate (0.047 g g⁻¹ d⁻¹).

Key words: Nutrition, seedbed, growth, leaf area, dry weight.

INTRODUCCIÓN

El café es originario de las regiones tropicales y subtropicales de África, se produce en 80 países, pertenece al género *Coffea* dentro de la familia de las Rubiáceas (Pearl *et al.*, 2004). A pesar de la importancia que representa, de las 126 especies descritas hasta la fecha (Davis *et al.*, 2008), tan sólo dos, son las especies explotadas comercialmente y de gran impacto económico, *Coffea arabica* L (Arabica) y *Coffea canephora* Pierre (Robusta) (Berthaud y Charrier, 1988; Herrera *et al.*, 2002). En Colombia, existen diferentes zonas productoras, entre ellas el eje cafetero y departamentos como Huila y Nariño, que se destacan por su excelente producción (Silva y Trejas, 2016).

La producción nacional para el periodo comprendido entre diciembre 2017 a noviembre 2018 fue de 13.8 millones de sacos (Aparicio, 2018). Esta producción debe reunir características de calidad, que se inician con la escogencia de un buen material de siembra, que a futuro garanticen altos rendimientos y calidad en taza de la bebida (Urueña *et al.*, 2011).

La calidad del café debe estar en todas las etapas del cultivo, como lo son: almácigo, crecimiento vegetativo o levante y crecimiento reproductivo (producción) (Sadeghian y Gaona, 2005). En la etapa de almácigo, el objetivo básico es, obtener plántulas de calidad que implica, tratamientos fitosanitarios y por supuesto, una adecuada fertilización (Irigoyen y Cruz, 2005).

La etapa de crecimiento vegetativo ocurre en el almácigo; esta es importante en la medida que se inicia el desarrollo de los órganos vegetativos, que incluyen la raíz, el tallo y las hojas, que serán el soporte de los órganos reproductivos; (Rivillas *et al.*, 2013). La obtención de almácigos vigorosos, sin lugar a duda, tiene que ver con la correcta nutrición de las plantas, la cual depende entre otros aspectos, de la selección apropiada de la dosis y la fuente de cada elemento (Salamanca y Sadeghian, 2008; Ávila *et al.*, 2010). En almácigo se recomienda emplear una mezcla de suelo más materia orgánica, en proporción de 2:1 o de 3:1 de suelo y pulpa descompuesta Farfán (2015). La respuesta del café a fuentes y dosis de nitrógeno en la etapa de almácigo ocasionó un mayor incremento en la materia seca de las plantas (Sadeghian y González, 2014). En cuanto a los requerimientos del café en la etapa de almácigo, Sadeghian (2013) reporta que para el completo desarrollo y crecimiento de plántulas en esta etapa se necesita la aplicación de las siguientes dosis: 1g de N, 2g de P y 2g de K por bolsa.

Considerando lo anterior, se planteó la presente investigación, con el objetivo de evaluar el efecto de fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio en el crecimiento de plantas de café (*Coffea arabica* L.) variedad Castillo, como una estrategia que proporcione una adecuada nutrición vegetal en la etapa de almácigo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo, se llevó a cabo en la granja experimental “La quinta” de la Universidad de Nariño, ubicada en el corregimiento de Bombona, municipio de Consacá, a 60 km de la ciudad de Pasto, en las coordenadas 1° 12’ 15” de LN y a 3° 24’ 18” LO (Gobernación de Nariño, 2011), a una altura de 1650 msnm, con temperatura media de 20°C y 1600mm de precipitación anual (IDEAM, 2017).

La evaluación del material vegetal se realizó en el Laboratorio de Fisiología del Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos (GPFA) ubicado en la Universidad de Nariño a 2540 msnm, 01°12’13” LN y 77°15’23” LO.

Se utilizaron semillas de café (*Coffea arábica* L.) variedad Castillo certificada por CENICAFÉ, con una germinación del 95% y humedad del grano 11,5% (Cortina *et al.*, 2012); en una cantidad de (1) kilogramo por m², el germinador fue en guadua y como sustrato arena de río lavada; el semillero se desinfectó con Tiabendazol a dosis de cinco (5) cc l⁻¹ por metro cuadrado de germinador (Gaitán, 2003). Transcurridos 60 días después de la siembra (dds), se trasplantaron a bolsas de 2 Kg y se ubicaron en el almácigo cubierto con polisombra de 50%. Las bolsas se llenaron con un sustrato compuesto por suelo y pulpa de café descompuesta, en relación 3:1 (Armas *et al.*, 2008). Después del trasplante a almácigo y durante los siguientes seis meses, se hizo la evaluación de los tratamientos y aplicaciones de las dosis de Urea, DAP y KCL.

Caracterización física-química del sustrato utilizado en almácigo (Tabla 1); realizado en el laboratorio de Análisis de Suelos e Insumos Agrícolas, Universidad de Nariño.

Tabla 1. Caracterización físico-química del sustrato utilizado en almácigo.

Característica	Contenido
pH	6,10
Materia Orgánica%	3,81
Capacidad de intercambio catiónico 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
Grado textural	Arcilloso-arenoso
Densidad aparente g/cc	0,76
Profundidad	25 cm

Como fuente fertilizante se utilizaron Urea (46 % NH₄), Fosfato Diamónico (46% P₂O₅ y 18% NH₄) y Cloruro de Potasio (60% K₂O). La fertilización se realizó por planta en forma fraccionada; al momento del trasplante, se utilizó el 50% de la dosis (Tabla 2) y una vez transcurridos dos meses, se aplicó el 50% restante.

Se utilizó un diseño Completamente al Azar (DCA), empleando siete (7) tratamientos y un testigo, cada tratamiento con ocho (8) repeticiones (Tabla 2).

Tabla 2. Descripción de los tratamientos utilizados en café var. Castillo en etapa de almácigo.

Trat.	Elemento	Dosis a aplicar (g/planta)	Dosis comercial(g/planta)
1	N	1,0	2,1 g Urea
2	N+P ₂ O ₅	2,0	4,3 g DAP
3	K ₂ O	2,0	3,3 g KCL
4	N + P ₂ O ₅	1,0 + 2,0	0,6 g Urea + 4,3 g DAP
5	N + K ₂ O	1,0 + 2,0	2,1 g Urea + 3,3 g KCL
6	N+P ₂ O ₅ + K ₂ O	2,0 + 2,0	4,3 g DAP + 3,3 g KCL
7	N+ P ₂ O ₅ + K ₂ O	1,0 + 2,0 + 2,0	0,6 g Urea + 4,3 g DAP + 3,3 g KCL
8	TESTIGO		

Las variables evaluadas por planta fueron: altura (AT), número de hojas (NH), peso seco total (PSTT) peso seco de raíz (PSR), peso seco de tallo (PST), peso seco de hojas (PSH), peso fresco total (PFTT), peso fresco de raíz (PFR), peso fresco del tallo, (PFT), peso fresco de hojas (PFH) y área foliar (AF).

