

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA EN EL USO DEL NITRÓGENO EN EL CAFÉ¹

Juan Carlos López Ruiz*

RESUMEN

LÓPEZ R., J.C. Estudio de la eficiencia en el uso del nitrógeno en el café. Cenicafé 60(4):324-350. 2009.

Se estudió la eficiencia en el uso del nitrógeno (N), EUN = eficiencia en la absorción (EABN) x eficiencia en la utilización (EUTN), de cuatro progenies de *Coffea arabica* L. cv Caturra x Híbrido de Timor, mediante el efecto que sobre el crecimiento, acumulación de peso seco y de N tuvieron los tratamientos sin N (N del suelo) y con N (N del suelo + N inorgánico). A los 150, 210 y 270 días después de la siembra se midió: el área foliar (AF), longitud del tallo (LT), longitud de la raíz (LR), volumen de la raíz (VR), peso seco de la planta (PSP) y contenido de N de la planta (CNP). La EABN se estableció como CNP/N del suelo o N del suelo + N inorgánico y la EUTN como PSP/CNP. Aunque la LT o AF de algunas progenies fue menor bajo el tratamiento sin N, la EABN, EUTN y EUN de todas las progenies fue mayor bajo esta condición. A diferencia del PSP, la variación en el CNP entre tratamientos, independientemente de la progenie, fue significativa. Las plantas con mayor EABN, EUTN y EUN presentaron menor contenido de N y distribuyeron el peso seco y el N total en una mayor proporción hacia la raíz y una menor hacia las hojas. A excepción de la LT, no hubo diferencias significativas en el AF, VR, LR, PSP, CNP, EABN, EUTN y EUN entre progenies bajo ambos tratamientos. La interacción progenie x tratamiento no fue significativa para ninguna de las relaciones de eficiencia.

Palabras clave: *Coffea arabica* L., crecimiento del café, eficiencia nutricional del café.

ABSTRACT

Nitrogen use efficiency (NUE) = N uptake efficiency (NUpE) x N utilization efficiency (NUE) of four progenies seedlings of *C. arabica* L. cv Caturra x Timor Hybrid were studied through the evaluation of the effect that both treatments without N (soil N) and with N (soil N + inorganic N) had on plant growth, dry weight accumulation and plant N content (PNC). 150, 210 and 270 days after sowing, leaf area (LA), stem length (SL), root length (RL), root volume (RV), plant dry weight (PDW) and plant N content (PNC) were measured. NUpE was set as soil PNC/N or soil N + inorganic N and NUtE was set as PDW/PNC. Although SL or LA of some progenies was lower under treatment without N, NUpE, NUtE and NUE were higher under this condition than the all the other progenies. Unlike PDW, variation in PNC between treatments, regardless of the progeny, was meaningful. Plants with the highest NUtE, NUpE and NUE exhibited lower N content and distributed dry weight and total N in a greater proportion to the root and in a lower proportion to the leaves. Except for LS, there were no significant differences in LA, RL, RV, PDW, PNC, NUpE NUtE and NUE between progenies under both treatments. The interaction progeny x treatment was not significant for any of the efficiency relations.

Keywords: *Coffea arabica* L., coffee growth, coffee nutritional efficiency.

¹ Fragmento de la tesis del autor para optar al título de Magíster en Sistemas de Producción Agropecuaria.

* Asistente de Investigación. Fisiología Vegetal. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

La eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) es un concepto fisiológico que permite evaluar la capacidad que poseen las plantas para tomar el nitrógeno (N) del suelo (eficiencia en la absorción - EABN) e incorporarlo a los procesos metabólicos responsables de la productividad primaria o a los frutos (eficiencia en la utilización - EUTN) y, al mismo tiempo, identificar y seleccionar de las poblaciones de plantas, genotipos sobresalientes por estas características.

Aunque a través de la aplicación práctica del concepto de EUN se ha logrado mejorar el aprovechamiento del N por los sistemas de producción agrícola, así como reducir sus pérdidas y aumentar la productividad, aun se considera que la EUN de los cultivos es baja. Para las regiones tropicales, se afirma que cuando el N se suministra en forma inorgánica su aprovechamiento, según Prasad y Datta (29), varía entre el 30% y el 50%, y según Mortvedt *et al.* (26) entre el 50% y el 70%. A nivel mundial, la EUN no supera el 33%, y el 67% restante representa una pérdida monetaria equivalente a US\$ 15,9 billones anuales (30). Para cultivos de hortalizas se estima que la EUN es del 50% y para árboles frutales del 20% (24).

Con respecto al origen de las diferencias en la eficiencia en la absorción (EABN) entre especies de cultivos y cultivares, dentro de especies se ha demostrado que éstas se deben a modificaciones en la extensión y forma de la raíz, que permiten la exploración de un mayor volumen del suelo para absorber agua y nutrientes, y a cambios en la capacidad para la solubilizar nutrientes cuando su concentración es baja en la rizosfera (23). Además, se considera que las variaciones en la eficiencia en la utilización del nitrógeno (EUTN) se relacionan con una mejor distribución de nutrientes y biomasa, y un mejor balance

de la relación fuente-vertedero (15). En particular, XinChao *et al.* (39), afirman que el peso seco de la raíz, su volumen, área de absorción y actividad de la enzima glutamina sintetasa, han sido características utilizadas para el mejoramiento de la EUN de clones de té (*Camellia sinensis* L.). Así mismo, Isfan (18) sugiere que la eficiencia fisiológica del N absorbido (relación entre la producción de frutos y el N acumulado en la parte aérea de la planta), es un indicador que puede servir para evaluar la capacidad que poseen diferentes genotipos para usar el N de manera más eficiente.

Particularmente, para el maíz (*Zea mays* L.), Moll *et al.* (25) reportan variaciones en las características de la EUN (EABN y EUTN) y en la producción de algunos híbridos cuando se cultivaron en condiciones de baja y alta disponibilidad de N en el suelo, indicando que, con baja disponibilidad las diferencias en la EUN se debieron a variaciones en la utilización del N mientras que con alta disponibilidad se atribuyeron a variaciones en la absorción. De igual forma, Baligar y Fageria (5) reportan diferencias intra e interespecíficas en la eficiencia en el uso de macro y micronutrientes para el sorgo (*Sorghum bicolor* L.), la alfalfa (*Medicago sativa* L.) y el trébol rojo (*Trifolium pretense* L.). Para el arroz (*Oriza sativa* L.), se ha observado que algunos cultivares también presentan diferencias en la EABN y en la eficiencia fisiológica de utilización de este nutriente (22).

Estudios de heredabilidad realizados por Bailian *et al.* (4) en *Pinnus taeda* L., indican que las características de la EUN, definida en este caso como la relación entre la biomasa acumulada en el tallo por unidad de N aplicado, pueden estar controladas por factores genéticos y, además que, la EUN y sus componentes se correlacionan

positivamente con los crecimientos tanto de la raíz como de la parte aérea de la planta, en la etapa de vivero. En adición al origen de las diferencias en la EUN, Jiang y Hull (20) consideran que ésta puede aumentarse a través de la modificación genética de la actividad de la nitrato reductasa y de la distribución de su actividad entre la raíz y las hojas.

Con relación a *Coffea arabica* L. aunque se ha estudiado el efecto del N sobre la fotosíntesis (38), el metabolismo (11), el crecimiento (2, 14) y la producción (37), el conocimiento de la EUN en esta especie es escaso. En tal sentido, la información disponible muestra que el café posee cierta variación genética en la EUN (28).

Debido a que el crecimiento y producción de los cultivos dependen del N y que, en particular, el café lo demanda en altas cantidades (12), es necesario profundizar en los aspectos antes mencionados con el fin de obtener criterios que permitan seleccionar genotipos eficientes desde el punto de vista nutricional. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue conocer la EABN, la EUN y la

EUN de cuatro progenies del cruzamiento de *C. arabica* L. variedad Caturra x Híbrido de Timor, a través de la respuesta fisiológica de la planta a la variación en la disponibilidad de N.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El trabajo se realizó en el Centro Nacional de Investigaciones de Café, ubicado a 5°00'N, 76°36'W, 1.425 m de altitud, temperatura media entre 20,1 y 20,8°C, 1.842 horas de brillo solar y humedad relativa del 79,8%.

Material vegetal. En arena de río lavada se sembraron semillas de cuatro progenies F5 del cruzamiento de *Coffea arabica* L. variedad Caturra x Híbrido de Timor, que componen la variedad regional Castillo® El Rosario (BH1247, CX2178, CU1997 y CU1778), de las cuales cuando presentaron las hojas cotiledonares (\pm 60 días) se trasplantaron 78 plantas de cada una, a bolsas de polietileno negro de 28 cm x 11,5 cm, que contenían suelo cernido (Andisol – Unidad Chinchiná), cuyas características químicas se registran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características químicas del suelo utilizado para el llenado de las bolsas.

Textura	pH	N	MO	P	K	Ca	Mg	Al
		%		mg.kg ⁻¹		cmol(±).kg ⁻¹		
Franca	4,68	0,69	20,89	15,83	0,55	1,08	0,40	2,56

Luego del trasplante, las bolsas con las plantas se ubicaron en casa de malla, donde se mantuvieron durante nueve meses.

Metodología. A las plantas de cada progenie se les aplicaron dos tratamientos de N:

Tratamiento sin aporte exógeno de nitrógeno (SN): Consistió en el N mineralizado, para lo cual inicialmente se determinó la humedad

gravimétrica del suelo y luego, se hizo una corrección por humedad según la Ecuación <<1>>

$$\text{Corrección de humedad} = \frac{WS}{[1+(HG/100)]} \quad \ll<1>>$$

donde:

WS: peso del suelo

HG: humedad gravimétrica

Con el peso corregido (promedio del peso de la bolsa = 1.771g) y considerando la tasa de mineralización obtenida por Salamanca (35), en un andisol de la unidad Chinchiná bajo condiciones climáticas similares a las

del sitio donde se realizó el estudio (420 g N / ha.día), se calculó la cantidad de N mineralizado (g/bolsa) desde la siembra de las plantas hasta los 150, 210 y 270 días (Tabla 2).

Tabla 2. Cantidad de N mineralizado por bolsa y cantidad nitrógeno (N) aplicado por planta.

N mineralizado desde la siembra hasta los:	g/bolsa	N aplicado a los:	g/planta	N total a los:	N mineralizado + N aplicado
150 d.d.s.	0,06	120 d.d.s.	0,16	150 d.d.s.	0,06 + 0,16 = 0,22
210 d.d.s.	0,09	180 d.d.s.	0,22	210 d.d.s.	0,09 + 0,16 + 0,22 = 0,47
270 d.d.s.	0,12	240 d.d.s.	1,05	270 d.d.s.	0,12 + 0,16 + 0,22 + 1,05 = 1,55

d.d.s. = días después de la siembra

Tratamiento con aporte de N (CN): Consistió en la aplicación exógena de N según la extracción de la planta establecida por Riaño *et al.* (32) más el N mineralizado (Tabla 2). Como fuente de N se aplicó KNO₃ (13,9% de N).

