

EFICIENCIAS EN EL USO DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO EN CLONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)

Yina Puentes-Páramo¹, Juan Menjivar-Flores¹ y Fabio Aranzazu-Hernández²

RESUMEN

El manejo de la fertilización es un aspecto relevante para el desarrollo de los cultivos ya que un excesivo aporte de nutrientes, puede sobrepasar la capacidad de absorción de la planta y generar un riesgo ambiental, como también, pérdida económica para el agricultor. Por tanto, esta investigación tuvo como objetivo determinar la eficiencia en el uso de nutrientes (EUN) para nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en cuatro clones de cacao (TSH-565, ICS-39, ICS-95 y CCN-51), y su influencia en el rendimiento. El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en incrementos de NPK en 25 % (T1), 50 % (T2), 75 % (T3) y 100 % (T4) sobre el nivel de fertilidad natural del suelo (TR: control). Se detectaron diferencias ($P \leq 0,01$) en la eficiencia agronómica (EA) de N, P y K; la EA más alta fue para el clon CCN-51 en T1 mientras que para el resto de los clones la mayor EA ocurrió en el T2. Con el tratamiento T4 los cuatro clones tuvieron los menores valores. La mayor eficiencia de recuperación (ER) de nitrógeno y fósforo la presentó el clon CCN-51 en el T1, y los demás clones en el T2; sin embargo, la mayor ER de potasio se presentó en el T2 para todos los clones. Los mayores rendimientos se presentaron en el clon CCN-51 en el T1, y en el resto de los clones en el T2. En general, los menores rendimientos se presentaron para el TR y T4, lo que sugiere que el cultivo de cacao tiene un potencial de extracción de nutrientes que se traduce en buenos rendimientos, pero cuando se sobrepasa ese límite se provocaría un desbalance nutricional.

Palabras clave adicionales: Eficiencia de uso de nutrientes, fertilización, nutrición mineral

ABSTRACT

Nitrogen, phosphorus and potassium use efficiency in cocoa (*Theobroma cacao* L.)

The fertilizer management is an important aspect for the crop growth, and an excessive nutrient input may exceed the absorptive capacity of the plant and generate an environmental risk, as well as economic loss to the farmer. Therefore, this study aimed to determine the nutrient use efficiency (NUE) of nitrogen, phosphorus and potassium in four cocoa clones (TSH-565, ICS-39, ICS-95 and CCN-51), and its influence on yield. A randomized complete block design with five treatments and four replications were used. The treatments were NPK increases by 25 % (T1), 50 % (T2), 75 % (T3) and 100 % (T4) on the natural level of the soil fertility (TR: control). Differences in agronomic efficiency (AE) for N, P and K were detected ($P \leq 0.01$); the highest AE was for clone CCN-51 in T1, while for the rest of clones the highest AE took place in T2. With the treatment T4, the four clones had the lowest values. The highest recovery efficiency (RE) of nitrogen and phosphorus was shown by CCN-51 in T1, and by the other clones in T2; however, the highest RE of potassium occurred in T2 for all the clones. The highest yield was for CCN-51 in T1, and in T2 for clones ICS-39, ICS-95 and TSH 565. In general, lower yields were for TR and T4, suggesting that cocoa crop has an appropriate nutrient extraction resulting in good yields, but when the limit is exceeded a nutritional imbalance might occurred.

Additional key words: Nutrient use efficiency, fertilization, mineral nutrition

INTRODUCCIÓN

En Colombia, el cultivo de cacao se realiza en suelos con diferentes niveles de fertilidad, en los cuales las características químicas juegan un papel importante, siendo la base del equilibrio nutricional y de una productividad satisfactoria

(Sousa et al., 1999); no obstante, la producción no sólo depende de la fertilidad del suelo, sino de la interacción de varios factores ambientales y de cultivo.

Tradicionalmente, la principal meta de la investigación en el uso de los fertilizantes ha sido incrementar la productividad de los cultivos (Weih

Recibido: Octubre 2, 2013

Aceptado: Mayo 16, 2014

¹ Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Palmira, Valle del Cauca. e-mail: yjpuentes@unal.edu.co; jmenjivar@unal.edu.co. Colombia

² Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia (Fedecacao). Bucaramanga, Santander. e-mail: fabioaranzazu@fedecacao.co

et al., 2011). En tal sentido, Uribe et al. (1998) y más recientemente Mora et al. (2011) reportaron aumentos en la producción de cacao ante aplicaciones de diferentes tratamientos de fertilización.