Las variables se midieron cada 15 días a partir del trasplante (ddt) y durante seis meses de almácigo.

La altura se tomó del cuello de la raíz al ápice de la hoja, el número de hojas se contó, y los pesos frescos y secos de cada una de las estructuras de la planta se hicieron con balanzas de precisión. Una vez se tomaron los datos del peso fresco de las plantas fraccionadas, se procedió a colocarlas en un horno, sometiéndolas a una temperatura de 70°C, durante 72 horas.

De la misma forma, se determinó el área foliar con el largo y el ancho de las hojas, para cada uno de los tratamientos en todas las evaluaciones y se aplicó la ecuación:

$$y = 0,64 * (L * A) + 0,49 \text{ (Soto, 1980).}$$

Los datos obtenidos de cada variable se sometieron al Análisis de Varianza (ANDEVA) bajo el modelo de Diseño Completo al Azar (DCA). Aquellas variables que mostraron diferencias significativas se sometieron a la Prueba de Tukey ($\alpha=0,05$).

También se calcularon:

Índice de área foliar (IAF). Corresponde al Área Foliar de la planta sobre el área del suelo que ocupa (Hunt, 1990).

$$AF = \frac{AF_{planta}}{A_{suelo}}$$

Tasa absoluta de crecimiento (TAC). Corresponde al incremento de peso seco de la planta o de cada uno de los órganos por unidad de tiempo (Hunt, 1990).

$$TAC = \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1}$$

Tasa relativa de crecimiento (TCR). Permite medir la eficiencia de la planta en el incremento de peso por unidad de tiempo (Hunt, 1990).

$$TCR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{T_2 - T_1}$$

Tasa de asimilación neta: (TAN). Mide la eficiencia fotosintética y determina el incremento de peso por unidad de área foliar en una unidad de tiempo y se calculó mediante la fórmula propuesta por Gómez *et al.* (1999).

$$TAN = \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1} \times \frac{\ln AF_2 - \ln AF_1}{AF_2 - AF_1}$$

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC). Mide los incrementos de biomasa seca por unidad de área de suelo en una unidad de tiempo (Radford, 1967).

$$TCC = IAF \times TAN$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (Tabla 3) mostró que las variables: altura (AT), peso fresco del tallo (PFT), peso seco del tallo (PST), peso seco total de las plantas (PSTT) y peso fresco de las hojas (PFH), presentaron diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$).

Tabla 3. Análisis de Varianza para las variables evaluadas en plantas de *Coffea arábica* L variedad Castillo.

VARIABLES	SC	GL	CM	F	Pr>F
AT	201,18	7	28,74	88,45	<.0001**
NH	5,94	7	0,85	1,02	0,4265
PFTT	316,79	7	45,26	2,26	0,0522
PFR	52,37	7	7,48	1,19	0,3222
PFH	84,55	7	12,08	2,72	0,0169*
PFT	10,36	7	1,48	5,15	<.0001**
PSTT	23,73	7	3,39	2,86	0,0126*
PSR	1,37	7	0,20	1,79	0,1077
PSH	7,08	7	1,01	2,10	0,0600
PST	3,53	7	0,50	12,99	<.0001**

Los valores representados con (**), muestran diferencias altamente significativas entre los tratamientos. Altura de Planta (AT), Numero de Hojas (NH), Peso Fresco Total (PFTT), Peso Fresco Raíz (PFR), Peso Fresco de las Hojas (PFH), Peso Fresco del Tallo (PFT), Peso Seco Total de las Plantas (PSTT), Peso Seco Raíz (PSR), Peso Seco Hojas (PSH), Peso Seco del Tallo (PST), Grados de Libertad (GL) y Suma de Cuadrados (SC).

La prueba de Comparación de Tukey (Tabla 4), muestra la formación de cinco grupos, donde se encontraron los mayores valores para el tratamiento T2 (DAP) en la variable AT (20,65cm) y el testigo con el menor valor (14,39cm). En cuanto al PFT se formaron dos grupos cuyos valores oscilaron entre T2 y T5 (3,86 y 2,48g) respectivamente, de la misma forma para el PFH los valores oscilaron entre T7 (11,0) y T8 (7,31g) y para el PSTT los valores se encontraron entre T2 (5,33g) y T8 (3,61g). En el PST se formaron tres grupos cuyos valores se encuentran en el intervalo del T2 (1,43g) y T5 (0,61g).

Tabla 4. Cuadro de Comparación de Medias de Tukey de las variables evaluadas.

TRAT	FUENTE	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

Medias con letra común en la columna, son significativamente iguales ($p \leq 0,05$).

Altura de la planta. La variable AT, mostró diferencias altamente significativas ($\alpha < 0,0001$) (Tabla 3). De acuerdo con los resultados la mayor influencia fue el tratamiento al cual se le aplicó DAP (20,65cm), como se ha encontrado en otras especies donde se ha aplicado DAP y la respuesta ha sido similar (López, 1990), de igual manera el tratamiento donde se aplicó Urea, DAP y KCL (18,0cm), los cuales fueron diferentes estadísticamente, el menor valor lo reportó el testigo (14,39cm) (Tabla 4), coincidiendo con Domínguez *et al.* (2000) al aplicar fuentes fosforadas en el desarrollo de otros cultivos.

Con respecto a los resultados obtenidos en el T7, (Urea, DAP y KCL), estos resultados coinciden con los obtenidos por Lanares (2007) quien reporta que existe efecto de la fertilización con aplicaciones de N, P₂O₅, y K₂O en la especie *Swietenia macrophylla* G, lo que posiblemente se debe a la acción conjunta de los tres elementos en la planta, ya que, el potasio incrementa el efecto del nitrógeno, acelera y mejora el flujo y traslocación de metabolitos, puesto que es un elemento relacionado con la apertura y cierre de estomas y con el transporte de agua a través de los haces conductores de la planta (Pyo *et al.*, 2010).

Un análisis más detenido de la respuesta específica de los diversos tratamientos estudiados con respecto a la variable altura, se evidencia en la figura 1, donde se observa, que todos los tratamientos se ajustaron a una ecuación de tipo lineal, presentado una etapa inicial de lento crecimiento, debido a que la plántula en los primeros estadios de vida no requiere mayor cantidad de nutrientes, ya que no tiene desarrollados completamente sus órganos. El fósforo al estar relacionado con la formación de raíces adquiere importancia en la etapa de almácigo, debido a que estas absorben los demás elementos como el nitrógeno, asegurando el buen desarrollo de tallos, hojas y el resto del sistema radicular (Castañeda, 2000).

A partir de los 60 ddt en adelante, ya se pudo observar el efecto de cada uno de los tratamientos en el crecimiento de las plántulas (Figura 1), presentando un efecto del DAP, con respecto a los demás tratamientos.