Por cada progenie y tratamiento de N se tuvieron 39 plantas distribuidas en un diseño experimental completamente aleatorio. Un mes después de la aplicación de los tratamientos (150, 210 y 270 días después de la siembra), se tomaron aleatoriamente 13 plantas por progenie y tratamiento para registrarles la longitud del tallo (LT), el área foliar (AF) y el volumen de la raíz (VR), esta última según el método de Bohn (6), y la longitud de la raíz (LR), el peso seco y el contenido de N de los diferentes órganos.

Para medir la LR se extendieron porciones de ésta sobre una cámara de trasluz y se fotografiaron con una cámara digital Sony Cyber-shot DSC-F828, operada en modo de enfoque automático a una distancia de 80 cm. A la cámara de trasluz previamente se fijó un recuadro de papel negro de 9,0 cm², que sirvió para que el programa de computador relacionara la LR con el recuadro. Luego, las fotografías almacenadas, con una resolución

de 1.280 x 960 (1M), se analizaron en un programa escrito por Cruz (13), en el módulo de procesamiento de imágenes del Matlab versión 6.5, el cual permitió establecer la LR a partir de la umbralización (contraste de color blanco y negro, que ajusta la imagen real de la fotografía de la raíz).

El peso seco de la raíz (PSR), del tallo (PST), de las ramas (PSRM) y de las hojas (PSH) se obtuvo después de secar cada uno de estos órganos en una estufa de recirculación de aire a 80°C; mientras que el contenido de N de la raíz (CNR), del tallo (CNT), de las ramas (CNRM) y de las hojas (CNH), se determinó por análisis semimicro Kjeldahl, según la metodología de Carrillo *et al.* (10).

Con los valores de N mineralizado, N aplicado, peso seco de la planta (PSP) y contenido de N de la planta (CNP), se calculó la eficiencia en el uso del N (EUN), según lo establecido por Moll *et al.* (25), donde la eficiencia de utilización del nitrógeno (Ecuación <<2>>) es igual a la eficiencia en la absorción del N (Ecuación <<3>>) multiplicado por la eficiencia en la utilización del N (Ecuación <<4>>).

$$EUN = EABN \times EUTN \quad \langle\langle 2 \rangle\rangle$$

$$EUTN = \frac{CNP}{N} \quad \langle\langle 3 \rangle\rangle$$

$$EUTN = \frac{PSP}{CNP} \quad \langle\langle 4 \rangle\rangle$$

Análisis estadístico. Con los datos registrados se realizó, por fecha de muestreo y para el promedio de los tres muestreos, el análisis de varianza para establecer el efecto de los tratamientos de N sobre las variables de crecimiento, acumulación de peso seco, N de la planta, EABN, EUTN y EUN en cada una de las progenies, y el efecto de las progenies bajo el mismo tratamiento de N sobre las mismas variables. Para las variables donde el análisis de varianza mostró efecto significativo de los tratamientos de N y de las progenies ($Pr > F$ menor a 0,05), se aplicaron, respectivamente, las pruebas D.M.S. y Tukey (al 5% cada una), para identificar las diferencias.

RESULTADOS

Variación entre tratamientos de nitrógeno (N)

Crecimiento de la planta. En la Tabla 3 se presenta, para tres épocas del crecimiento de la planta, el efecto de los tratamientos de N sobre la longitud del tallo, el área foliar, el volumen de la raíz y la longitud de la raíz.

La LT y el AF fueron las únicas variables de crecimiento que presentaron diferencias entre tratamientos, alcanzando los mayores valores cuando se hizo aporte exógeno de N. En particular, se registraron diferencias en

la LT de las progenies BH1247 y CU1778 a los 150 y 270 d.d.s., respectivamente, y en el AF de todas las progenies a los 270 d.d.s.; además, para la progenie CU1778 se registraron diferencias en el AF a los 210 d.d.s.

En términos de los promedios, la LT de las progenies BH1247 y CU1778 bajo el tratamiento CN fue mayor al promedio de las mismas progenies bajo el tratamiento SN (Tabla 4). Para el AF se observó una respuesta similar a la anterior, en las progenies CU1778 y CX2178. De todas las progenies, la CU1778 tuvo la mayor variación por efecto de los tratamientos, con diferencias en la LT y el AF, seguida por las progenies BH1247 y CX2178 que sólo presentaron diferencias en el AF (Tabla 4).

Acumulación de peso seco. El PSH solo presentó diferencias por efecto de los tratamientos de N. En particular, para la progenie CU1997 a los 210 d.d.s. y para las progenies CU1778, CU1997 y CX2178 a los 270 d.d.s., se observó que el PSH de las plantas del tratamiento CN fue mayor al de las plantas del tratamiento SN (Tabla 5).

El mayor PSH de las progenies CU1778, CU1997 y CX2178 a los 270 d.d.s. (Tabla 5), se explica por el hecho de que las plantas de estas progenies alcanzaron un mayor desarrollo foliar (Tabla 3), el cual se fue favorecido por la adición exógena de N.

Para el promedio de los tres muestreos, a excepción del PSH, el peso seco de los demás órganos de la planta y el de la planta, no presentaron diferencias entre tratamientos de N (Tabla 6). En particular, el PSH de las progenies CU1778, CU1997 y CX2178, bajo el tratamiento CN, fue mayor en comparación con el respectivo de las mismas progenies bajo el tratamiento SN.

Tabla 3. Promedios de la longitud del tallo (LT), área foliar (AF), volumen de la raíz (VR) y longitud de la raíz (LR), a los 150, 210 y 270 días después de la siembra (d.d.s.) de cuatro progenies que componen la Variedad Castillo® El Rosario, con y sin la aplicación de N.

Progenie	d.d.s.	Tratamiento de N	LT (cm)		AF (cm ²)		VR (cm ³)		LR (m)	
			Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)
BH1247	150	SN	23,8 b	17,6	670,9 a	43,8	7,8 a	39,6	6,6 a	62,6
		CN	27,0 a	10,2	774,9 a	21,1	9,1 a	19,5	7,8 a	36,7
	210	SN	27,2 a	25,7	764,5 a	40,1	12,5 a	37,0	30,7 a	52,0
		CN	29,2 a	9,3	895,5 a	21,1	13,7 a	18,3	29,9 a	33,5
	270	SN	33,4 a	11,6	1.501,3 b	25,4	22,9 a	31,4	51,0 a	49,3
		CN	36,5 a	10,9	1.988,7 a	24,8	18,5 a	31,9	44,4 a	46,5
CU1778	150	SN	24,3 a	20,5	681,2 a	32,7	8,8 a	43,3	8,5 a	51,1
		CN	26,0 a	13,4	824,3 a	31,7	9,4 a	24,0	9,6 a	32,0
	210	SN	28,1 a	15,2	793,4 b	28,6	14,7 a	40,5	27,9 a	38,7
		CN	29,8 a	11,8	1.000,5 a	23,1	13,9 a	28,0	26,8 a	37,8
	270	SN	32,7 b	22,6	1.490,0 b	27,9	23,1 a	28,3	52,5 a	32,8
		CN	37,9 a	10,8	2.077,4 a	20,3	23,7 a	30,4	49,0 a	35,1
CU1997	150	SN	28,2 a	10,7	797,2 a	18,0	10,5 a	22,3	11,1 a	34,9
		CN	28,0 a	12,5	838,5 a	17,2	9,2 a	19,4	8,8 a	27,2
	210	SN	31,2 a	11,4	738,0 a	18,3	15,6 a	40,6	34,6 a	39,7
		CN	33,2 a	13,7	911,3 a	34,2	17,7 a	49,3	33,0 a	40,8
	270	SN	40,0 a	13,0	1.409,4 b	29,0	26,0 a	31,8	62,4 a	45,1
		CN	42,5 a	7,5	1.782,8 a	21,4	26,1 a	28,0	60,1 a	41,8
CX2178	150	SN	25,4 a	15,4	697,4 a	24,5	9,3 a	34,7	10,1 a	44,8
		CN	26,0 a	13,2	733,7 a	20,2	10,7 a	24,7	11,2 a	29,8
	210	SN	31,1 a	8,9	780,0 a	23,4	15,1 a	36,0	36,5 a	49,5
		CN	31,9 a	11,6	911,0 a	32,1	14,9 a	26,1	33,6 a	29,8
	270	SN	37,8 a	10,1	1.339,2 b	20,3	26,0 a	48,2	64,2 a	57,2
		CN	40,8 a	10,8	2.052,7 a	29,7	24,1 a	26,7	64,2 a	41,7

SN: sin N; CN: con N; C.V.: Coeficiente de variación. Letras distintas entre tratamientos de N indican diferencia significativa (D.M.S. 5%).

Tabla 4. Promedios de la longitud del tallo (LT), el área foliar (AF), el volumen de la raíz (VR) y la longitud de la raíz (LR), de cuatro progenies que componen la Variedad Castillo® El Rosario, con y sin aplicación de N.

Progenie	Tratamiento de N	LT (cm)		AF (cm ²)		VR (cm ³)		LR (m)	
		Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)
BH1247	SN	28,1 b	23,0	978,9 a	50,5	14,4 a	56,8	29,4 a	84,8
	CN	30,9 a	16,6	1.219,7 a	52,0	13,8 a	39,2	27,3 a	73,3
CU1778	SN	28,3 b	23,1	988,2 b	47,2	15,5 a	51,7	29,7 a	73,0
	CN	31,2 a	19,8	1.300,8 a	49,2	15,7 a	49,0	28,5 a	69,9
CU1997	SN	33,1 a	19,4	981,6 a	40,7	17,3 a	51,0	36,0 a	76,7
	CN	34,6 a	20,6	1.177,5 a	44,3	17,7 a	53,8	34,0 a	78,4
CX2178	SN	31,4 a	19,7	938,9 b	37,9	16,8 a	62,8	36,9 a	87,1
	CN	32,9 a	22,0	1.232,5 a	57,5	16,5 a	43,6	36,3 a	75,1

SN: sin N; CN: con N; C.V.: Coeficiente de variación. Letras distintas entre tratamientos de N indican diferencia significativa (D.M.S. 5%).

Tabla 5. Promedios del peso seco de la raíz (PSR), del tallo (PST), de las ramas (PSRM), de las hojas (PSH) y de la planta (PSP) de cuatro progenies que componen la Variedad Castillo® El Rosario a los 150, 210 y 270 días después de la siembra (d.d.s.), con y sin aplicación de N.