Así, en esa búsqueda de incrementos en la producción, los agricultores usan mezclas de diferentes fertilizantes y en grandes cantidades; sin embargo, pocas veces se tiene en cuenta la eficiencia del uso de los nutrientes (EUN), definida como la biomasa total producida por la planta por unidad del nutriente absorbido (Gourley et al., 1994).

Las investigaciones en la EUN no son recientes, tienen diferentes aplicaciones y reflejan la preocupación por el uso eficiente que las plantas puedan hacer de los nutrientes (Doyle y Holford, 1993), pero es evidente que en la actualidad cobran interés por el costo de los fertilizantes y el impacto ambiental que éstos generan (Fageria et al., 2010; Weih et al., 2010; Fallah y Tadayyon, 2010). En el caso del cacao, la literatura reporta las investigaciones de Ribeiro et al. (2008) quienes evaluaron la eficiencia de uso del nitrógeno en diferentes clones de este cultivo.

Con el fin de orientar las investigaciones de fertilización en cacao, el objetivo del presente trabajo fue determinar la EUN en términos de la eficiencia de recuperación del fertilizante (ERF) y la eficiencia agronómica (EA) para NPK en cuatro clones de sabor y aroma del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el Centro de Investigación de la Federación Nacional de Cacaoteros, localizado en el municipio Miranda, Departamento del Cauca, Colombia, con altitud de 1120 msnm y coordenadas de 3°15' N y 76°15' W. La precipitación media anual es de 1379 mm y la oscilación media de temperatura media de 23-28 °C.

Se evaluaron cuatro clones de cacao de sabor y aroma, de cinco años de edad, ICS-95 y CCN-51 (autocompatibles) y ICS-39 y TSH-565 (autoincompatibles), establecidos a una densidad de 952 plantas por ha. El área efectiva del ensayo fue de 840 m² para un total de 80 plantas (20 de cada clon).

El muestreo de 20 muestras compuestas de suelo hasta 30 cm de profundidad a 1,5 m de las

plantas reveló que el mismo presenta una textura franco-limosa y densidad aparente de 1,2 Mg·m⁻³, es decir, características físicas adecuadas para la mayoría de los cultivos. En relación a las propiedades químicas, el pH es ligeramente ácido, con niveles de N, P y K que corresponden a 49,0; 23,5 y 146,5 kg·ha⁻¹, respectivamente.

El análisis del resto de los elementos químicos (datos no publicados) mostró que éstos se encontraban dentro de los rangos reportados como normales por Abreu (1996) y Sodré (2002).

Los tratamientos consistieron en la aplicación de diferentes niveles de NPK los cuales fueron determinados a partir de las concentraciones de estos elementos en el suelo sin fertilizar, valores que sirvieron como tratamientos de referencia o control (TR). Las dosis aplicadas de los productos aparecen en el Cuadro 1, donde se muestra que los tratamientos se correspondieron con incrementos sucesivos del 25, 50, 75 y 100 % de cada nutriente (NPK) sobre el TR.

Al inicio del experimento se eliminaron los frutos de más de 3 ó 4 meses de edad de los árboles de cacao para uniformizar la producción; posteriormente, se aplicaron las dosis de fertilizante, según los tratamientos y en forma fraccionada, suministrando 50 % en mayo y 50 % en septiembre del año 2010. Los resultados que se presentan corresponden al año cacaotero 2011-2012 que fue cuando se empezaron a evidenciar los cambios por efecto de los tratamientos.

El muestreo foliar se realizó siguiendo la metodología del INIAP (2006), consistente en tomar la cuarta hoja de ramas desarrolladas localizadas en la parte media del árbol, y se tomó un total de 25 hojas por muestra por tratamiento por clon. En ellas se determinó N (Kjeldhal), así como P (colorimetría) y K (absorción atómica) previa digestión con HCl 6M. Adicionalmente, se determinó el nivel de sodio mediante absorción atómica. De la misma forma se determinó el contenido de NPK en granos de cacao (almendras secas), para lo cual se tomaron siete mazorcas de cacao completamente maduras por árbol de cada tratamiento.