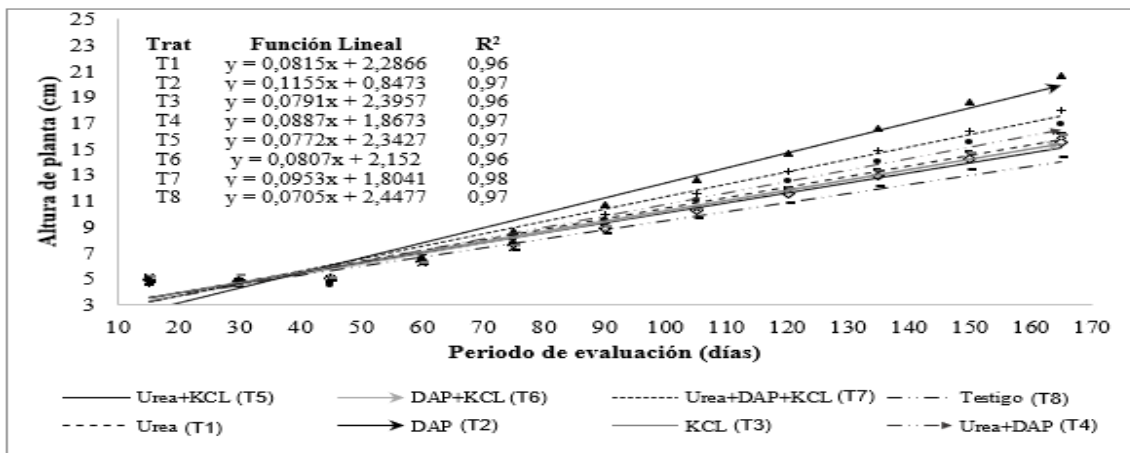


Figura 1. Altura de Planta en función del período de evaluación (días).

Peso fresco del tallo (PFT). La Tabla 3 muestra que, se presentaron diferencias altamente significativas ($\alpha < 0,0001$) entre los tratamientos sobre la variable PFT, donde el T2 (DAP) presentó valores que oscilaron entre T2 (3,86g) y T5 (2,48g) y fue diferente de T8 (2,50g), lo que podría influir en el crecimiento (Borjas, 2008).

Los tratamientos se ajustaron a una ecuación lineal (Figura 2), como se observa para el PFT y otras variables, a partir de los 60 ddt donde se presenta un incremento en todos los tratamientos, auspiciado posiblemente por la acumulación de energía en los compuestos ATP y ADP, en los fenómenos de fosforilación, ayudando a un mayor desarrollo radical, mayor crecimiento de los tallos y hojas (Rodríguez, 2004).

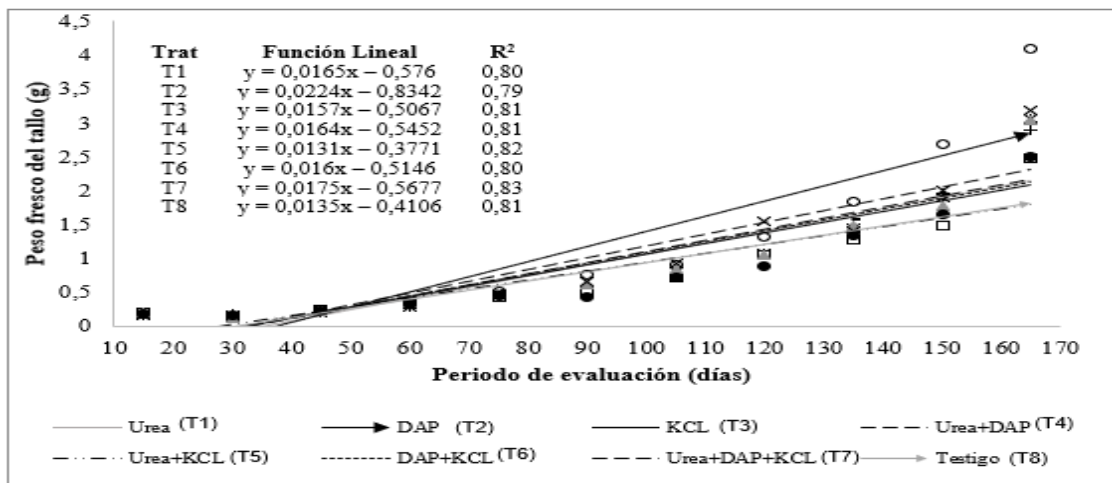


Figura 2. Peso Fresco del Tallo de la planta en función del período de evaluación (días).

Peso fresco de las hojas (PFH). En la Tabla 3 que se presenta las diferencias entre los tratamientos sobre la variable PFH, donde el T7 (Urea+DAP+KCL) tiene el mayor valor obtenido (11,0g) y el menor T8 testigo (7,31g). La respuesta del T7 (Urea+DAP+KCL) se puede deber a que los nutrientes nitrógeno, fósforo y potasio son los implicados en el crecimiento, desarrollo de los cultivos (Parry *et ál.*, 2005); así mismo, el limitado suministro de N, P y K disminuye la tasa de división celular, la producción de hojas, la expansión celular, la permeabilidad celular (Hossain *et ál.*, 2010), la fotosíntesis, el crecimiento (Chapin, 1980; Clarkson y Hanson, 1980; Evans, 1972; Zhao *et ál.*, 2003), y el rendimiento.

Además, de acuerdo con el análisis de sustrato utilizado para el llenado de las bolsas en almácigo se pudo prever que la dosis para nitrógeno (0,93 g/bolsa) cumple con los requerimientos de este elemento en etapa de almácigo. Sin embargo, después de la fertilización y a pesar de sobrepasar la dosis requerida por planta, al aplicar DAP y Urea el comportamiento del T7 fue positivo, esto posiblemente a que la cantidad de este elemento presente en el suelo no estuvo disponible para la planta debido a procesos de falta de mineralización de materia orgánica o también a la capacidad de las arcillas para fijar amonio a sus cargas negativas (Brady y Weil, 2008).

En la Figura 3, se observa que el crecimiento fue uniforme para todos los tratamientos, los cuales se ajustaron a una ecuación de tipo lineal.