Progenie	d.d.s.	Tratamiento de N		PSR (g)		PST (g)		PSRM (g)		PSH (g)		PSP (g)	
		Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)
150	SN	1,78 a	41,8	1,41 a	43,7	0,42 a	64,6	4,86 a	39,9	8,47 a	39,3		
	CN	2,15 a	30,8	1,72 a	22,3	0,37 a	61,0	5,73 a	19,3	9,97 a	22,4		
BH1247	210	3,38 a	44,8	2,40 a	52,7	0,47 a	71,4	6,86 a	45,0	13,11 a	46,4		
	CN	3,38 a	17,3	2,50 a	16,0	0,57 a	42,2	7,62 a	19,7	14,07 a	17,5		
270	SN	6,21 a	31,9	4,09 a	31,3	1,24 a	46,8	11,07 a	27,3	22,61 a	21,6		
	CN	4,59 a	47,1	4,26 a	30,9	1,58 a	39,6	13,48 a	31,9	23,91 a	32,1		
150	SN	2,02 a	49,7	1,55 a	46,3	0,31 a	20,1	4,90 a	35,1	8,78 a	38,4		
	CN	2,04 a	36,4	1,87 a	44,7	0,42 a	59,3	5,78 a	31,2	10,11 a	34,3		
CU1778	210	3,90 a	33,3	2,76 a	35,4	0,47 a	62,8	7,18 a	30,4	14,31 a	31,9		
	CN	3,45 a	28,8	3,00 a	44,2	0,71 a	43,6	8,92 a	30,2	16,08 a	32,2		
270	SN	6,06 a	26,9	4,41 a	31,4	1,32 a	50,0	11,63 b	29,8	23,42 a	19,2		
	CN	5,53 a	30,1	5,06 a	34,0	1,69 a	53,5	15,05 a	26,7	27,33 a	28,9		
150	SN	2,22 a	29,9	1,77 a	22,5	0,28 a	75,0	5,37 a	11,6	9,64 a	16,9		
	CN	1,95 a	19,5	1,84 a	23,7	0,26 a	34,4	5,66 a	14,9	9,71 a	16,4		
CU1997	210	3,60 a	34,6	2,83 a	34,0	0,37 a	72,8	6,86 b	25,1	13,66 a	29,7		
	CN	3,88 a	38,0	3,32 a	39,4	0,64 a	74,4	9,11 a	38,2	16,95 a	36,7		
270	SN	6,34 a	31,7	5,16 a	33,7	1,10 a	46,2	11,09 b	30,3	23,69 a	30,4		
	CN	5,13 a	27,3	5,19 a	25,1	1,27 a	49,6	13,95 a	25,9	25,54 a	25,7		
150	SN	2,18 a	43,5	1,54 a	37,4	0,70 a	-----	5,11 a	29,6	9,53 a	33,4		
	CN	2,35 a	26,9	1,62 a	35,1	0,30 a	33,3	5,55 a	21,1	9,82 a	21,7		
CX2178	210	4,00 a	30,9	2,86 a	30,0	0,42 a	43,8	7,64 a	21,2	14,92 a	24,1		
	CN	3,51 a	17,5	2,97 a	28,0	0,63 a	53,2	8,86 a	26,7	15,97 a	24,0		
270	SN	6,23 a	44,2	4,77 a	29,7	1,10 a	42,5	10,69 b	20,9	22,79 a	24,7		
	CN	5,71 a	38,8	5,15 a	38,8	1,75 a	64,5	14,87 a	38,0	27,48 a	35,5		

SN: sin N; CN: con N; C.V.: Coeficiente de variación. Letras distintas entre tratamientos de N indican diferencia significativa (D.M.S. 5%).

Tabla 6. Promedios del peso seco de la raíz (PSR), del tallo (PST), de las ramas (PSRM), de las hojas (PSH) y de la planta (PSP), de cuatro progenies que componen la Variedad Castillo® El Rosario, con y sin aplicación de N.

Progenie	Tratamiento de N	PSR (g)		PST (g)		PSRM (g)		PSH (g)		PSP (g)	
		Promedio	C.V. (%)								
BHI247	SN	3,80 a	62,3	2,63 a	58,8	0,77 a	75,3	7,60 a	49,1	14,80 a	52,4
	CN	3,37 a	49,3	2,83 a	47,4	0,89 a	76,4	8,95 a	47,5	16,04 a	15,9
CUI778	SN	4,00 a	53,2	2,91 a	54,2	0,82 a	79,3	7,91 b	47,7	15,64 a	48,0
	CN	3,68 a	50,6	3,31 a	56,5	1,07 a	76,0	9,92 a	49,0	17,98 a	52,1
CUI997	SN	4,06 a	54,6	3,25 a	56,3	0,67 a	79,5	7,77 b	42,0	15,75 a	49,3
	CN	3,65 a	48,1	3,45 a	50,8	0,84 a	75,4	9,57 a	46,8	17,51 a	48,4
CX2178	SN	4,15 a	59,0	3,06 a	54,5	0,76 a	63,6	7,81 b	37,3	15,78 a	45,6
	CN	3,86 a	50,4	3,24 a	59,7	1,10 a	89,3	9,76 a	53,8	17,96 a	54,3

SN: sin N; CN: con N; C.V.: Coeficiente de variación. Letras distintas entre tratamientos de N indican diferencia significativa (D.M.S. 5%).

Para las progenies CU1778 y CX2178 se observó consistencia en su respuesta a los tratamientos de N, en el sentido que las plantas con aplicación de N, las cuales presentaron mayor PSH, fueron a su vez las de mayor AF (Tablas 4 y 6).

En cuanto a la distribución del peso seco se observó, para las progenies CU1778, CU1997 y CX2178, que en promedio, las plantas SN, a diferencia de aquellas CN, acumularon una mayor proporción de peso seco en la raíz y una menor en las hojas, en tanto que la proporción acumulada en el tallo y las ramas no presentó diferencias entre tratamientos para las progenies (Tabla 7).

Contenido de N. A excepción del contenido de N de la raíz (CNR), los contenidos de este elemento en el tallo (CNT), las ramas (CNRM), las hojas (CNH) y la planta (CNP) fueron afectados de manera significativa por los tratamientos de N, donde independientemente de la progenie y los días después de la siembra, el valor promedio fue mayor bajo el tratamiento CN (Tabla 8). Se

destaca que la progenie BH1247 fue la que presentó menor variabilidad en la respuesta a los tratamientos, ya que a diferencia de las otras progenies, sus variaciones en el CNRM, CNH y CNP fueron significativas sólo a los 270 d.d.s. (Tabla 8).

Los valores promedio de CNT, CNH y CNP de los tres muestreos (Tabla 9) indican que, independientemente de la progenie, el contenido de N de estos órganos fue mayor en las plantas del tratamiento CN; en tanto que el CNRM, a excepción de la progenie BH1247, fue mayor en las plantas del tratamiento CN. No hubo efecto significativo de los tratamientos de N sobre el CNR de las progenies (Tabla 9).

La distribución del N en los órganos de la planta fue consistente con la del peso seco, al menos para las progenies CU1778 y CU1997 (Tablas 7 y 10). Se observó que las plantas SN, a diferencia de las plantas CN, acumularon del N total, más N en la raíz que en el follaje.

Tabla 7. Proporciones del peso seco total de la planta acumulado en la raíz (PSR), el tallo (PST), las ramas (PSRM) y las hojas (PSH) para cuatro progenies que componen la Variedad Castillo® El Rosario, con y sin la aplicación de N.

Progenie	Tratamiento de N	PSR (%)	PST (%)	PSRM (%)	PSH (%)
BH1247	SN	25,3 a	17,6 a	4,1 a	53,7 a
	CN	21,5 b	17,9 a	4,7 a	56,4 a
CU1778	SN	25,6 a	18,4 a	4,1 a	52,8 b
	CN	21,0 b	18,1 a	4,8 a	57,0 a
CU1997	SN	25,3 a	20,3 a	3,3 a	51,8 b
	CN	21,5 b	19,6 a	3,7 a	56,0 a
CX2178	SN	25,8 a	18,9 a	3,7 a	52,6 b
	CN	22,7 b	18,0 a	4,6 a	55,9 a

SN: sin N; CN: con N. Letras distintas entre tratamientos de N indican diferencia significativa (D.M.S. 5%).

Tabla 8. Promedios del contenido de N de la raíz (CNR), del tallo (CNT), de las ramas (CNRM), de las hojas (CNH) y de la planta (CNP), a los 150, 210 y 270 días después de la siembra (d.d.s.), de cuatro progenies que componen la Variedad Castillo® El Rosario, con y sin aplicación de N.

Progenie	d.d.s.	Tratamiento de N		CNR (g)		CNT (g)		CNRM (g)		CNH (g)		CNP (g)	
		Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)
150	SN	0,034 a	41,5	0,020 a	43,4	0,008 a	72,3	0,151 a	41,1	0,213 a	39,3		
	CN	0,042 a	29,9	0,025 a	18,1	0,007 a	56,6	0,182 a	21,4	0,256	21,1		
210	SN	0,064 a	50,3	0,030 a	48,6	0,009 a	68,7	0,208 a	42,1	0,311 a	44,1		
	CN	0,077 a	20,1	0,038 a	21,2	0,011 a	43,2	0,260 a	24,3	0,386 a	21,4		
270	SN	0,100 a	32,8	0,040 a	27,5	0,018 b	37,5	0,307 b	36,2	0,465 b	26,1		
	CN	0,098 a	49,8	0,050 a	34,1	0,031 a	38,3	0,493 a	29,5	0,672 a	29,7		
150	SN	0,036 a	48,3	0,021 a	41,1	0,005 a	25,2	0,151 a	33,8	0,213 a	33,5		
	CN	0,041 a	34,1	0,028 a	43,3	0,007 a	45,5	0,189 a	29,4	0,265 a	30,6		
210	SN	0,070 a	31,7	0,033 a	32,4	0,008 b	59,0	0,197 b	27,6	0,308 b	28,3		
	CN	0,074 a	28,6	0,040 a	47,1	0,013 a	38,2	0,283 a	27,3	0,410 a	28,6		
270	SN	0,102 a	23,3	0,045 b	27,3	0,021 b	53,0	0,342 b	42,9	0,510 b	31,8		
	CN	0,124 a	28,2	0,063 a	32,1	0,036 a	51,4	0,547 a	24,8	0,770 a	25,3		
150	SN	0,047 a	25,4	0,024 a	17,4	0,004 a	109,3	0,170 b	9,8	0,245 a	10,9		
	CN	0,041 a	19,8	0,028 a	25,5	0,006 a	32,4	0,193 a	15,2	0,268 a	15,5		
210	SN	0,070 a	39,5	0,038 a	39,9	0,007 b	68,7	0,204 b	24,6	0,319 b	28,8		
	CN	0,087 a	38,3	0,045 a	36,9	0,014 a	67,3	0,302 a	35,9	0,448 a	35,0		
270	SN	0,109 a	30,5	0,052 b	28,1	0,017 b	53,7	0,322 b	39,9	0,500 b	33,9		
	CN	0,122 a	31,7	0,077 a	45,1	0,029 a	48,7	0,515 a	25,6	0,743 a	26,6		
150	SN	0,043 a	51,7	0,022 a	32,3	0,014 a	-----	0,155 a	26,8	0,234 a	30,4		
	CN	0,045 a	29,4	0,024 a	35,1	0,008 a	51,8	0,172 a	20,6	0,249 a	20,2		
210	SN	0,069 a	32,4	0,030 b	28,7	0,008 b	40,9	0,214 b	19,8	0,321 b	20,4		
	CN	0,077 a	21,0	0,043 a	32,9	0,013 a	47,7	0,283 a	19,9	0,416 a	18,7		
270	SN	0,108 a	35,4	0,043 b	30,4	0,016 b	42,0	0,286 b	26,4	0,453 b	19,3		
	CN	0,127 a	39,5	0,062 a	33,7	0,033 a	58,1	0,529 a	32,8	0,751 a	30,3		

SN: sin N; CN: con N; C.V.: Coeficiente de variación. Letras distintas entre tratamientos de N indican diferencia significativa (D.M.S. 5%).