El rendimiento se determinó a partir del producto del número de mazorcas por árbol, el número de granos por mazorca, el índice de grano (IG) y la densidad de plantación; el IG se calculó con la fórmula propuesta por Allen (1987).

$$IG = \frac{\text{Peso total de granos por mazorca}}{\text{Número de granos por mazorca}} \times 0,38$$

La eficiencia agronómica (EA), la cual refiere al aumento en rendimiento de grano por cada unidad de nutriente aplicado, se determinó usando la siguiente fórmula (Ghulam et al., 1996):

$$EA = \frac{R(f) - R(t)}{NAF}$$

donde R(f) = rendimiento de grano del tratamiento evaluado; R(t) = rendimiento de grano del TR; NAF = cantidad del nutrimento aplicado con el fertilizante.

Se calculó la eficiencia de recuperación del fertilizante (ERF) por la almendra, lo cual refleja la habilidad de la planta para absorber el fertilizante

aplicado y asimilarlo hacia el fruto. Se utilizó el método de la diferencia (Baligar et al., 2001; López et al., 2002), según la siguiente fórmula:

$$ERF(\%) = \frac{CN(f) - CN(t)}{NA} \times 100$$

donde: CN(f) = cantidad del nutriente en la almendra, obtenida a partir de la concentración del nutriente y el peso seco de la almendra del tratamiento evaluado; CN(t) = cantidad del nutriente en la almendra del tratamiento testigo, y NA=cantidad de nutrimento aplicado con el fertilizante.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos, dosis y productos utilizados

| Tratamiento | Fertilizante aplicado por planta (g) | | | Niveles en el suelo (kg·ha ⁻¹) | | |
|-------------|--|--|---|--|-------------------------------|------------------|
| | Urea [CO(NH ₂) ₂] | Fosfato diamónico [(NH ₄) ₂ (HPO ₄)] | Nitrato de potasio [KNO ₃] | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| TR | 0 | 0 | 0 | 49 | 23,5 | 146,5 |
| T1 | 2,4 | 33,0 | 139,3 | 61 | 29,3 | 183,0 |
| T2 | 4,7 | 66,8 | 278,6 | 73 | 35,2 | 219,7 |
| T3 | 11,6 | 99,9 | 418,3 | 86 | 41,0 | 256,4 |
| T4 | 13,9 | 134,1 | 557,6 | 98 | 47,0 | 293,0 |

En la investigación se usó un diseño en bloques al azar, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo conformada por cuatro árboles.

Los resultados de la eficiencia agronómica fueron representados mediante análisis de regresión. También se comparó la EA con los niveles de sodio en las hojas. La eficiencia de recuperación de NPK y rendimiento de los clones fueron comparados mediante análisis de varianza y prueba de medias de Tukey utilizando el programa SPSS 20 (IBM, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Eficiencia agronómica de NPK en los diferentes clones. Las Figuras 1, 2 y 3 muestran la eficiencia agronómica (EA) de los clones a los diferentes niveles de NPK aplicados.

La mayor eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN) la presentó el clon CCN-51 en el T1 (16,28 kg·kg⁻¹), lo cual significa un incremento en el rendimiento de 16,28 kg de almendra por cada kilogramo de N aplicado; posteriormente el clon ICS-39 en el T2 (10,90 kg·kg⁻¹), seguido del ICS-95 en el T2 (9,04 kg·kg⁻¹), y por último el clon

TSH-565 también en el T2 (5,14 kg·kg⁻¹). Se destaca que la mayoría de los clones presentó la mayor EAN en el tratamiento T2, con excepción de CCN-51. Por su parte, los menores valores se presentaron para todos los clones en el T4, lo cual coincide con los resultados de Doyle y Holford (1993), y Fallah y Tadayyon (2010) quienes encontraron que el aumento en las dosis del fertilizante disminuyó significativamente la eficiencia de uso, absorción y utilización del nitrógeno.

Las notorias diferencias de la EAN entre el T2 y T3 observadas en esta investigación indican que el aumento en la aplicación de nutrientes a partir del T2 pudo provocar algún desbalance nutricional del cultivo motivado a cambios en la composición de la solución del suelo.