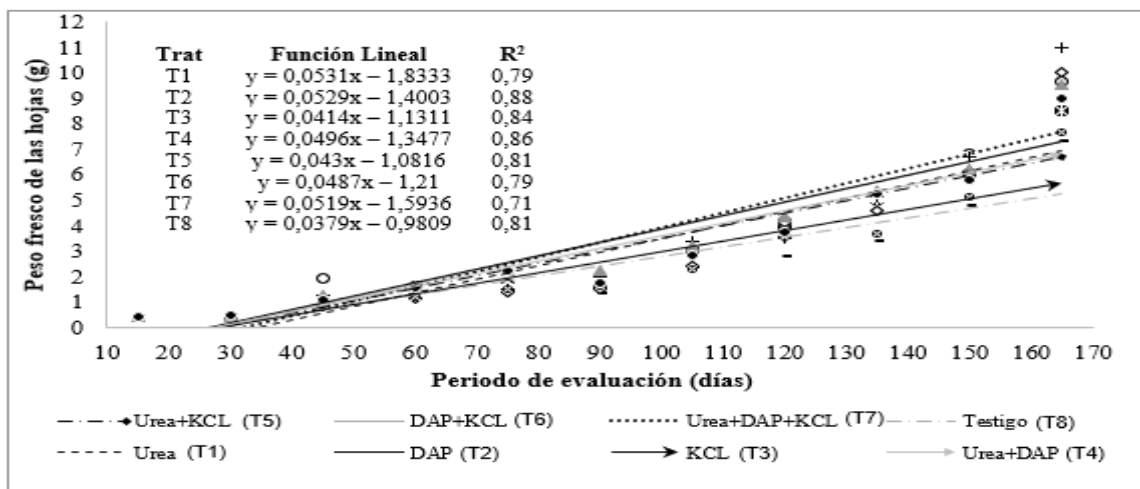


Figura 3. Peso Fresco de las Hojas de la planta en función del período de evaluación (días).

Peso seco del tallo (PST). Se puede observar en la Tabla 3 que se presentaron diferencias altamente significativas ($\alpha < 0,0001$) entre los tratamientos sobre la variable PST, donde el T2 con aplicación de DAP reportó el mayor valor obtenido (1,43g) siendo diferente estadísticamente de los demás tratamientos. Cabe resaltar que pese a los requerimientos del café con respecto al elemento fósforo, la respuesta del T2 (DAP) pudo deberse también al nitrógeno que contiene esta fuente fertilizante. Estos resultados coinciden con lo reportado por Salazar (1977); Alves *et al.* (2016).

En la figura 4, se evidencia un crecimiento uniforme para todos los tratamientos, los cuales se ajustaron a una ecuación de tipo lineal, sin embargo, el T2 (DAP) presentó un mayor PST desde los 60 ddt hasta el final de la evaluación. se redujo en comparación con el tratamiento con la solución completa, esto se puede explicar debido a que una baja disponibilidad de nitrógeno para las plantas puede reducir las concentraciones de clorofila a y b (Cruz *et al.*, 2007) lo que resulta en una tasa fotosintética más baja y, en consecuencia, en un crecimiento más bajo (Heldt, 1997).

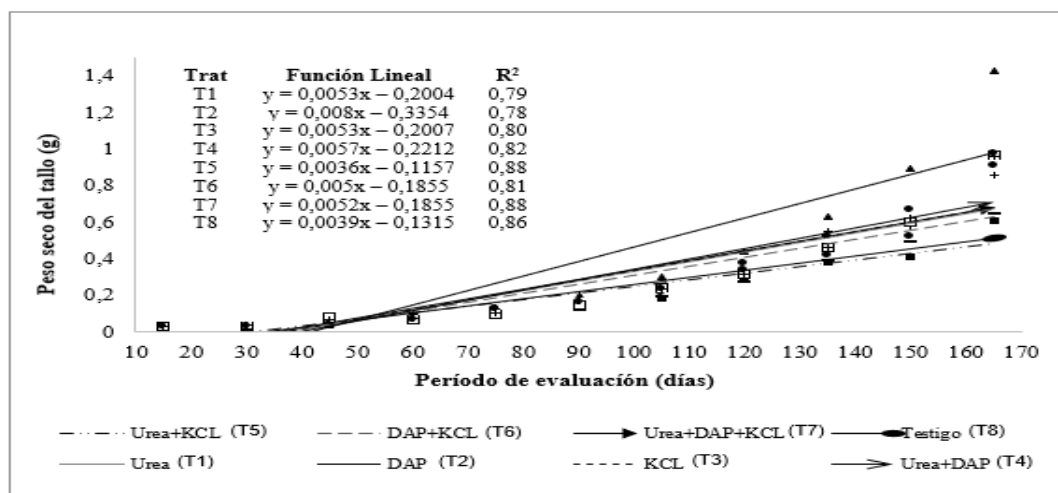


Figura 4. Peso Seco del Tallo de la planta en función del período de evaluación (días).

Peso seco total de las plantas (PSTT). La Tabla 3 muestra que se presentaron diferencias entre los tratamientos sobre la variable PSTT, donde el T2 con aplicación de DAP (5,33g) fue estadísticamente diferente del T8 (3,61g), y estadísticamente igual a los demás tratamientos. Con respecto al fósforo (P), coincidiendo con Sadeghian y González (2014) la fertilización con DAP ocasionó un mayor incremento en la materia seca de las plantas, cuyos efectos trascienden con el

aporte de N y P a la acidificación del medio por la nitrificación del amonio y la subsiguiente reducción del efecto nocivo de abonos orgánicos parcialmente descompuestos (Ávila *et al.*, 2010).

En la Figura 5, se evidencia un crecimiento uniforme para todos los tratamientos, los cuales se ajustaron a una ecuación de tipo lineal.

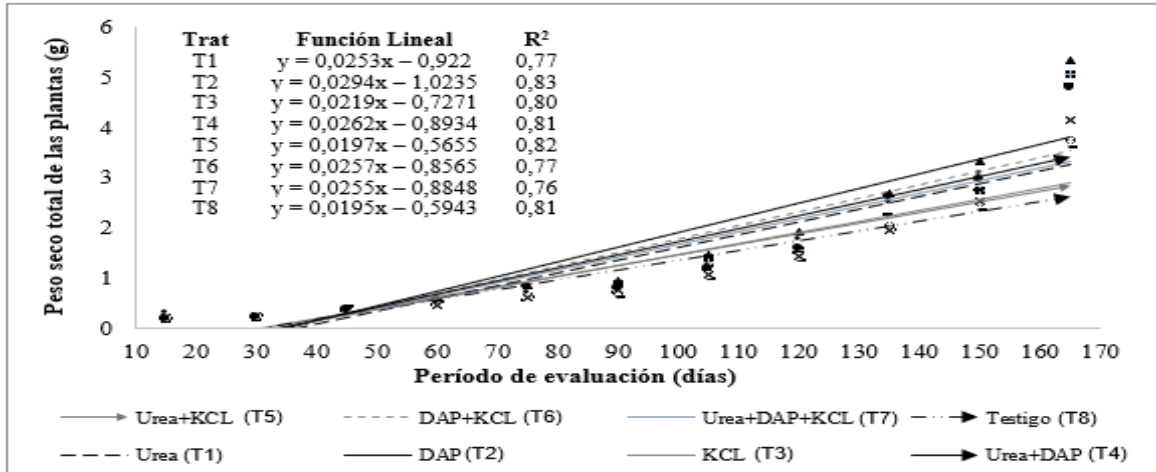


Figura 5. Peso Seco Total de la Planta en función del período de evaluación (días).

Área foliar (AF). En la Figura 6, el comportamiento del AF mostró un comportamiento lineal obteniendo el mayor valor a los 150 días para todos los tratamientos, época en la que también se observaron los máximos valores en el número de hojas.