Tabla 9. Promedios del contenido de N de la raíz (CNR), del tallo (CNT) de las ramas (CNRM) de las hojas (CNH) y de la planta (CNP), de cuatro progenies que componen la Variedad Castillo® El Rosario, con y sin aplicación de N.

Progenie	Tratamiento de N	CNR (g)		CNT (g)		CNRM (g)		CNH (g)		CNP (g)	
		Promedio	C.V. (%)								
BH1247	SN	0,065 a	58,7	0,030 b	46,9	0,012 a	61,6	0,222 b	48,9	0,329 b	47,4
	CN	0,070 a	52,0	0,038 a	40,5	0,018 a	76,9	0,311 a	52,1	0,437 a	49,6
CU1778	SN	0,070 a	49,2	0,031 b	53,7	0,012 b	78,6	0,230 b	53,9	0,343 b	49,1
	CN	0,078 a	53,0	0,043 a	51,5	0,021 a	79,5	0,338 a	52,9	0,480 a	53,2
CU1997	SN	0,074 a	48,2	0,038 b	43,8	0,011 b	80,4	0,231 b	44,1	0,354 b	43,8
	CN	0,081 a	53,3	0,050 a	60,2	0,018 a	74,0	0,335 a	49,5	0,484 a	50,7
CX2178	SN	0,072 a	53,1	0,031 b	41,3	0,011 b	54,1	0,217 b	35,1	0,331 b	36,4
	CN	0,081 a	55,1	0,043 a	50,3	0,020 a	79,3	0,326 a	56,1	0,470 a	54,1

SN: sin N; CN: con N. Letras distintas entre tratamientos de N indican diferencia significativa (D.M.S. 5%).

Tabla 10. Proporción (%) del N total de la planta acumulado en la raíz (NRZ), el tallo (NT), las ramas (NRM) y las hojas (NH) de cuatro progenies que componen la Variedad Castillo® El Rosario, con y sin la aplicación de N.

Progenie	Tratamiento de N	NR (%)	NT (%)	NRM (%)	NH (%)
BH1247	SN	19,8 a	9,5 a	3,1 a	68,2 a
	CN	17,0 b	9,2 a	3,4 a	70,7 a
CU1778	SN	20,5 a	9,9 a	3,1 a	67,1 b
	CN	17,8 b	9,2 a	3,6 a	71,2 a
CU1997	SN	20,9 a	10,9 a	2,5 a	66,3 b
	CN	17,3 b	10,3 a	3,0 a	70,1 a
CX2178	SN	21,5 a	9,5 a	2,9 a	66,9 a
	CN	18,1 b	9,6 a	3,6 a	69,7 a

SN: sin N; CN: con N. Letras distintas entre tratamientos de N indican diferencia significativa (D.M.S. 5%).

Eficiencia en la absorción del N (EABN), eficiencia en la utilización del N (EUTN) y eficiencia en el uso del N (EUN). Para todas las progenies, independientemente de su edad, se observó una relación inversa entre el aporte exógeno de N y la EABN y la EUN, al igual que entre el aporte exógeno y la EUTN, pero sólo a los 210 y 270 d.d.s. (Tabla 11).

Teniendo en cuenta que la EUTN se calculó a partir de la relación PSP/CNP, los resultados muestran que la mayor EUTN bajo el tratamiento SN no estuvo relacionada con el PSP, debido a que éste no presentó diferencias entre los tratamientos de N (Tablas 5 y 11). Sin embargo, la mayor EUTN de las progenies CU1778, CU1997 y CX2178, a los 210 y 270 d.d.s., y de la progenie BH1247 a los 270 d.d.s., bajo el tratamiento SN, estuvo asociada de manera inversa con el CNP (Tablas 8 y 11).

Los valores promedio de los tres muestreos indican que los tratamientos de N tuvieron efecto significativo sobre la EABN, EUTN y EUN de todas las progenies, confirmandose una relación inversa entre las relaciones de eficiencia y el aporte exógeno de este nutriente (Tabla 12).

Variaciones entre progenies

Crecimiento de la planta. A excepción del área foliar (AF), la longitud del tallo (LT), el volumen de la raíz (VR) y la longitud de la raíz (LR), presentaron diferencias significativas (Tabla 13). Particularmente, a los 150 d.d.s. en el tratamiento SN se registraron diferencias en la LT y LR de las progenies BH1247 y CU1997, y a los 270 d.d.s. en la LT de las progenies BH1247 y CU1997 y CU1778 y CU1997. Bajo el tratamiento CN, a los 150 d.d.s., se observaron diferencias en la LR de las progenies BH1247 y CX2178, a los 210 d.d.s. en la LT de las progenies BH1247 y CU1997 y, a los 270 d.d.s. en la LT de las progenies BH1247 y CU1997, CU1778 y CU1997 y BH1247 y CX2178. Además, a los 270 d.d.s. se encontró que el VR de la progenie CU1997 fue mayor con respecto al valor registrado en la progenie BH1247.

Según los valores promedio de los tres muestreos (Tabla 14), se puede indicar que la LT fue la única variable de crecimiento que presentó diferencias entre progenies. Bajo el tratamiento SN se observó que la LT de la progenie CU1997 fue mayor a la de las progenies BH1247 y CU1778.

Tabla 11. Promedios de la eficiencia en la absorción del N (EABN), eficiencia en la utilización del N (EUTN) y eficiencia en el uso del N (EUN) a los 150, 210 y 270 días después de la siembra (d.d.s.) de plantas de cuatro progenies que componen la Variedad Castillo® El Rosario, con y sin la aplicación de N.

Progenie	d.d.s.	Tratamiento de N	EAB (g NP / g NS)		EUTN (g PSP / NP)		EUN (g PSP / g NS)	
			Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)
BH1247	150	SN	3,48 a	39,3	39,61 a	5,7	137,50 a	39,3
		CN	1,15 b	21,1	38,80 a	6,2	044,80 b	22,4
	210	SN	3,46 a	44,1	41,61 a	8,0	145,74 a	46,4
		CN	0,82 b	21,2	36,81 b	7,0	029,93 b	17,6
	270	SN	3,88 a	26,1	49,70 a	18,5	188,37 a	21,6
		CN	0,43 b	29,5	35,34 b	5,9	015,42 b	32,1
CU1778	150	SN	3,49 a	33,6	40,29 a	11,6	142,72 a	38,4
		CN	1,18 b	30,7	37,50 a	6,4	044,77 b	34,3
	210	SN	3,42 a	28,3	45,88 a	11,0	159,02 a	31,9
		CN	0,87 b	28,5	38,92 b	6,7	034,21 b	34,2
	270	SN	4,25 a	31,7	48,72 a	27,8	195,15 a	19,2
		CN	0,50 b	25,0	35,24 b	6,9	017,63 b	28,9
CU1997	150	SN	4,03 a	10,9	38,97 a	10,8	157,38 a	16,9
		CN	1,20 b	15,5	36,23 a	6,4	043,43 b	43,4
	210	SN	3,55 a	28,7	42,74 a	8,8	151,75 a	29,9
		CN	0,95 b	34,9	37,73 b	7,1	036,06 b	36,7
	270	SN	4,17 a	33,9	48,32 a	18,2	197,41 a	16,7
		CN	0,48 b	26,5	34,67 b	6,4	016,48 b	25,7
CX2178	150	SN	3,67 a	30,4	40,03 a	5,8	148,08 a	33,4
		CN	1,11 b	20,2	39,39 a	6,3	043,59 b	21,7
	210	SN	3,56 a	20,4	46,28 a	10,1	165,79 a	24,1
		CN	0,89 b	18,9	38,12 b	9,3	033,99 b	24,0
	270	SN	3,78 a	19,4	51,02 a	22,9	189,98 a	24,7
		CN	0,48 b	30,3	36,24 b	10,9	017,73 b	35,5

SN: sin N; CN: con N; C.V.: Coeficiente de variación. NP: N total de la planta; NS: N del suelo; PSP: peso seco total de la planta. Letras distintas entre tratamientos de N indican diferencia significativa (D.M.S. 5%).

Tabla 12. Promedios de la eficiencia en la absorción del N (EABN), eficiencia en la utilización del N (EUTN) y eficiencia en el uso del N (EUN) de plantas de cuatro progenies componentes la Variedad Castillo® El Rosario, con y sin la aplicación de N.

Progenie	Tratamiento de N	EABN (g NP / g NS)		EUTN (g PSP / g NP)		EUN (g PSP / g NS)	
		Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)
BH1247	SN	3,61 a	36,0	43,6 a	16,4	157,2 a	37,1
	CN	0,80 b	43,5	37,0 b	7,3	30,1 b	46,6
CU1778	SN	3,72 a	32,3	45,0 a	20,5	165,6 a	31,4
	CN	0,85 b	45,1	32,2 b	49,0	47,0 b	10,1
CU1997	SN	3,91 a	26,7	43,3 a	16,3	168,8 a	29,2
	CN	0,88 b	43,1	36,2 b	7,3	32,0 b	45,3
CX2178	SN	3,67 a	23,4	45,8 a	18,6	168,0 a	28,4
	CN	0,83 b	38,2	37,9 b	9,3	31,8 b	42,1

SN: sin N; CN: con N; C.V.: Coeficiente de variación. NP: N total de la planta; NS: N del suelo; PSP: peso seco total de la planta. Letras distintas entre tratamientos de N indican diferencia significativa (D.M.S. 5%).

Tabla 13. Promedios de la longitud del tallo (LT), el área foliar (AF), el volumen de la raíz (VR) y la longitud de la raíz (LR), a los 150, 210 y 270 días después de la siembra (d.d.s.) de plantas de cuatro progenies componentes de la Variedad Castillo® El Rosario, con y sin la aplicación de N.