Ribeiro et al. (2008) señalan que los genotipos de cacao eficientes en la utilización de N son más deseables porque son más productivas a bajos niveles de este elemento en el suelo, y a su vez responden bien a la aplicación de N.

En relación a la eficiencia agronómica del fósforo (EAP), los resultados que se muestran en la Figura 2 indican que el clon CCN-51 presentó la mayor eficiencia (33,89 kg·kg⁻¹) en el

tratamiento T1; los otros tres clones presentaron su mayor eficiencia en el T2. Sin embargo, se destaca que estos clones fueron superados por el CCN-51 incluso en el tratamiento T2. Por otra parte, todos los clones evaluados presentaron la menor EAP en el T4, es decir, en el tratamiento con el mayor nivel aplicado de fertilizante. En general, los valores de EAP encontrados superaron a los que fueron reportados por Baligar et al. (2001).

La interacción clon \times tratamiento se evidenció

principalmente en el clon CCN-51, el cual superó en eficiencia a los otros clones en T1 y T2, pero fue superado por ellos en T3 y T4.

Los resultados muestran una mayor respuesta de la planta a la aplicación de este elemento, atribuido a que normalmente el fósforo presenta en el suelo niveles más bajos que N y K^+ . Es importante resaltar que en la eficiencia agronómica de este nutriente, juega un papel importante el desarrollo del sistema radical (Ahenkorah, 1975).

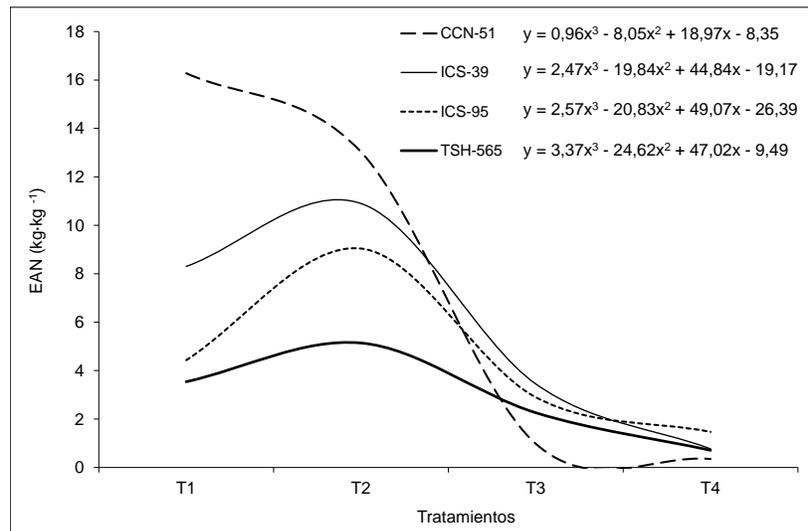


Figura 1. Eficiencia agronómica de nitrógeno en los clones de cacao CCN-51, ICS-39, ICS-95 y TSH-565

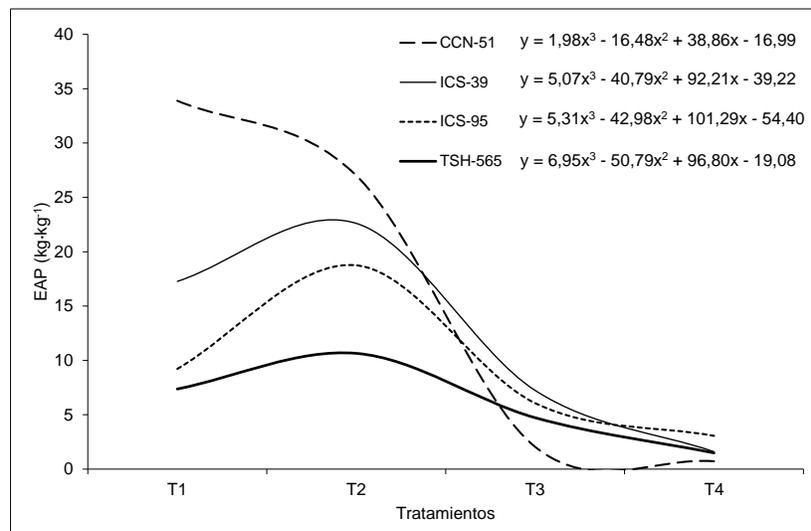


Figura 2. Eficiencia agronómica de fósforo en los clones de cacao CCN-51, ICS-39, ICS-95 y TSH-565