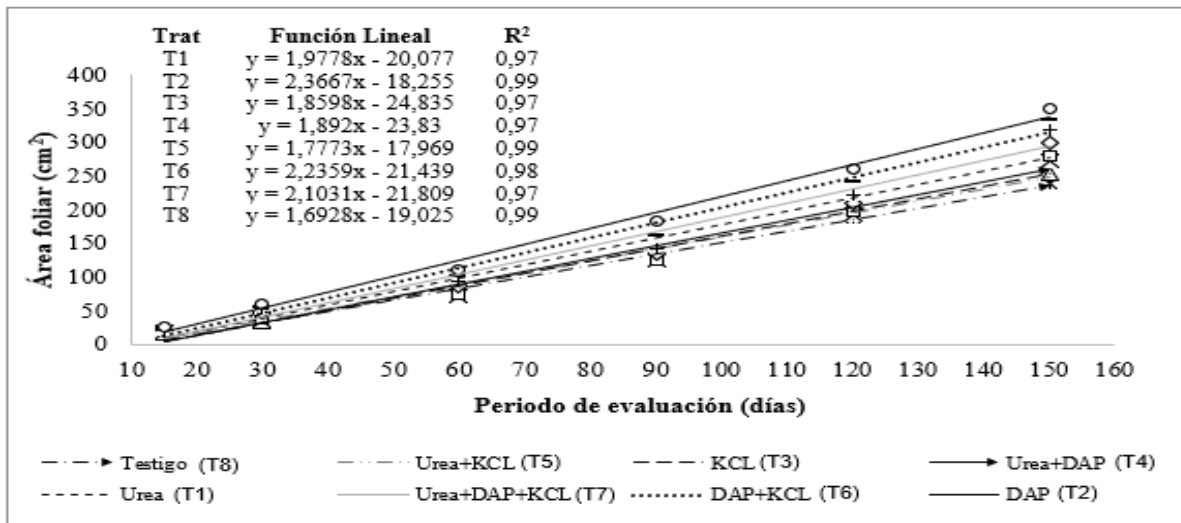


Figura 6. Área foliar en función del período de evaluación (días).

Esto se puede explicar por las características varietales de la variedad castillo (Alvarado y Ochoa, 2006).

La producción de materia seca está relacionada con el área foliar, por lo tanto, cuando esta última es alta se espera una alta acumulación de materia seca (Jarra *et al.*, 1999) esto fue lo que ocurrió para el caso de esta investigación, donde a los 150 días posteriores al trasplante, el tratamiento con DAP (350,8cm²) y además alcanzó el mayor peso seco total, mientras que el testigo presentó el menor valor en área foliar (239,1cm²) y en el peso seco total. El mayor valor de área foliar obtenido en el T2 (DAP) sugiere una mayor actividad fotosintética, ya que según Jarra *et al.*, (1999) las plantas con mayor área foliar son capaces de utilizar mejor la energía solar, con una fotosíntesis, más eficiente.

Índice de área foliar (IAF). Los resultados del índice de área foliar obtenidos bajo condiciones de almácigo (Figura 7) mostraron un comportamiento lineal para todos los tratamientos, obteniendo el mayor valor para el tratamiento con DAP (0.90), mientras que el tratamiento donde se aplicó KCL tuvo el menor valor (0,80) a los 120 ddt, como es evidente la diferencia entre el mayor valor obtenido y el menor valor es mínima, esto se puede explicar porque la producción de biomasa y la distribución de asimilados se da de manera equilibrada en vivero, como se ha demostrado en muchos cultivos (Hirose *et al.*, 1997).

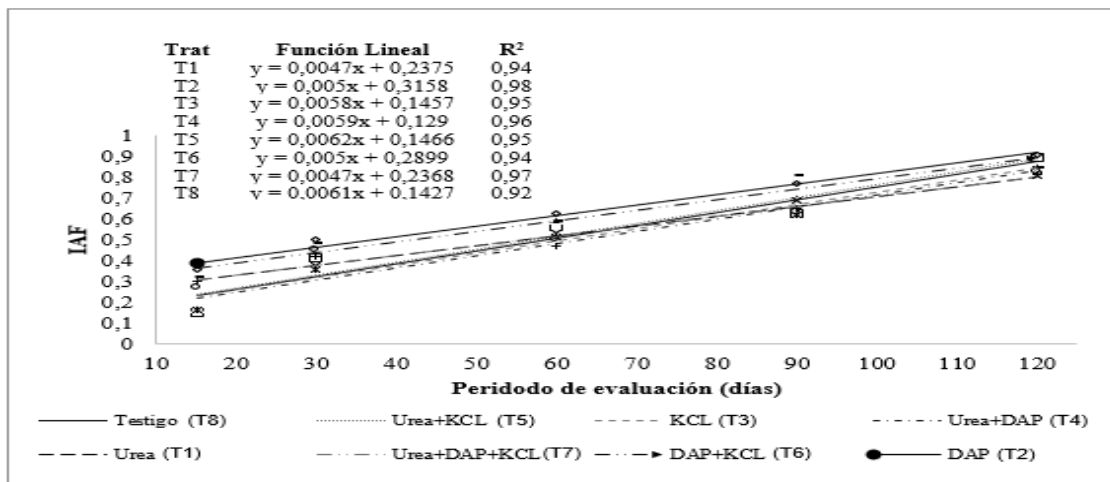


Figura 7. Índice de Área Foliar en función del período de evaluación (días).

Tasa relativa de crecimiento (TCR). Los resultados obtenidos indican que la tasa relativa de crecimiento (Figura 8) alcanzó los máximos valores a los 30, 90, 120 y 150 ddt, para todos los

tratamientos a excepción del tratamiento con KCL, el cual después de los 30 días del trasplante tuvo un comportamiento que varió muy poco con el tiempo, a los 135 días se disparó alcanzando el máximo valor en la TCR a los 150 ddt. Esto podría explicarse por qué según Shipley (2006) en la variación de la TRC están involucrados diferentes factores internos, como la etapa de desarrollo de la planta, y factores externos, tanto bióticos como abióticos. La tasa relativa de crecimiento es el resultado de procesos complejos en la planta, determinados por aspectos fisiológicos, morfológicos, genéticos y ambientales (Pommerening y Muszta, 2016).