Tratamiento de N	d.d.s.	Progenie	LT (cm)		AF (cm ²)		VR (cm ³)		LR (m)	
			Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)
SN	150	BH1247	23,8 b	17,6	670,9 a	43,8	7,8 a	39,6	6,6 b	62,6
		CU1778	24,3 ab	20,5	681,2 a	32,7	8,8 a	43,3	8,5 ab	51,1
		CU1997	28,2 a	10,7	797,2 a	18,0	10,5 a	22,3	11,1 a	34,9
		CX2178	25,4 ab	15,4	697,4 a	24,5	9,3 a	34,7	10,1 ab	44,8
	210	BH1247	27,2 a	25,7	764,5 a	40,1	12,5 a	37,0	30,7 a	52,0
		CU1778	28,1 a	15,2	793,4 a	28,6	14,7 a	40,5	27,9 a	38,7
		CU1997	31,2 a	11,4	738,0 a	18,3	15,6 a	40,6	34,6 a	39,7
		CX2178	31,1 a	8,9	780,0 a	23,4	15,1 a	36,0	36,5 a	49,5
	270	BH1247	33,4 b	11,5	1.501,3 a	25,4	22,9 a	31,4	51,0 a	49,3
		CU1778	32,7 b	22,6	1.490,0 a	27,9	23,1 a	28,3	52,5 a	32,8
		CU1997	40,0 a	13,0	1.409,4 a	29,0	26,0 a	31,8	62,4 a	45,1
		CX2178	37,8 ab	10,1	1.339,2 a	20,3	26,0 a	48,2	64,2 a	57,2
CN	150	BH1247	27,0 a	10,2	774,9 a	21,1	9,1 a	19,5	7,8 b	36,7
		CU1778	26,0 a	13,4	824,3 a	31,7	9,4 a	24,0	9,6 ab	32,0
		CU1997	28,0 a	12,5	838,5 a	17,2	9,2 a	19,4	8,8 ab	27,2
		CX2178	26,0 a	13,2	733,7 a	20,2	10,7 a	24,7	11,2 a	29,8
	210	BH1247	29,2 b	9,3	895,5 a	21,1	13,7 a	18,3	29,9 a	33,5
		CU1778	29,8 ab	11,8	1.000,5 a	23,1	13,9 a	28,0	26,8 a	37,8
		CU1997	33,2 a	13,7	911,3 a	34,2	17,7 a	49,3	33,0 a	40,8
		CX2178	31,9 ab	11,6	911,0 a	32,1	14,9 a	26,1	33,6 a	29,8
	270	BH1247	36,5 c	10,9	1.988,7 a	24,8	18,5 b	31,9	44,4 a	46,5
		CU1778	37,9 bc	10,8	2.077,4 a	20,3	23,7 ab	30,4	49,0 a	35,1
		CU1997	42,5 a	7,5	1.782,8 a	21,4	26,1 a	28,0	60,1 a	41,8
		CX2178	40,8 ab	10,8	2.052,7 a	29,7	24,1 ab	26,7	64,2 a	41,7

SN: sin N; CN: con N; C.V.: Coeficiente de variación. Letras distintas entre progenies indican diferencia significativa (Tukey, 5%).

Tabla 14. Promedios de la longitud media del tallo (LT), el área foliar (AF), el volumen de la raíz (VR) y la longitud de la raíz (LR), de plantas de cuatro progenies que componen la Variedad Castillo® El Rosario, con y sin aplicación de N.

Tratamiento de N	Progenie	LT (cm)		AF (cm ²)		VR (cm ³)		LR (m)	
		Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)
SN	BH1247	28,1 b	23	978,9 a	50,5	14,4 a	56,8	29,4 a	84,8
	CU1778	28,3 b	23,1	988,2 a	47,2	15,5 a	51,7	29,7 a	73,0
	CU1997	33,1 a	19,4	981,6 a	40,7	17,3 a	51,0	36,0 a	76,7
	CX2178	31,4 ab	19,7	938,9 a	37,9	16,8 a	62,8	36,9 a	87,1
CN	BH1247	30,9 a	16,6	1.219,7 a	52,0	13,8 a	39,2	27,3 a	73,3
	CU1778	31,2 a	19,8	1.300,8 a	49,2	15,7 a	49,0	28,5 a	69,9
	CU1997	34,6 a	20,6	1.177,5 a	44,3	17,7 a	53,8	34,0 a	78,4
	CX2178	32,8 a	22	1.232,5 a	57,5	16,5 a	43,6	36,3 a	75,1

SN: sin N; CN: con N; C.V.: Coeficiente de variación. Letras distintas entre progenies indican diferencia significativa (Tukey, 5%).

Acumulación de peso seco. Los resultados de la Tabla 15 muestran que para los tres muestreos, bajo el mismo tratamiento de N, entre progenies no hubo diferencias en el peso seco de los órganos de la planta, ni en el peso seco de la planta.

Aunque a través del tiempo se registraron diferencias en el VR y la LR entre algunas progenies (Tabla 13), estas diferencias no asociaron con variaciones en el PSR (Tabla 15); igual consideración se puede hacer en cuanto a la LT, la cual pese haber presentado diferencias entre algunas progenies, no presentó diferencias en peso seco.

Durante el período evaluado, independientemente del tratamiento de N, no se registraron diferencias en el promedio del peso seco del mismo órgano de la planta ni en el promedio del peso seco de la planta entre progenies (Tabla 16).

Contrario a lo anterior, cuando se comparó entre progenies la proporción del peso seco

total acumulado en el mismo órgano de la planta, sí se presentaron diferencias (Tabla 17). Bajo el tratamiento SN se observó que la proporción acumulada en el tallo de la progenie CU1997 fue mayor a la de la progenie BH1247, mientras que bajo el tratamiento CN, la proporción acumulada en la progenie CU1997 fue mayor a la correspondiente de las progenies BH1247 y CX2178.

Contenido de N. A excepción del CNT, el CNR, CNRM, CNH y CNP no presentaron diferencias entre progenies (Tabla 18). Para el CNT, se observó bajo el tratamiento CN que el contenido de la progenie CU1997 fue mayor al de la progenie BH1247 a los 270 d.d.s.

En términos de promedio, bajo el mismo tratamiento de N, el contenido de N de los órganos de la planta y el contenido de N de la planta no presentaron diferencias entre progenies (Tabla 19).

Tabla 15. Promedios del peso seco de la raíz (PSR), del tallo (PST), de las ramas (PSRM), de las hojas (PSH) y de la planta (PSP), a los 150, 210 y 270 días después de la siembra (d.d.s.) de cuatro progenies que componen la Variedad Castillo® El Rosario, con y sin aplicación de N.

Tratamiento de N	d.d.s.	Progenie	PSR (g)		PST (g)		PSRM (g)		PSH (g)		PSP (g)	
			Promedio	C.V. (%)								
150		BH1247	1,78 a	41,8	1,41 a	43,7	0,42 a	64,6	4,86 a	39,9	8,25 a	39,3
		CU1778	2,02 a	49,7	1,55 a	46,3	0,31 a	20,1	4,90 a	35,1	8,56 a	38,4
		CU1997	2,22 a	29,9	1,77 a	22,5	0,28 a	75,0	5,37 a	11,6	9,44 a	16,9
		CX2178	2,18 a	43,5	1,54 a	37,4	0,70 a	-----	5,11 a	29,6	8,89 a	33,4
SN		BH1247	3,38 a	44,8	2,40 a	52,7	0,47 a	71,4	6,86 a	45,0	13,11 a	46,4
		CU1778	3,90 a	33,3	2,76 a	35,4	0,47 a	62,8	7,18 a	30,4	14,31 a	31,9
		CU1997	3,60 a	34,6	2,83 a	34,0	0,37 a	72,8	6,86 a	25,1	13,66 a	29,9
		CX2178	4,00 a	30,9	2,86 a	30,0	0,42 a	43,8	7,64 a	21,2	14,92 a	24,1
270		BH1247	6,21 a	31,9	4,09 a	31,3	1,24 a	46,8	11,07 a	27,3	22,61 a	21,6
		CU1778	6,06 a	26,9	4,41 a	31,4	1,32 a	50,0	11,63 a	29,8	23,42 a	19,2
		CU1997	6,34 a	31,7	5,16 a	33,7	1,10 a	46,2	11,09 a	30,3	23,69 a	30,4
		CX2178	6,23 a	44,2	4,77 a	29,7	1,10 a	42,5	10,69 a	20,9	22,79 a	24,7
150		BH1247	2,15 a	30,8	1,72 a	22,3	0,37 a	61,0	5,73 a	19,3	9,86 a	22,4
		CU1778	2,04 a	36,4	1,87 a	44,7	0,42 a	59,3	5,78 a	31,1	9,85 a	34,3
		CU1997	1,95 a	19,5	1,84 a	23,7	0,26 a	34,4	5,66 a	14,9	9,55 a	16,4
		CX2178	2,35 a	26,9	1,62 a	35,1	0,30 a	33,3	5,55 a	21,1	9,59 a	21,7
210		BH1247	3,38 a	17,3	2,50 a	16,0	0,57 a	42,2	7,62 a	19,7	14,07 a	17,5
		CU1778	3,45 a	28,8	3,00 a	44,2	0,71 a	43,6	8,92 a	30,2	16,08 a	32,2
		CU1997	3,88 a	38,0	3,32 a	39,4	0,64 a	74,4	9,11 a	38,2	16,95 a	36,7
		CX2178	3,51 a	17,5	2,97 a	28,0	0,63 a	53,2	8,86 a	26,7	15,97 a	24,0
270		BH1247	4,59 a	47,1	4,26 a	30,9	1,58 a	39,6	13,48 a	31,9	23,91 a	32,1
		CU1778	5,53 a	30,1	5,06 a	34,0	1,69 a	53,5	15,05 a	26,7	27,33 a	28,9
		CU1997	5,13 a	27,3	5,19 a	25,1	1,27 a	49,6	13,95 a	25,9	25,54 a	25,7
		CX2178	5,71 a	38,8	5,15 a	38,8	1,75 a	64,5	14,87 a	38,0	27,48 a	35,5

SN: sin N; CN: con N; C.V.: Coeficiente de variación. Letras distintas entre progenies indican diferencia significativa (Tukey, 5%).

Tabla 16. Promedios del peso seco de la raíz (PSR), el tallo (PST), las ramas (PSRM), las hojas (PSH) y la planta (PSP), de cuatro progenies que componen la Variedad Castillo® El Rosario, con y sin aplicación de N.