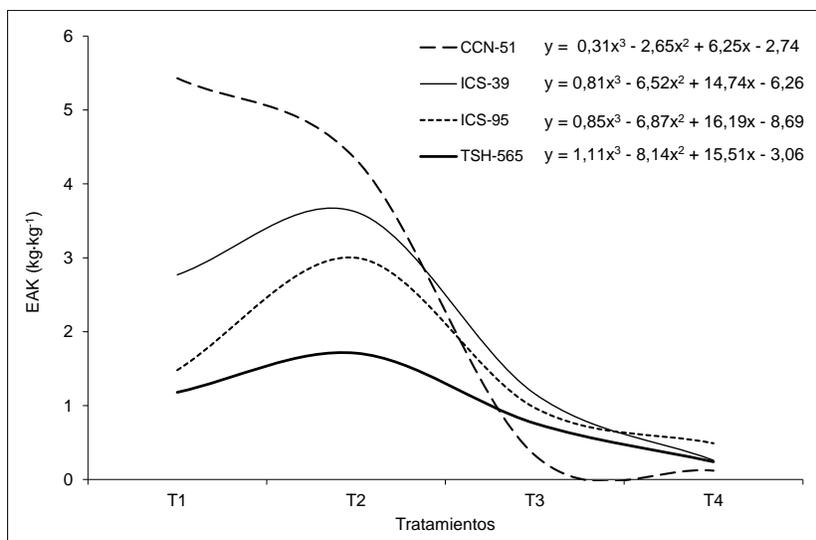


Figura 3. Eficiencia agronómica de potasio en los clones de cacao CCN-51, ICS-39, ICS-95 y TSH-565

En la Figura 3 se observa que la mayor EAK, la presentó CCN-51 en el tratamiento T1, con un incremento de 5,43 kg por cada un kg de potasio aplicado; en el T2 presentaron su mayor rendimiento los clones ICS-39 (3,62 kg·kg⁻¹), ICS-95 (3,00 kg·kg⁻¹) y TSH-565 (1,71 kg·kg⁻¹). Estos resultados coinciden con los reportados por Cabala et al. (1970), quienes sugieren que los árboles de cacao a temprana edad responden mejor a las aplicaciones de N y P, más que de K⁺.

Se detectó una tendencia al incremento en la EAK con el aumento en el contenido de sodio en las hojas (Figura 4), lo cual podría atribuirse al hecho de que este elemento puede reemplazar parcialmente al potasio en clones de cacao, situación que a su vez podría tener efectos en la fotosíntesis neta en la planta y en la tolerancia a los efectos adversos del estrés hídrico (Gattward et al., 2012).

Las diferencias en las eficiencias agronómicas de NPK para cada clon muestran la variabilidad de los mismos a los diferentes niveles nutricionales.

Eficiencia de recuperación de NPK en clones de cacao. De forma similar a lo observado con la EA, la eficiencia de recuperación de nitrógeno (ERN), fue mayor con el clon CCN-51 en el tratamiento T1, mientras que con los otros clones los mayores valores se presentaron en el T2. Asimismo, los menores valores se presentaron en el T4 para todos los clones (Cuadro 2). Estos resultados están dentro del rango de los valores reportados por Baligar et al. (2001), quienes señalan que para condiciones tropicales la eficiencia de

recuperación en ningún caso supera el 50 %, es decir, que en términos prácticos por cada 100 kg de N aplicado se aprovecha menos de 50 kg del nutriente.