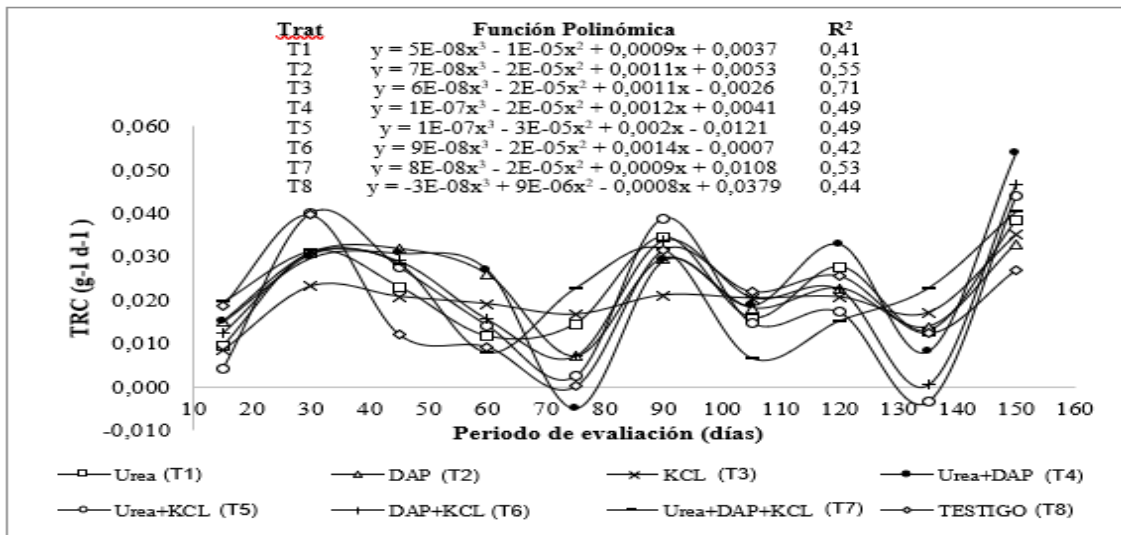


Figura 8. Tasa Relativa de Crecimiento en función del período de evaluación (días).

Blackman (1986) encontró que existen cambios temporales en el TCR, es decir, los índices son mayores durante las fases tempranas de las plantas y disminuyen conforme se alcanza la madurez. Esto, no puede verse reflejado en el presente estudio puesto que las evaluaciones se hicieron únicamente en la etapa vegetativa del cultivo, no llegando a evaluar la etapa reproductiva del café.

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC). Como se puede observar en la Figura 9 la máxima ganancia de biomasa en el área de superficie ocupada por la planta fue para el tratamiento al cual se le aplicó Urea y DAP ($2,8 \text{ e}^{-5} \text{ g cm}^{-2}\text{d}^{-1}$), mientras que el tratamiento al cual se aplicó KCL fue el que tuvo el menor valor ($1,25 \text{ e}^{-5} \text{ g cm}^{-2}\text{d}^{-1}$) a los 120 ddt.

Brown (1984) quien afirma que en ambientes favorables la máxima TCC en una especie dada ocurre cuando la cobertura de las hojas es completa y representa el máximo potencial de producción de masa seca. Por el contrario, la TCC es baja en estadios tempranos de desarrollo

debido a una cobertura incompleta y el bajo porcentaje de interceptación de luz. Igualmente, Baracaldo *et al.* (2010) afirma que la máxima TCC ocurre cuando las plantas son suficientemente grandes o densas para optimizar el uso de los factores ambientales.

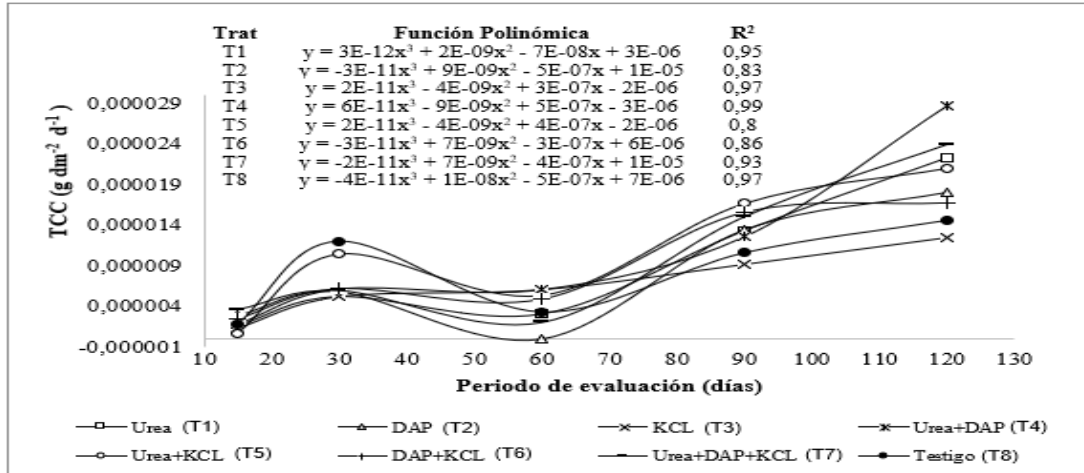


Figura 9. Tasa de Crecimiento del cultivo en función del período de evaluación (días).

Tasa de asimilación neta (TAN). En la Figura 10 se muestra el comportamiento de los diferentes tratamientos con respecto a la TAN, en esta se evidencia una disminución desde los 30 hasta los 60 ddt, ya que, a que a medida que la planta crece, existe sombreado por las hojas nuevas por sobreposición de estas, influyendo en la interceptación de la radiación fotosintéticamente activa, lo cual se ve reflejado en una disminución de la tasa de asimilación neta (Carranza *et al.*, 2009), la cual expresa la eficiencia fotosintética.

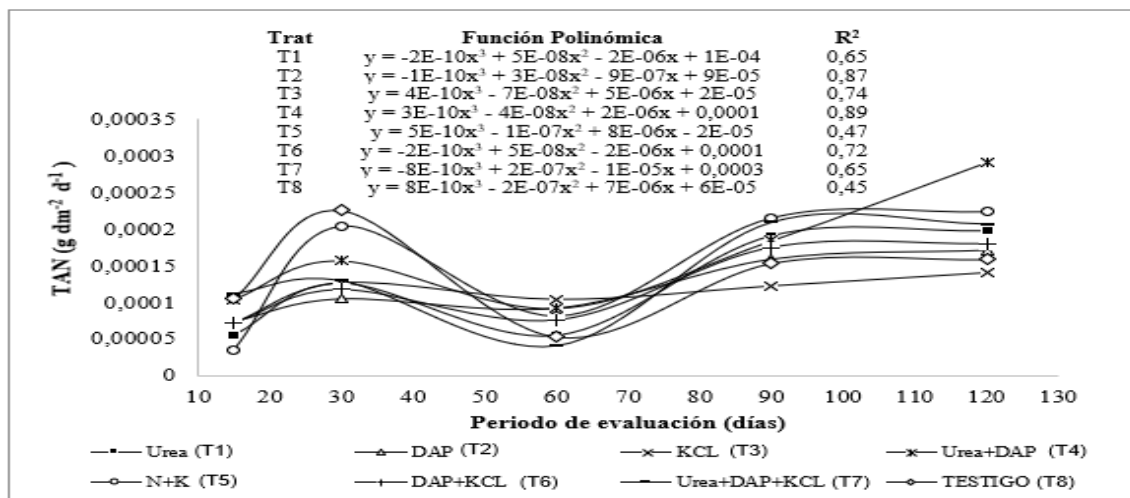


Figura 10. Tasa Asimilación Neta en función del período de evaluación (días).