Tratamiento de N	Progenie	PSR (g)		PST (g)		PSRM (g)		PSH (g)		PSP (g)	
		Promedio	C.V. (%)								
SN	BH1247	3,80 a	62,3	2,63 a	58,8	0,77 a	75,3	7,60 a	49,1	14,80 a	52,4
	CU1778	4,00 a	53,2	2,91 a	54,2	0,82 a	79,3	7,91 a	47,7	15,64 a	48,0
	CU1997	4,06 a	54,6	3,25 a	56,3	0,67 a	79,5	7,77 a	42,0	15,75 a	49,3
	CX2178	4,15 a	59,0	3,06 a	54,5	0,76 a	63,6	7,81 a	37,3	15,78 a	45,6
CN	BH1247	3,37 a	49,3	2,83 a	47,4	0,89 a	76,4	8,95 a	47,5	16,04 a	47,6
	CU1778	3,68 a	50,6	3,31 a	56,5	1,07 a	76,0	9,92 a	49,0	17,98 a	52,1
	CU1997	3,65 a	48,1	3,45 a	50,8	0,84 a	75,4	9,58 a	46,8	17,52 a	48,4
	CX2178	3,86 a	50,4	3,24 a	59,7	1,10 a	89,3	9,76 a	53,8	17,96 a	54,3

SN: sin N; CN: con N; C.V.: Coeficiente de variación. Letras distintas entre progenies indican diferencia significativa (Tukey, 5%).

Tabla 17. Proporción (%) del peso seco total de la planta acumulado en la raíz (PSR), el tallo (PST), las ramas (PSRM) y las hojas (PSH) de cuatro progenies que componen la variedad Castillo® El Rosario cultivadas bajo el mismo tratamientos de N.

Tratamiento de N	Progenie	PSR (%)	PST (%)	PSRM (%)	PSH (%)
SN	BH1247	25,3 a	17,6 b	4,1 a	53,6 a
	CU1778	25,6 a	18,3 ab	4,1 a	52,8 a
	CU1997	25,3 a	20,3 a	3,3 a	51,8 a
	CX2178	25,8 a	18,9 ab	3,7 a	52,6 a
CN	BH1247	21,5 a	17,9 b	4,7 a	56,4 a
	CU1778	21,0 a	18,1 ab	4,8 a	57,0 a
	CU1997	21,5 a	19,6 a	3,7 a	56,0 a
	CX2178	22,7 a	18,0 b	4,6 a	55,9 a

SN: sin N; CN: con N; C.V.: Coeficiente de variación. Letras distintas entre progenies indican diferencia significativa (Tukey, 5%).

Con relación a la distribución del N, se observó que sólo la proporción del N total acumulado en el tallo presentó diferencias entre progenies. En particular, bajo el tratamiento SN, la proporción acumulada del N total en el tallo de las progenies CU1997 y CX2178 fue mayor a la de la progenie BH1247 (Tabla 20).

Eficiencia en la absorción del N (EABN), eficiencia en la utilización del N (EUTN) y eficiencia en el uso del N (EUN). Durante el período evaluado sólo se registraron diferencias en la EUTN (Tabla 21). Bajo el tratamiento SN, la EUTN de la progenie CX2178 fue mayor a la de la progenie BH1247 a los 210 d.d.s. En el tratamiento CN, la progenie BH1247 tuvo un valor mayor al de la progenie CU1997 y en ese mismo sentido la CX2178 presentó un valor de EUTN mayor al de la progenie CU1997, a los 150 d.d.s.

Los valores promedio de los tres muestreos (Tabla 22), indican que bajo ninguno de los tratamientos de N se presentaron diferencias en la EABN, EUTN y EUN entre progenies.

DISCUSIÓN

Variaciones entre tratamientos de nitrógeno (N). El N, aunque representa 0,5% a 3,5% del peso seco de la planta, éste hace parte esencial de moléculas orgánicas, componentes estructurales de las membranas y de enzimas que participan en la reducción fotosintética del CO₂. En conjunto con el agua, la luz y el CO₂, el N se constituye en un insumo utilizado por la planta para sintetizar azúcares a través de la fotosíntesis, los cuales luego se incorporan a rutas metabólicas para producir finalmente esqueletos de carbono, que son trasladados hacia los tejidos y órganos en crecimiento (8).

Además de la influencia del estado de desarrollo de la planta y de las características de su metabolismo, el uso de fotoasimilados, su distribución y producción de la planta, también se ven afectados por la disponibilidad de N; considerándose la constitución genética un factor determinante de esta interacción

Tabla 18. Promedios del contenido de N de la raíz (CNR), del tallo (CNT), de las ramas (CNRM), de las hojas (CNH) y de la planta (CNP), a los 150, 210 y 270 días después de la siembra (d.d.s.) de cuatro progenies que componen la Variedad Castillo® El Rosario, con y sin aplicación de N.

Tratamiento de N	d.d.s.	Progenie	CNR (g)		CNT (g)		CNRM (g)		CNH (g)		CNP (g)	
			Promedio	C.V. (%)								
150		BH1247	0,034 a	41,5	0,020 a	43,4	0,008 a	72,3	0,151 a	41,1	0,209 a	39,3
		CU1778	0,036 a	48,3	0,021 a	41,1	0,005 a	25,2	0,151 a	33,8	0,210 a	33,5
		CU1997	0,047 a	25,4	0,024 a	17,4	0,004 a	109,3	0,170 a	9,8	0,242 a	10,9
		CX2178	0,043 a	51,7	0,022 a	32,3	0,014 a	-----	0,155 a	26,8	0,220 a	30,4
SN		BH1247	0,064 a	50,3	0,030 a	48,6	0,009 a	68,7	0,208 a	42,1	0,311 a	44,1
		CU1778	0,070 a	31,7	0,033 a	32,4	0,008 a	59,0	0,197 a	27,6	0,308 a	28,3
		CU1997	0,070 a	39,5	0,038 a	39,9	0,007 a	68,7	0,204 a	24,6	0,319 a	28,8
		CX2178	0,069 a	32,4	0,030 a	28,7	0,008 a	40,9	0,214 a	19,8	0,321 a	20,4
270		BH1247	0,100 a	32,8	0,040 a	27,5	0,018 a	37,5	0,307 a	36,2	0,466 a	26,1
		CU1778	0,102 a	23,3	0,045 a	27,3	0,021 a	53,0	0,342 a	42,9	0,510 a	31,8
		CU1997	0,109 a	30,5	0,052 a	28,1	0,017 a	53,7	0,322 a	39,9	0,500 a	33,9
		CX2178	0,108 a	35,4	0,043 a	30,4	0,016 a	42,0	0,286 a	26,4	0,453 a	19,3
150		BH1247	0,042 a	29,9	0,025 a	18,1	0,007 a	56,6	0,182 a	21,4	0,254 a	21,1
		CU1778	0,041 a	34,1	0,028 a	43,3	0,007 a	45,5	0,189 a	29,4	0,260 a	30,6
		CU1997	0,041 a	19,8	0,028 a	25,5	0,006 a	32,4	0,193 a	15,2	0,264 a	15,5
		CX2178	0,045 a	29,4	0,024 a	35,1	0,008 a	51,8	0,172 a	20,6	0,243 a	20,2
CN		BH1247	0,077 a	20,1	0,038 a	21,2	0,011 a	43,2	0,260 a	24,3	0,386 a	21,4
		CU1778	0,074 a	28,6	0,040 a	47,1	0,013 a	38,2	0,283 a	27,3	0,410 a	28,6
		CU1997	0,087 a	38,3	0,045 a	36,9	0,014 a	67,3	0,302 a	35,9	0,448 a	35,0
		CX2178	0,077 a	21,0	0,043 a	32,9	0,013 a	47,7	0,283 a	19,9	0,416 a	18,7
270		BH1247	0,098 a	49,8	0,050 b	34,1	0,031 a	38,3	0,493 a	29,5	0,672 a	29,7
		CU1778	0,124 a	28,2	0,063 ab	32,1	0,036 a	51,4	0,547 a	24,8	0,770 a	25,3
		CU1997	0,122 a	31,7	0,077 a	45,1	0,029 a	48,6	0,515 a	25,6	0,743 a	26,6
		CX2178	0,127 a	39,5	0,062 ab	33,7	0,033 a	58,1	0,529 a	32,8	0,751 a	30,3

SN: sin N; CN: con N; C.V.: Coeficiente de variación. Letras distintas entre progenies indican diferencia significativa (Tukey, 5%).

Tabla 19. Promedios del contenido de N de la raíz (CNR), del tallo (CNT), de las ramas (CNRM), de las hojas (CNH) y de la planta (CNP) de cuatro progenies que componen la Variedad Castillo® El Rosario, con y sin aplicación de N.

Tratamiento de N	Progenie	CNR(g)		CNT (g)		CNRM (g)		CNH (g)		CNP (g)	
		Promedio	C.V. (%)								
SN	BH1247	0,066 a	58,7	0,030 a	46,9	0,012 a	61,6	0,222 a	48,9	0,330 a	47,4
	CU1778	0,070 a	49,2	0,033 a	43,7	0,013 a	78,6	0,230 a	53,9	0,346 a	49,1
	CU1997	0,075 a	48,2	0,038 a	43,8	0,011 a	80,4	0,232 a	44,1	0,356 a	43,8
	CX2178	0,073 a	53,1	0,032 a	41,3	0,012 a	54,1	0,218 a	35,1	0,335 a	36,4
CN	BH1247	0,072 a	52,0	0,038 a	40,5	0,018 a	76,9	0,312 a	52,1	0,440 a	49,6
	CU1778	0,080 a	53,0	0,044 a	51,5	0,022 a	79,5	0,339 a	52,9	0,485 a	53,2
	CU1997	0,083 a	53,3	0,050 a	60,2	0,019 a	74,0	0,336 a	49,5	0,488 a	50,7
	CX2178	0,083 a	55,1	0,043 a	50,3	0,022 a	79,3	0,328 a	56,1	0,476 a	54,1

SN: sin N, CN: con N, C.V.: Coeficiente de variación. Letras distintas entre progenies indican diferencia significativa (Tukey, 5%).

Tabla 20. Proporción (%) del N total de la planta acumulado en la raíz (NR), el tallo (NT), las ramas (NRM) y las hojas (NH) de cuatro progenies que componen la Variedad Castillo® El Rosario, con y sin aplicación de N.

Tratamiento de N	Progenie	NR (%)	NT (%)	NRM (%)	NH (%)
SN	BH1247	19,8 a	9,5 b	3,1 a	68,2 a
	CU1778	20,6 a	9,9 ab	3,1 a	67,1 a
	CU1997	21,0 a	10,9 a	2,5 a	66,3 a
	CX2178	21,5 a	9,5 a	2,9 a	66,9 a
CN	BH1247	17,0 a	9,2 a	3,4 a	70,7 a
	CU1778	17,8 a	9,2 a	3,6 a	71,2 a
	CU1997	17,3 a	10,3 a	3,0 a	70,1 a
	CX2178	18,1 a	9,6 a	3,6 a	69,7 a

SN: sin nitrógeno; CN: con Nitrógeno; C.V.: Coeficiente de variación. Letras distintas entre progenies indica diferencia significativa (Tukey, 5%).

Tabla 21. Promedios de la eficiencia en la absorción del N (EABN), eficiencia en la utilización del N (EUTN) y eficiencia en el uso del N (EUN) a los 150, 210 y 270 días después de la siembra (d.d.s.) de plantas de cuatro progenies que componen la Variedad Castillo® El Rosario, con y sin aplicación de N.