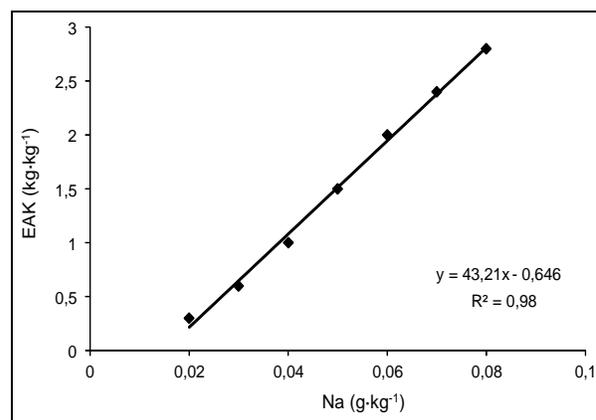


Figura 4. Relación entre la eficiencia agronómica del potasio y los niveles de sodio en hojas de cacao (promedio de cuatro clones diferentes)

Los resultados evidencian que a mayor nivel de fertilización es menor la ERF, lo cual debe atribuirse a las pérdidas por desnitrificación, volatilización y lixiviación, y eventualmente a un posible aumento en los niveles de los nutrientes en el suelo. Doyle y Holford (1993) sugieren que una baja ERN también se puede asociar con buenos contenidos de materia orgánica en el suelo y a la fijación biológica de N por algunos cultivos. Según Fan et al. (2010), la eficiencia de recuperación de nitrógeno

depende en gran medida de parámetros relacionados con la extensión, morfología y fisiología de la raíz, los cuales, difieren con el estado de crecimiento del cultivo; en el mismo sentido, Ribeiro et al. (2008), sugieren que los genotipos de cacao difieren en su habilidad para absorber nitrógeno, y que algunos como TSH-565 parecen requerir más de este nutriente para desarrollar raíces.

Las plantas que son eficientes en la absorción y utilización de nutrientes mejoran en gran medida la eficiencia de los fertilizantes aplicados, reduciendo los costos de los insumos, y la prevención de las pérdidas de nutrientes a los ecosistemas (Baligar et al., 2001).

Con relación a la eficiencia de recuperación de fósforo (ERP), se observa que el mayor valor para el clon CCN-51 se presentó en el tratamiento T1, mientras que para ICS-39, ICS-95 y TSH-565 el

mayor valor se presentó en T2 (Cuadro 2). Los menores valores de ERP se presentan en el T4 en todos los clones, comportamiento similar al que presentan los clones en la ERN aunque con valores menores. Es interesante resaltar la mayor ERP que presentan los clones CCN-51 e ICS-39 con respecto a los valores generales reportados por Baligar et al. (2001).

En la eficiencia de recuperación de los fertilizantes aplicados es importante considerar la habilidad de la planta para absorber nutrientes bajo diferentes condiciones ambientales (Baligar et al., 2001), y en el caso del fósforo uno de los factores que tiene relación con la absorción es la humedad del suelo. Dado que el fósforo es un nutriente que se mueve por difusión (Malavolta et al., 1997), requiere buenas condiciones de preparación del suelo y buen contenido de humedad para que la planta lo absorba.

Cuadro 2. Eficiencia de recuperación (%) de N, P y K para los clones evaluados

| Clon | ERN | | | | ERP | | | | ERK | | | |
|---------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T1 | T2 | T3 | T4 | T1 | T2 | T3 | T4 |
| CCN-51 | 35,9 a | 33,8 b | 3,76 c | 2,3 d | 19,5 a | 15,5 b | 2,9 c | 2,1 d | 7,0 b | 8,7 a | 1,3 c | 0,9 d |
| ICS-95 | 11,2 b | 22,8 a | 7,17 c | 4,3 d | 5,8 b | 10,7 a | 4,2 c | 3,2 d | 2,9 c | 5,4 a | 3,5 b | 1,9 d |
| TSH-565 | 9,9 b | 12,5 a | 6,05 c | 4,1 d | 7,6 b | 9,5 a | 2,6 c | 3,2 d | 2,0 b | 2,8 a | 1,0 c | 0,8 d |
| ICS-39 | 22,0 b | 27,6 a | 8,45 c | 2,6 d | 8,8 b | 16,3 a | 5,4c | 2,5 d | 4,4 b | 5,2 a | 1,5 c | 1,2 d |

Valores para cada nutriente dentro de la misma fila con letras distintas difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Con relación a la eficiencia de recuperación de potasio (ERK), se observa que todos los clones presentan su mayor eficiencia de recuperación en el T2, siendo mayor en CCN-51, seguido de ICS-95, ICS-39 y por último el clon TSH-565. Los menores valores se presentaron en el T4 para todos los clones (Cuadro 2).