A partir de los 60 días se registra un incremento en la TAN, lo cual, podría atribuirse a la aplicación que se hizo con la segunda dosis de fertilizantes, ya que según Lopes *et al.* (2011) esta práctica está directamente involucrada en el mayor desarrollo del tejido foliar lo que favorece el incremento en materia seca. Igualmente, González *et al.* (2003) expresan que la respuesta de un cultivo a la aplicación de un nutriente mediante la fertilización involucra absorción y su utilización para la producción de materia seca.

A los 120 ddt el tratamiento al cual se le aplicó Urea y DAP tuvo el mayor valor en la TAN ($0.00029\text{g cm}^{-2}\text{ d}^{-1}$), mientras que el tratamiento de solo KCL tuvo el menor valor ($0.00013\text{g cm}^{-2}\text{ d}^{-1}$); el componente fisiológico del crecimiento como es la TAN, es el resultado del balance neto entre las ganancias por la tasa de fotosíntesis y las pérdidas por las tasas de respiración de hojas, tallos y raíces (Poorter, 1989) y en su definición también intervienen otros factores como la distribución de biomasa en los diferentes órganos, la composición química y la formación de área foliar (Villar *et al.*, 2004).

CONCLUSIONES

Se presentaron diferencias altamente significativas ($\alpha < 0,0001$) para las variables altura, peso fresco y peso seco del tallo, encontrando un efecto en el tratamiento donde se aplicó DAP.

Los modelos de crecimiento que presentaron un mejor ajuste para explicar el comportamiento de las variables TCR, TCC, y TAN, en función del tiempo, correspondieron a ecuaciones polinómicas de tercer grado.

El IAF y la TAN presentaron los mayores valores para el tratamiento T2 (DAP) durante la etapa de almácigo para las plántulas de café variedad Castillo, lo que muestra que el crecimiento fue más rápido con respecto a los demás tratamientos y al testigo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, A. & Ochoa, F. (2006). Características fenotípicas de componentes en variedad Castillo en dos ambientes. *Cenicafé*. 57 (2): 100-121.
- Alves, R., Melo, B., Almeida, H., & De Mello, R. (2016). Growth and Nutritional Disorders of Coffee Cultivated in Nutrient Solutions with Suppressed Macronutrients, *Journal of Plant Nutrition*, 39(11), 1578-1588. doi: 10.1080/01904167.2016.1161777
- Aparicio, M. (2018). Cuestionario Camara de Representantes a la Honorable Representante Adriana Magaly Matiz Vargas. Recuperado de <http://www.camara.gov.co/sites/default/files/2018-10/RTA.FEDERACI%C3%93N%20DE%20CAFETEROS.PROPOSICI%C3%93N%20099%20-%202018.pdf>
- Ávila, R. W. E., Sadeghian, K. S., Sánchez, A. P. M., & Castro, F. H. E. (2010). Respuesta del café al fósforo y abonos orgánicos en la etapa de almácigo. *CENICAFÉ* 61(4):358-369.
- Armas, F. E., Cornejo, M. N., & Murcia, Z. K. (2008). Propuesta para el aprovechamiento de los subproductos del beneficio del café como una alternativa para la diversificación de la actividad cafetalera y aporte de valor a la cadena productiva, Tesis de grado Ingeniería Industrial, Universidad del Salvador, Salvador. 11p.
- Baracaldo, A., Ibagüe, A., & Florez, V. (2010). Tasa e índices de crecimiento a segundo pico de cosecha en clavel estándar cv. Nelson cultivado en suelo y en sustratos. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/18063/18981>.
- Berthaud, J. & Charrier, A. (1988). Genetic resources of Coffea. *Elsevier Applied Science*. London. 4:1-42.
- Borjas, R. (2008). Uso de fuentes naturales en la fertilización de café (*Coffea arabica*) var. Caturra en vivero como base para la producción orgánica en la selva central del Perú. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1820/F04-B64T.pdf?sequence=8&isAllowed=>.

- Blackman, G. (1986). The application of the concepts of growth analysis to the assessment of productivity. En: Eckard, F. (ed.). *Functioning of terrestrial ecosystems of the primary production level. Proc.* pp. 243-259. Copenhagen: Copenhagen Symposium, Unesco.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). The nature and properties of soils. New Jersey: Pearson International Edition. 965p.
- Brown, R. (1984). Growth of the green plant. En Tesar, M. B (ed). *Physiological basis of crop growth and development.* pp.153-174. Madison: American society of agronomy.
- Campos, M., Atondo, G., & Rendon, C. (2016). Dinámica lineal para el crecimiento de plantas y frutos con simetría definida. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6001926.pdf> Consulta: marzo 2019. 1p.
- Carranza, C., Lancho, O., Miranda, D., & Chaves, B. (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) "Batavita" cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agron. Colomb.* 27(1): 41-48 p.
- Castañeda, E. (2000). *EL ABC del Cultivo del Café: Cultivando Calidad.* Lima. Perú: ADEX-USAID. 172p.
- Cortina, H., Moncada, M., & Herrera, J. (2012). Variedad Castillo. Avances técnicos Cenicafé 426. Recuperado de <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt04261.pdf>
- Chapin, F. (1980). The mineral nutrition of wild plants. *Annual review of ecology and systematics*, 11(1): 233-260
- Clarkson, D., & Hanson, T. (1980). The mineral nutrition of higher plants. *Annual Review of Plant Physiology.* 31: 239-298.
- Cruz, J. L., Pelacani, C. R., Carvalho, J. E. B., Souza Filho, L. F. S., & Queiroz, D. C. (2007). Nitrogen levels and photosynthetic rate of papaya golden". *Ciência Rural*, 37(1): 64-71.
- Davis, A. P. & Rakotonasolo, F. (2008). A taxonomic revision of the baracoffea alliance: nine remarkable *Coffea* species from western Madagascar. *Botanical Journal of the Linnean Society.* 158(3):355-390.