Tratamiento de N	d.d.s.	Progenie	EABN (g NP / g NS)		EUTN (g PSP / g NP)		EUN (g PSP / g NS)	
			Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)
SN	150	BH1247	3,48 a	39,3	39,61 a	5,7	137,50 a	39,3
		CU1778	3,49 a	33,6	40,29 a	11,6	142,72 a	38,4
		CU1997	4,03 a	10,9	38,97 a	10,8	157,38 a	26,6
		CX2178	3,67 a	30,4	40,03 a	5,8	148,08 a	33,4
	210	BH1247	3,46 a	44,1	41,61 b	8,0	145,74 a	46,4
		CU1778	3,42 a	28,3	45,88 ab	11,0	159,02 a	31,9
		CU1997	3,55 a	28,7	42,74 ab	8,8	151,75 a	29,9
		CX2178	3,56 a	20,4	46,28 a	10,1	165,79 a	24,1
	270	BH1247	3,88 a	26,1	49,70 a	18,5	188,37 a	21,6
		CU1778	4,25 a	31,7	48,72 a	27,8	195,15 a	19,2
		CU1997	4,17 a	33,9	48,32 a	18,2	197,41 a	30,4
		CX2178	3,78 a	19,4	51,02 a	22,9	189,98 a	24,7
CN	150	BH1247	1,15 a	21,1	38,80 a	6,2	44,80 a	22,4
		CU1778	1,18 a	30,7	37,50 ab	6,4	44,77 a	34,3
		CU1997	1,20 a	15,5	36,23 b	6,4	43,43 a	16,4
		CX2178	1,11 a	20,2	39,39 a	6,3	43,59 a	21,7
	210	BH1247	0,82 a	21,2	36,81 a	7,0	29,93 a	17,6
		CU1778	0,87 a	28,5	38,92 a	6,7	34,21 a	32,2
		CU1997	0,95 a	34,9	37,73 a	7,1	36,06 a	36,7
		CX2178	0,89 a	18,9	38,12 a	9,3	33,99 a	24,0
	270	BH1247	0,43 a	29,5	35,34 a	5,9	15,42 a	32,1
		CU1778	0,50 a	25,0	35,24 a	6,9	17,63 a	28,9
		CU1997	0,48 a	26,5	34,67 a	6,4	16,48 a	25,7
		CX2178	0,48 a	30,3	36,24 a	10,9	17,73 a	35,5

S.N.: sin nitrógeno; C.N.: con nitrógeno; C.V.: Coeficiente de variación. NP: N total de la planta; ND: N del suelo; PSP: peso seco total de la planta. Letras distintas entre progenies indican diferencia significativa (Tukey, 5%).

Tabla 22. Promedios de la eficiencia en la absorción del N (EABN) en la utilización del N (EUTN) y en el uso del N de plantas (EUN), de cuatro progenies que componen la Variedad Castillo® El Rosario, con y sin la aplicación de N.

Tratamiento de N	Progenie	EABN (g NP/ g NS)		EUTN (g PSP/ g NP)		EUN (g PSP/ g NS)	
		Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)	Promedio	C.V. (%)
SN	BH1247	3,61 a	36,0	43,6 a	16,4	157,2 a	37,1
	CU1778	3,72 a	32,3	45,0 a	20,5	165,3 a	31,4
	CU1997	3,91 a	26,7	43,3 a	16,3	168,8 a	29,2
	CX2178	3,67 a	23,4	45,8 a	18,6	168,0 a	28,4
CN	BH1247	0,80 a	43,5	37,0 a	7,3	30,1 a	46,6
	CU1778	0,85 a	45,1	37,2 a	7,7	32,2 a	49,0
	CU1997	0,88 a	43,1	36,2 a	7,3	32,0 a	45,3
	CX2178	0,83 a	38,2	37,9 a	9,3	31,8 a	42,1

SN: sin nitrógeno; CN: con nitrógeno; C.V.: Coeficiente de variación. NP: N total de la planta; ND: N del suelo; PSP: peso seco total de la planta. Letras distintas entre progenies indican diferencia significativa (Tukey, 5%).

(7).

En el contexto anterior, los resultados permiten afirmar que la variación en la disponibilidad de N afectó los procesos metabólicos responsables de la síntesis de los compuestos orgánicos que demanda el crecimiento de la planta, debido a que bajo las condiciones donde no se hizo aporte exógeno de N, fue menor la LT de las progenies BH1247 y CU1778 y el AF de las progenies CU1778 y CX2178. Se destaca que no todas las progenies presentaron la misma respuesta a los tratamientos de N, ya que en el caso del crecimiento de la progenie CU1997, no observaron diferencias entre tratamientos de N, lo que permite sugerir que esta progenie puede presentar ciertas diferencias genéticas que determinan variaciones en la respuesta al N, que posee diferencias en cuanto a la cantidad de N que requiere para su crecimiento o que difiere en su capacidad de adaptación a condiciones particulares de disponibilidad de N en el suelo.

Con relación a la distribución de la biomasa y el N, las plantas del tratamiento SN que fueron más eficientes en la absorción, utilización y uso del N que las del tratamiento

CN, distribuyeron de la biomasa y N total, una mayor proporción hacia la raíz y una menor hacia las hojas, resultado que demuestra que la planta modificó la distribución de asimilados (relación fuente - vertedero), en respuesta disponibilidad del N.

Los resultados muestran también, que más que la producción de biomasa, su distribución en la planta así como la absorción y distribución del N presentaron diferencias significativas entre tratamientos de N, y por lo tanto estas variables explicarían, en parte, las diferencias en la EABN, EUTN y EUN. Lo anterior se sustenta con lo afirmado por Fageria *et al.* (15), quienes indican que la distribución de la biomasa y del N son factores asociados con una mejor eficiencia en el uso de los nutrientes. Un factor adicional que explicaría las diferencias observadas, sería la cantidad de N removilizado desde los tejidos de almacenamiento, la cual según Anderson *et al.* (3) y Friedrich y Schrader (16), es importante para una mejor eficiencia en la utilización del N.

Desde otro punto de vista, la mayor EUN bajo el tratamiento SN puede ser el

resultado de una alta eficiencia metabólica del N, determinada por la actividad de la enzima nitrato reductasa, tal y como lo indican Tomaz *et al.* (36) en sus estudios realizados en café.

A pesar de que las investigaciones de la eficiencia en el uso del N en el cultivo de café son limitadas, debido a sus características de especie perenne, los resultados no difieren de los reportados para especies de ciclo de vida corto (semestrales), donde se concluye que la EUN es mayor en las plantas sin nitrógeno o con limitada disponibilidad de N (18, 25, 27), y además que, ésta disminuye al aumentar la cantidad de N aplicado (18).

Variación entre progenies. Aunque hubo diferencias en la EUTN entre progenies a los 150 y 210 d.d.s. bajo el tratamiento CN y SN, respectivamente, en promedio las variaciones de la EABN, la EUTN y la EUN entre progenies no fueron significativas. Sin embargo, la progenie BH1247, bajo ambos tratamientos de N, fue la menos eficiente particularmente en la absorción y uso del N. Una razón que explicaría lo anterior estaría relacionada con su menor volumen y promedio de longitud de la raíz, condición que pudo haber limitado su capacidad para explorar el suelo y absorber el N y otros nutrientes.

Manteniendo la consideración de que no hubo diferencias estadísticas, al menos bajo el tratamiento SN, se observó consistencia en los resultados en el sentido que la progenie CU1997, que fue la de mayor promedio de EABN y EUN, de igual forma fue la de mayor volumen de raíz y contenido de N, confirmándose su capacidad para absorber N al analizar los resultados bajo el tratamiento CN, donde esta progenie fue la de mayor contenido de N. Lo anterior se verifica si se tiene en cuenta lo indicado por Merrill *et al.* (23), quienes afirman que las plantas

con raíces extensas pueden explorar grandes volúmenes de suelo y absorber más nutrientes, condición que favorece un aumento en la eficiencia en su uso.

Una relación similar a la anterior reportan Ribeiro *et al.* (33) para cacao (*T. cacao* L.), donde los cultivares con mayor volumen de raíz fueron los que absorbieron más nitrógeno. Rosand y Mariano (34), reportan este mismo tipo de relación para la absorción del fósforo en plántulas de cacao. Caradus y Snaydon (9), afirman que las diferencias en la absorción de fósforo entre cultivares de clavel blanco (*T. repense* L.), se relacionaron a su vez con diferencias en el tamaño de la raíz, en tanto que Fageria *et al.* (15) reportan variaciones en la longitud de la raíz entre genotipos de fríjol (*P. vulgaris* L.) cultivados a bajo y alto nivel de potasio. Los resultados obtenidos son consistentes con lo antes mencionado, si se tiene en cuenta que las plantas de la progenie CU1997, cuyo volumen de la raíz fue 1,20 y 1,28 veces mayor al de las plantas de la progenie BH1247 bajo el tratamiento SN y CN, respectivamente, al mismo tiempo fueron las de mayor contenido de N.

A partir de la comparación de la EABN y la EUTN entre progenies se puede indicar que el hecho que un genotipo sea más eficiente en la absorción del N no implica que éste sea más eficiente en la utilización del N. Lo anterior se confirma si se tiene en cuenta que la progenie CU1997, que fue la que absorbió mayor cantidad de N por unidad de N del suelo, bajo los dos tratamientos, fue la que produjo menor cantidad de biomasa por unidad de N absorbido.

Cabe anotar que aunque las diferencias entre progenies no fueron significativas, la progenie CU1997, que durante su estado inicial de crecimiento fue la de mayor promedio de EABN en ambos tratamientos de N, bajo condiciones experimentales de

campo presenta, según Alvarado *et al.* (1), una productividad que supera a la de la variedad Colombia en un 33%. Lo anterior, se puede interpretar como un indicio de que la mayor productividad de dicha progenie estaría relacionada con su capacidad para absorber N del suelo. Una consideración similar se puede hacer en cuanto a la mayor productividad de la progenie CX2178 con respecto a la de la variedad Colombia (35,5%), pero en este caso se considera que su mayor productividad estaría asociada con una mayor capacidad para producir biomasa por unidad de N absorbido.

Con relación a los estudios de la eficiencia en el uso de los nutrientes en café, Reis y Martínez (31) han constatado mayor eficiencia en la absorción y translocación del fósforo y del zinc para el cultivar Catuai en relación al Conilon; mientras que para el N, estudios realizados por Pereira (28), en un esodosol en Brasil, indican que la adición de este nutriente tuvo un efecto negativo sobre la EUTN de las líneas UFV2237 de Catuai rojo y UFV2983 de Catimor, en tanto que sobre la línea UFV3880 de Catimor, tuvo un efecto positivo.