Se puede apreciar que a mayor nivel de fertilización disminuye la eficiencia de recuperación, y los valores son bajos en todos los tratamientos y para todos los clones si se comparan con los valores reportados por Baligar et al. (2001). La ERK está condicionada por la textura del suelo, específicamente, por el porcentaje de arcilla y su mineralogía, ya que arcillas del tipo illita son muy afines por este nutriente.

Rendimiento. Se detectaron diferencias estadísticas entre los tratamientos de fertilización, en los parámetros asociados al rendimiento (Cuadro 3). El clon que mayor rendimiento

presentó fue el CCN-51 en el T1, y para el resto de los clones el mayor rendimiento ocurrió en el T2. Los menores rendimientos se presentaron en el TR (el tratamiento sin fertilización), y luego en el siguiente orden: ICS-95, ICS-39, TSH-565 y por último el clon CCN-51.

Es interesante ver que el clon CCN-51 presentó el mayor rendimiento con la menor dosis (T1), por lo cual se podría considerar más eficiente en comparación con los demás clones, ya que con menor dosis tuvo mayor producción. En efecto, en la medida que aumentaron los niveles de fertilización en el suelo, el rendimiento disminuyó. Lo anterior sugiere que el exceso de fertilización pudo haber ocasionado un desbalance nutricional en la planta que se habría manifestado en una pérdida del rendimiento

Los rendimientos obtenidos superan los valores reportados por Aranzazu (2011) para los clones CCN-51, ICS-95, TSH-565, e ICS-39. En el caso del TSH-565, es probable que el rendimiento haya

estado afectado por la condición de incompatibilidad de este clon, lo cual, según Mora et al. (2011), no garantiza una buena polinización y cuajado de mazorcas.

Cuadro 3. Rendimiento (kg·ha⁻¹) de almendras en cuatro clones de cacao (año 2011-2012)

| Tratamiento | TR | T1 | T2 | T3 | T4 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CCN-51 | 1004 d | 2020 a | 1967 b | 1080 c | 1157 c |
| ICS-95 | 693 d | 933 b | 1337 a | 942 b | 817 c |
| TSH-565 | 974 d | 1165 b | 1340 a | 1166 b | 1031 c |
| ICS-39 | 838 e | 1364 b | 1634 a | 1158 c | 914 d |

Valores dentro de la misma fila con letras distintas difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

CONCLUSIONES

La mayor eficiencia agronómica de nitrógeno, fósforo y potasio se presentó en la mayoría de los clones en el tratamiento con la segunda dosis de fertilizante (T2). La excepción fue el clon CCN-51, el cual presentó su mayor eficiencia con la dosis más baja de fertilizante (T1).

La mayor eficiencia de recuperación del nitrógeno y fósforo, la presentó el clon CCN-51 en el T1 y los demás clones en el T2; sin embargo, la mayor eficiencia de recuperación de potasio se presentó en el T2 para todos los clones.

El mayor rendimiento de los clones se produjo con las dosis más bajas de fertilizante (T1 y T2), mientras que los menores rendimientos se presentaron en el tratamiento control y en T4. Por su parte, el clon de mayor rendimiento fue el CCN-51, seguido por ICS-39, ICS-95 y TSH-565.

AGRADECIMIENTO

Al grupo de investigación “Uso y Manejo de Suelos y Aguas con énfasis en Degradación de Suelos”, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. También, a la Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia (Fedecacao).

LITERATURA CITADA

1. Abreu, C.H. 1996. Foliar nutrient concentration and rations in height yield cocoa genotypes and relations yield and intensity of witches broom disease. Conferencia

Internacional de Pesquisas em cacao. Cocoa Producer's Alliance. Atas Lagos, Nigeria. pp. 773 -780.

