

Eficiencia de uso de nitrógeno (^{15}N) aplicado con fuentes de potasio en la palma aceitera

Autores:

Marcelo Calvache¹
Rodrigo Saquicela²
Franklin Valverde³

¹Universidad Tecnológica Equinoccial
Correo electrónico: angel.calvache@ute.edu.ec
Teléf.: 0984 851 667
Santo Domingo

²Universidad Tecnológica Equinoccial
Correo electrónico: rodrigosaquicela@yahoo.com
Teléf.: 0998 730 336
Santo Domingo - Ecuador

³Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias
Correo electrónico: frankiniap@yahoo.es
Quito - Ecuador,

Recepción: 06-04-2015
Aceptación: 04-06-2015
Publicado: 30-06-2015

Resumen

El N es uno de los nutrientes requeridos en mayor cantidad por las plantas. El objetivo de esta investigación es determinar la eficiencia del uso de N por la palma aceitera en producción (cinco años), al aplicar N con fuentes de K en las épocas seca y lluviosa de los años 2009 y 2010, respectivamente. Se investigó los efectos del KCl y K_2SO_4 ($269.13 \text{ g K [palma]}^{-1}$) al ser aplicados con sulfato de amonio ($27.65 \text{ g N [palma]}^{-1}$), utilizando ^{15}N con 10 % de abundancia en exceso, se evaluó el N proveniente del fertilizante, eficiencia de uso de N, N total y materia seca acumulada en los órganos de la palma aceitera Tenera INIAP (*Elaeis guineensis* Jacq.) en La Concordia, Ecuador. Se utilizó la prueba t de Student independiente ($\alpha = 0.05$) con tres bloques. No hubo diferencias ($P \geq 0.0776$) debido a la aplicación de N con KCl o K_2SO_4 en las épocas seca y lluviosa, ni en la eficiencia de uso del N por la planta de palma. La eficiencia de uso del N fue de 0.24 %, 8.79%, 16.49%, 2.43%, 1.70 %, 0.11% y 29.93% para las raíces, estipe, hojas, racimos inmaduros, racimos maduros, hojas podadas y planta entera. Las épocas seca, lluviosa y las fuentes de K tendrían el mismo efecto en la absorción de N por la palma aceitera, que fue baja en las condiciones climáticas del sitio experimental.

Palabras clave: *Elaeis guineensis*, eficiencia de uso de Nitrógeno, ^{15}N , épocas seca y lluviosa.

Abstract

Nitrogen is one of the most nutrients required by plants. The objective of this research was to determine the use of N by the mature oil palm (five years) by applying K and N in the dry and rainy seasons of 2009 and 2010, respectively. The effects of KCl and K_2SO_4 ($269.13 \text{ g K [palm]}^{-1}$) to be applied with ammonium ($27.65 \text{ g N [palm]}^{-1}$) with 10% ^{15}N abundance in excess with source ammonium sulphate was investigated in N derived from fertilizer, N use efficiency, total N, and dry matter of organs INIAP Tenera oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in La Concordia, Ecuador. Test independent Student t ($\alpha = 0.05$) was used with three blocks. There were no differences ($P \geq 0.0776$) due to the application of N with KCl or K_2SO_4 in the dry and rainy seasons, and no difference between times of fertilizer N or N use efficiency by palm plant. The N utilization efficiency was 0.24%, 8.79%, 16.49%, 2.43%, 1.70%, 0.11% and 29.93% for roots, trunk, leaves, green bunches, ripe bunches, pruned leaves and plant palm. The seasons rainy, dry and sources of K have the same effect on the uptake of N by the oil palm was low in the climatic conditions of the experimental site.

Keywords: *Elaeis guineensis*, nitrogen use efficiency, ^{15}N , dry and rainy seasons.

INTRODUCCIÓN

La expansión comercial de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Ecuador se inició en la década de 1960. En 1965 existían aproximadamente 1 300 ha de palma sembradas en la zona de Santo Domingo de los Colorados (hoy Santo Domingo de los Tsáchilas). En 2011, la superficie sembrada creció aproximadamente a 240 000 ha distribuidas en todo el Ecuador. Esta rápida expansión del cultivo ha tenido una influencia positiva en el desarrollo socio-económico del país; al momento, genera 60 000 plazas de trabajo directas y 30 000 plazas indirectas, distribuidas en el transporte de fruta, venta de insumos y otros negocios relacionados con la producción de palma. El aceite de palma se utiliza para la producción de aceites vegetales de uso culinario e industrial, pero además puede utilizarse como biocombustible limpio y renovable. En el Ecuador, el rendimiento promedio de aceite de palma es de 2,2 t ha⁻¹; rendimiento menor al promedio mundial de 3,5 t ha⁻¹ (ANIAME, 2012; INEC, 2011; ANCUPA, 2009).