- Domínguez, L. S., Olié, P. J., Peñuelas, R. J.L., & Serrada, H.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. 195-202p.
- Evans, G. (1972). *The quantitative analysis of plant growth*. Vol 1. London: Blackwell Scientific Publication. 734 p.
- Farfán, F. (2015). Almácigos para caficultura orgánica Alternativas y costos. Avances Técnicos Cenicafe (Colombia). Recuperado de <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/556/1/avt0452.pdf>.
- Gaitán B., A. L. (2003). Volcamiento o mal del tallito *Rhizoctonia solani* Kühn. In: Gili V., L.F.; Castro C., B.L.; Cadena G., G. *Enfermedades del cafeto en Colombia*. pp. 85-99. Chinchiná: Cenicafe.
- Gobernación de Nariño. (2011). Nuestro departamento, municipios nariñenses. Recuperado de <https://www.narino.gov.co/index.php/nuestro-departamento/municipios>,
- Gómez, C., Buitrago, M. Cante, M. & Huertas C. (1999). Ecofisiología de papa hel *Solanum tuberosum* utilizada para consumo fresco y para la industria. *Revista Co-malfi*. 26(1-3): 42-55.
- González, M. C. M., González, B., & Estavillo, M. (2003). Nitrógeno, agricultura y medio ambiente. In: Reigosa, M., N.Pedrol, y A. Sánchez (eds). *La Ecofisiología Vegetal: Una Ciencia de Síntesis*. pp.387-412 Vigo, España: Paraninfo.
- Heldt, H. W. (1997). *Plant biochemistry and molecular biology*. New York: Oxford University.
- Herrera, J. C., Combes, M. C., Anthony, F., Charrier, A. & 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*). *TAG Theoretical and Applied Genetics*. 104(4):661-668.
- Hirose, T., Ackerly, D., Traw, M., Ramseier, D., & Bazzaz, F. (1997). CO₂ Elevation, Canopy Photosynthesis, and Optimal leaf Area Index. *Ecology*. 78: 2339-2350.

- Hossain, D., Hanafi, M., Talib, J., & Hamdan, J. (2010). Effects of nitrogen, phosphorus and potassium levels on kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) Growth and photosynthesis under nutrient solution. *Journal of Agricultural Science*. 2: 49-56.
- Hunt, R. (1990). *Basic growth analysis*. London: Academic Press.
- Ideam. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia. (2017). Departamento Administrativo de Estadística. Recuperado de www.ideam.gov.co.
- Irigoyen, J., & Cruz, M. (2005). Guía técnica de semilleros y viveros frutales. Ministerio de agricultura y ganadería, programa nacional de frutos de el Salvador. Recuperado de <http://repiica.iica.int/docs/B0507e/B0507e.pdf>.
- Jarma, A., Buitrago, C., & Gutierrez, S. (1999). Respuesta del crecimiento de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var Blue Lake) a tres niveles de radiación incidente. *Revista COMALFI*. 26(1-3): 62-73.
- Lanares, K. (2007). Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio sobre el crecimiento de *Swietenia macrophylla* G. King "caoba" en fase de vivero en Tingo Maria. Tesis Ing. R.N.R. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 65 p.
- Lopes, M. N., Pompeu, R. C. F. F., Cândido, M. J. D., Lacerda, C. F. D., Silva, R. G. D., & Fernandes, F. R. B. (2011). Growth index in massai grass under different levels of nitrogen fertilization. *Rev. Bras.Zootecn.* 40 (12):2666-2672.
- López, L. M. A. (1990). Estudio de nutrición de *Pinus patula* Schl et Cham en sistema hidropónico. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, 69p.
- Parry, M., Flexas, J., & Medrano, H. (2005). Prospects for crop production under drought: research priorities and future directions. *Annals of Applied Biology*. 147: 211-226.
- Pearl, H. M., Nagai, C., Moore, P. H., Steiger, D. L., Osgood, R. V., & Ming, R. (2004). Construction of a genetic map for arabica coffee. *TAG Theoretical and Applied Genetics*. 108(5):829-835.

- Pommerening, A. & Muszta, A. (2016). Relative plant growth revisited: Towards a mathematical standardisation of separate approaches. *Ecol. Model.* 320:383-392 p.
- Poorter, H. (1989). Growth analysis: towards a synthesis of the classical and the functional approach. *Physiol. Plant.* 75: 237-244.
- Pyo Y. J., Gierth M., Schroeder J. I., & Cho M. H. (2010). High-affinity K (+) transport in Arabidopsis: AtHAK5 and AKT1 are vital for seedling establishment and postgermination growth under low-potassium conditions. *Plant Physiology.* 76-105 p.
- Radford, P. (1967). Growth analysis formulae, their use and abuse. *Crop Sci.* 7(3): 171-175.
- Rivillas C., & Gaitán, A. (2013). Manual del cafetero colombiano tomo II; Germinadores de café. 8p.
- Rodríguez, F. (2004). Fertilizantes, nutrición vegetal. 2 ed. México. 156p.
- Rojas, P., Pérez, M., Colinas, M., Sahagún, J., & Avitia, E. (2008). Modelos matemáticos para estimar el crecimiento del fruto de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). Recuperado de <https://www.chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rchshXIV291.pdf>
- Salamanca, J. A., & Sadeghian K. S. (2008). Almacigos de café con distintas proporciones de lombrinaza en suelos con diferente contenido de materia orgánica. *Centro de Investigaciones del Café.* 59(2):91 – 102 p.
- Salazar, A. J. N. (1977). Respuesta de plántulas de café a la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio. *Cenicafé.* 28(2): 61-66.
- Sadeghian, K. S., & González, O. H. (2014). Respuesta del café (*Coffea arabica* L.) a fuentes y dosis de nitrógeno en la etapa de almacigo. *Revista CENICAFÉ.* 65 (1): 34-43.
- Sadeghian, K. (2013). Manual del Cafetero Colombiano. Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Tomo II. Nutrición del café en la etapa de almacigo Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/250697222/Manual-del-Cafetero-Colombiano>

- Sadeghian K, S., & Gaona, H. S. (2005). El suelo: formación, fertilidad y conservación. In: AULA virtual cafetera. Programa de capacitación virtual. Nivel 1: *Fundamentos agronómicos*. Chinchiná: CENICAFÉ – FNC - Fundación Manuel Mejía - SENA.
- Silva, A., & Trejas, C. (2016). Prospectiva del café de Nariño: Sabor y aroma de una tradición. Recuperado de <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/revista-estrategicaorganizacion/article/view/2097/2304>
- Shipley, B. (2006). Net assimilation rate, specific leaf area and leaf mass ratio: which is most closely correlated with relative growth rate? A meta-analysis. *Funct. Ecol.* 20 (4): 565-574.
- Soto, F. (1980). Estimación del área foliar en *Coffea arabica* L. a partir de las medidas lineales de las hojas. San José de las Lajas, La Habana: Instituto de Ciencias Agrícolas. 119 p.
- Urueña, M., Pinzón, N., Rodríguez, A., & Samper, L. (2011). Sostenibilidad en acción 1927- 2010. Capítulo 5: sostenibilidad del ingreso del cafetero. Recuperado de https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/informe_sostenibilidad_esp.pdf
- Villar, R., Ruiz, J., Quero, H., Poorter, F., Valladares, T., & Marañón, F. (2004). Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En: *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente. pp.191-227. Madrid: EGRAF.
- Zhao, D., Reddy, K., Kakani, V., Read, J., & Carter, G. (2003). Corn (*Zea mays* L.) growth leaf pigment concentration, photosynthesis and leaf hyperspectral reflectance properties as affected by nitrogen supply. *Plant Soil.* 257: 205-217.