- Ahenkorah, Y. 1975. Use of radio-active phosphorus in determining the efficiency of fertilizer utilization by cacao plantation. *Plant Soil* 42: 429-439.
- Allen, J.B. 1987. London cocoa trade amazon project. Final report phase 2. Special Issue of *Cocoa Growers Bulletin* No. 39. 20 p.
- Aranzazu, F. 2011. El manejo oportuno y apropiado del cultivo del cacao, la clave del éxito para obtener excelentes cosechas. *Memorias Seminario Desarrollo Tecnológico del Cultivo de Cacao en la Orinoquia*. Universidad de los Llanos. San Antonio Barzal, Departamento del Meta. Colombia. 10 p.
- Baligar, V.C., N.K. Fageria y Z.I. He. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Soil Sci. Plant Anal.* 32(7-8): 921-950.
- Cabala, R.P., E.R. Miranda y E.P. Prado. 1970. Efeito da remoção de sombra e da aplicação de fertilizantes sobre a produção do cacaueiro na Bahia. *Cacao (Costa Rica)* 15(2): 1-9.
- Doyle, A.D. y I.C. Holford. 1993. The uptake of nitrogen by wheat, its agronomic efficiency on their relationship to soil and fertilizer nitrogen. *Aust. J. Agric. Res.* 44(6): 1245-1258.
- Fageria, N.K., O.P. de Morais y A.B. dos Santos. 2010. Nitrogen use efficiency in upland rice genotypes. *J. Plant. Nutr.* 33: 1696-1711.
- Fallah, S. y A. Tadayyon. 2010. Uptake nitrogen efficiency in forage maize: effects of nitrogen and plant density. *Agrociencia* 44: 549-560.
- Fan, J.B., Y.L. Zhang, D. Turner, Y.H. Duan, D.S. Wang y Q.R. Shen. 2010. Root physiological and morphological characteristics of two rice cultivars with different nitrogen-use efficiency. *Pedosphere* 20(4): 446-455.
- Gattward, J.N., A.A. Almeida, J.O. Sousa Jr. F.P. Gomes y H. J. Kronxucher. 2012. Sodium-Potassium synergism in *Theobroma cacao*: stimulation of photosynthesis, water-use efficiency and mineral nutrition. *Physiol. Plantarum* 146: 350-362.

12. Ghulam, H., A. Al-jaloud y S. Karimulla. 1996. Effect of treat de fluent irrigation and nitrogen on yield and nitrogen use efficiency of wheat. *Agr. Water Manage* 30: 175-184.
13. Gourley, C.J., D.L. Alla y M.P. Ruselle. 1994. Plant Nutrition efficiency: A comparison of definitions and suggested improvement. *Plant Soil* 158: 29-37.
14. INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Ciencias Agropecuarias). 2006. El muestreo foliar en cacao. EET Pichilingue-Programa de Cacao y Café. Quevedo-Los Ríos. Ecuador. 6 p.
15. López, S., E. Guevara, M. Maturano, M. Melaj, J.P. Bonetto y S. Meira. 2002. Absorción de nitrógeno en trigo en relación con la disponibilidad hídrica. *Terra* 20: 7-15.
16. Malavolta, E., G.C. Vitti y S.A. de Oliveira. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações. 2da. Edição. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 319 p.
17. Mora, R.J., O.H. Burbano y P.W. Ballesteros. 2011. Efecto de la fertilización con diversas fuentes sobre el rendimiento de cacao. *Rev. Ci. Agríc.* XXVIII (2): 81-94.
18. Ribeiro, M.A., J.O. da Silva, W.M. Aitken, R.C.R. Machado y V.C. Baligar. 2008. Nitrogen use efficiency in cocoa genotypes. *J Plant Nutr.* 31: 239-249.
19. Sodré, G.A. 2002. Uso do desvio padrão para estimativa do tamanho de amostra de plantas de cacao. (*Theobroma cacao* L.) em estudos de nutri ao. *Agrot pica* 13(3): 145-150.
20. Sousa, Jr. J.O., J.W. Mello, V.V. Alvarez y J.C. Neves. 1999. Productividade do cacauero em fun ao de características do solo: Características químicas. *R. Bras. Ci. Solo* 23: 863-872.
21. Uribe, A., H. Méndez y J. Mantilla. 1998. Efecto de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio sobre la producción de cacao en suelo del Departamento de Santander. *Rev. Suelos Ecuatoriales* 28: 31-36.
22. Weih, M., L. Asplund y G. Berkvist. 2010. Conceptual framework for integrating aspect of nitrogen use efficiency in cereals. *Asp. Appl. Biol.* 105: 195-200.
23. Weih, M., L. Asplund y G. Berkvist. 2011. Assessment of nutrient use in annual and perennial crops: A functional concept for analyzing nitrogen use efficiency. *Plant Soil* 339: 513-520.