En el caso del estudio, los resultados son consistentes con lo reportado por Pereira (28), en el sentido que, independientemente de la progenie, la adición exógena de N tuvo un efecto negativo sobre la EUTN.

Un resultado a tener en cuenta con respecto a la EABN, se relaciona con la fuente donde la planta tomó el N. Si se considera que las principales formas de N asimiladas por las raíces son la nítrica (NO_3^-) y amoniacal (NH_4^+) y que éstas provienen de la mineralización de la materia orgánica y de los fertilizantes adicionados, se observó para el tratamiento SN, que la cantidad de

N del suelo, calculada a partir de la tasa de mineralización, no fue suficiente para satisfacer la demanda la planta (relación N de la planta / N del suelo > 1). Lo anterior, permite sugerir que, además de la materia orgánica del suelo como fuente de N, la planta pudo haber obtenido N a partir de asociaciones con bacterias diazotróficas (bacterias de vida libre con capacidad para reducir el N atmosférico), las cuales se ubican en la rizosfera o filosfera, o derivarlo del amoníaco atmosférico que se disuelve en las láminas de agua que cubren la epidermis de la hoja, principalmente, durante la formación del rocío. Este último aspecto se ha confirmado en estudios de discriminación isotópica del N ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$), donde se indica que, los cultivos pueden absorber cantidades significativas de amoníaco vía foliar (17, 19).

La consideración anterior, con respecto a la procedencia del N adicional tomado por las plantas bajo el tratamiento SN, se soporta con lo reportado por Jiménez *et al.* (21), quienes confirmaron el aislamiento de bacterias del género *Acetobacter*, a partir de la rizosfera y de los tejidos de diferentes cultivares de *C. arabica* L.

Finalmente, se puede indicar que, el objetivo del estudio de la EUN es identificar entre las poblaciones de plantas aquellos genotipos que combinen dos características: capacidad para absorber altas cantidades de N del suelo y de los fertilizantes y alcanzar un alto rendimiento de frutos por unidad de N absorbido. En este sentido y, aunque las diferencias entre progenies no fueron significativas bajo las dos condiciones de N, los resultados permitirían indicar que, de las progenies evaluadas, la CU1997 durante su crecimiento inicial bajo las condiciones del tratamiento SN, fue la que tuvo mayor capacidad para absorber N y producir biomasa

en función del N natural del suelo.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a los doctores Néstor M. Riaño H. y José F. Kogson Q., a la tecnóloga química Beatriz Mejía M. y a los auxiliares Mario Franco A., Faber de Los Ríos P. y Anderson Aguirre B.

LITERATURA CITADA

1. ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo El Rosario para regiones cafeteras de Antioquia, Risaralda y Caldas. Chinchiná: Cenicafé, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 340).
2. AMARAL, J.A.T.; RENA, A.B.; BARROS, R.S.; CORDEIRO, A.T.; ALVES, J.D. Periodicidade de crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e suas relacoes com fontes de Nitrogenio, fotossíntese e reductase do nitrato. p. 1-4. En: CONGRESSO brasileiro de pesquisas cafeeiras. (14:dezembro 01-04 1987 :Campinas). Rio de Janeiro:Ministério da Indústria e do Comércio-Instituto Brasileiro do Café, 1987. 320 p.
3. ANDERSON, E.L.; KAMPRARTH, E.J.; MOLL, R.H. Nitrogen fertility effects on accumulation remobilization and partitioning of N and dry matter in corn genotypes differing in prolificacy. *Agronomy Journal* 76:397-404. 1984.
4. BAILIAN, L.; MCKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. *Forest Science* 37(2):613-626. 1991.
5. BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K. Nutrient use efficiency in acid soils: Nutrient management and plant use efficiency. p. 75-95. En: MONEZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E.; FAGERIA, N.K.; ROSELEM, C.A.; CANTARELLA, H. Plant-soil interactions at low pH: Sustainable agriculture and forestry production. Campinas (Brazil):Brazilian Soil Science Society, 1997. 314 p.
6. BOHM, W. Methods of studying root systems. Berlin: Springer, 1979. 188 p.
7. BRAGANÇA, S.M.; PRIETO M., H.E.; GARCÍA, L.H.; PEREIRA, S.L.; SIGUEYUKI, S.C.; ÁLVAREZ, V.H.; LANI, J.A. Accumulation of macronutrients for Conilon coffee tree. *Journal of Plant Nutrition* 31:103-120. 2008.
8. BUCHANAN, B.B.; GRUISSSEN, W.; JONES, R.L. *Biochemistry and molecular biology of plants*. Maryland: American Society of Plant Physiologists, 2000. 1367 p.
9. CARADUS, J.R.; SNAYDON, R.W. Plants factors influencing phosphorus uptake by white clover from solution culture: Populations differences. *Plant Soil* 93:153-163. 1986.
10. CARRILLO P., I.; ESTRADA H., L.I. Reporte e interpretación de análisis de fertilidad de suelos: Manual del usuario RIAFS ver. 3.02. Chinchiná: Cenicafé, 1992. 41 p.
11. CARVALHO C., M.L.; FAHL, J.I.; COCHICHO R., J.D. Aspects of nitrogen metabolism in coffee plants. *Brazilian Journal Plant Physiology* 18:9-21. 2006.
12. CATANI, R.A.; MORAES, F.R.P. A composição química do cafeeiro. *Revista de Agricultura* 33:45-52. 1958.
13. CRUZA, A.E. DE LA. Algoritmo de procesamiento de imágenes para la determinación de la longitud de la raíz. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2007. (Comunicación personal).
14. DA MATTA, M.F.; AMARAL T., J.A.; RENA, B.A. Growth periodicity in trees of *Coffea arabica* L. in relation to nitrogen supply and nitrate reductase activity. *Field Crops Research* 60:223-229. 1999.
15. FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; LI, Y.C. The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty century. *Journal of Plant Nutrition* 31:1121-1157. 2008.
16. FRIEDRICH, J.W.; SCHRADER, L.E. N deprivation in maize during grain-filling:II. Re-mobilization of 15N and 35S and the relationship between N and S accumulation. *Agronomy Journal* 71:466-472. 1979.
17. HUTCHINSON, G.L.; MILLINGTON, R.J.; PETER, D.B. Atmospheric ammonia: Absorption by plant leaves. *Science* 175:771-772. 1972.
18. ISFAN, D. Genotypic variability for physiological efficiency index of nitrogen in oats. *Plant and Soil* 154:53-59. 1993.
19. JANZEN, H.H.; BRUINSMA, Y. Methodology for the quantification of root and rhizosphere nitrogen dynamics by exposure of shoots to 15N-labeled ammonia. *Soil Biology Biochemistry* 21:186-196.

- 1989.
20. JIANG, Z.; HULL, R.J. Interrelationships of nitrate uptake, nitrate reductase, and nitrogen use efficiency in selected Kentucky bluegrass cultivars. *Crops Science* 38:1623-1632. 1998.
 21. JIMÉNEZ S., T.; FUENTES R., L.E.; TAPIA H., A.; MASCARUA E., M.A.; MARTÍNEZ R., E.; CABALLERO M., J. *Coffea arabica* L., new host plant for *Acetobacter diazotrophicus*, and isolation of other nitrogen-fixing acetobacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 63:3676-3683. 1997.
 22. LEE H., J.; LEE, S.-H.; CHUNG J., H. Variation of nitrogen use efficiency and its relationships with growth characteristics in Korean rice cultivars. [En línea]. Brisbane:International Crop Science Congreso, 2004. Disponible en Internet: <http://www.cropscience.org.au/icsc2004/poster/2/5/1/971_lee.htm> Consultado en julio de 2009.
 23. MERRILL S., D.; TANAKA D., L.; HANSON J., D. Root length growth of eight crop species in Haplustoll soils. *Soil Science Society of America Journal* 66:913-923. 2002.
 24. MILLER, R.J.; SMITH, R.B. Nitrogen balance in the southern San Joaquin valley. *Journal Environmental Quality* 5:274-278. 1976.
 25. MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J.; JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal* 74:562-564. 1982.
 26. MORTVEDT, J.J.; MURPHY, L.S.; FOLLETO, R. H. Fertilizer technology and application. Ohio: Meister, 1999. 199 p.
 27. PEARMAN, I.; THOMAS, M.S.; THORNE, G.N. Effects of nitrogen fertilizer on growth and yield spring wheat. *Annals of Botany* 41:93-108. 1977.
 28. PEREIRA, J.B.D. Eficiência nutricional de nitrogênio e de potássio em plantas de café (*Coffea arabica* L.). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Facultad de ciencias agrarias, 1999. 99 p. Trabajo de grado: Doctor en Fitotecnia.
 29. PRASAD, R.; DATTA, S.K. DE. Increasing fertilizer nitrogen efficiency in wetland rice. p. 465-484. En: *Nitrogen and rice*. Los Baños (Philippines): IRR, 1979. 499 p.
 30. RAUN, W.R.; JOHNSON, G.V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal* 91:357- 363. 1999.
 31. REIS, R.A.; MARTÍNEZ, H.E.P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. *Scientia Agrícola*. 59(3):537-542. 2002.
 32. RIAÑO H., N.M.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; CHAVES C., B. Acumulación de material seca y extracción de nutrientes por *Coffea arabica* L cv. Colombia en tres localidades de la zona central cafetera. *Cenicafé* 55(4):265-276. 2004.
 33. RIBEIRO, M.A.Q.; SILVA, J.O. DA; AIKEN, W.M.; MACHADO, R.C.R.; BALIGAR, V.C. Nitrogen use efficiency in cacao genotypes. *Journal of Plant Nutrition* 31: 239-249. 2008.
 34. ROSAND, P.C.; MARIANO, A.H. Absorção diferencial de fosforo em cultivares de cacau. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 20(2):159-167. 1985.
 35. SALAMANCA J., A. Informe anual de labores 2006 2007. Chinchiná: Cenicafé, 2007.
 36. TOMAZ, M.A.; SAKIYAMA, N.S.; PRIETRO M., H.E.; DAMIÃO, C.C.; ZAMBOLIN, L.; ALVES P., A. Comparison of nutritional efficiency among hydroponic grafted young coffee trees for N, P and K. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 4:92:92-99. 2004.
 37. URIBE H., A.; MESTRE M.A. Efecto del nitrógeno y el potasio sobre la producción de café. *Cenicafé* 27(4):158-173. 1976.
 38. VALDES C., R.; VENTOD., H. Estudio del contenido de los principales productos de la fotosíntesis en plantas de *Coffea arabica* L. var. Caturra cultivadas bajo diferentes dosis de nitrógeno. *Cultivos Tropicales* 6(1):111-122. 1984.
 39. XINCHAO, W.; YAJUN, Y.; LIANG, C.; YUN, R. J. Preliminary study on physiological and biochemical indices related to nitrogen use efficiency in tea plant (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze). *Acta Agronomica Sinica* 31(7):926-931. 2005.