Son varios los factores que controlan el rendimiento de la palma aceitera, siendo uno de los más importantes: la nutrición mineral del cultivo. Como toda planta, la palma aceitera requiere de todos los nutrientes esenciales; sin embargo, los nutrientes minerales requeridos en mayor cantidad (en orden decreciente) son: potasio (K), nitrógeno (N), magnesio (Mg), fósforo (P), calcio (Ca) y boro (B) (Mite y Espinosa, 2003). El K y el N son los nutrientes que más se acumulan dentro de la planta de palma e interactúan positivamente.

La adición al suelo de las dosis de K y N requeridas por la palma en una sola aplicación anual, particularmente si ésta se hace en la época lluviosa, provoca que la lixiviación de estos nutrientes sea muy alto (Fassbender y Bornemisza, 1975). La aplicación fraccionada de las dosis de K y N disminuye las pérdidas por lixiviación y la planta tiene más oportunidades de absorber estos nutrientes, mejorando su eficiencia de uso. En palma es común fraccionar la aplicación de K y N (y otros nutrientes) en dos aplicaciones, una al inicio y otra al final de la época lluviosa, para aprovechar de forma adecuada, pero no excesiva, con la humedad del suelo se estaría favoreciendo la absorción y limitando la lixiviación.

Existe información publicada de investigaciones sobre la eficiencia del uso de N en palma aceitera, que evaluó el contenido foliar en respuesta a la aplicación fraccionada de las dosis requeridas de estos nutrientes y de la interacción del N con el K (Calvache y López, 2000; Basantes, Calvache y Barba, 1992; Webb, 2009). Sin embargo, en Ecuador no se ha evaluado la eficiencia de absorción del N al aplicarlo con K en las épocas seca y lluviosa. La utilización de trazadores como el ¹⁵N permite evaluar la eficiencia de uso de N y la distribución de estos nutrientes dentro de la planta.

Al tener la cuantificación de la eficiencia de absorción de N, aplicado con K en las épocas seca y lluviosa, se puede determinar cuánto N aplicado en un año se queda en la palma, cuánto sale del cultivo en los racimos cosechados, y cuánto se recicla en las hojas podadas. Además, sirve de base para estudios posteriores de largo plazo, donde se cuantifique la dinámica del N en el sistema suelo-planta-ambiente. El objetivo de esta investigación es determinar el uso del N en palma aceitera en producción, al aplicar N con muriato de potasio (KCl) y sulfato de potasio (K₂SO₄) en las épocas seca y lluviosa.

MÉTODOS Y MATERIALES

Sitio de estudio.- Esta investigación fue realizada en La Concordia, Ecuador (00° 01'N y 79° 22'O) a 360 m de altura. El clima tuvo dos épocas definidas: la época seca, desde julio a diciembre, y la lluviosa, desde enero a junio, respectivamente, con 928.4 mm y 2 593.4 mm de precipitación, 626.3 mm y 382.2 mm de evaporación, 509.1 h y 418.6 h de luz, 24.4° C y 25.1° C de temperatura media, 84.8 % y 88.3 % de humedad relativa. Para el análisis físico y químico de suelo (Andisol), se muestreó a 30 cm de profundidad, desde 1.2 m hasta 2.5 m de radio desde el estipe. En promedio (n = 3), el pH (H₂O) fue 5.9, materia orgánica 6.3%; N como amonio, 31.7 mg kg⁻¹; P, 4.5 mg kg⁻¹, S, 55.7 mg kg⁻¹; Zn, 3.3 mg kg⁻¹; Cu, 5.8 mg kg⁻¹; Fe, 91.0 mg kg⁻¹; Mn, 6.5 mg kg⁻¹; B, 3.9 mg kg⁻¹. Las bases tuvieron 0.2 cmol(+) kg⁻¹ de K, 3.8 cmol(+) kg⁻¹ de Ca, 0.9 cmol(+) kg⁻¹ de Mg y 4.8 cmol(+) kg⁻¹ de suma de bases. El contenido de arena, limo y arcilla fue 22%, 33% y 45%, respectivamente, que corresponde a la textura arcillosa.

Diseño experimental.- Se utilizó la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) Tenera-INIAP en producción y de cinco años de edad. En junio de 2009, la plantación de palma aceitera cultivada en 6 ha se dividió en tres bloques, donde se eligieron 12 palmas, 4 por bloque, separadas entre sí al menos 16 m, sembradas a 9 m en tres bolillos (143 palmas ha⁻¹) y homogéneas en diámetro del estipe (coeficiente de variación, CV, $\leq 8,9\%$), altura hasta la hoja 33 (CV $\leq 8,9\%$) y sección transversal del peciolo (CV $\leq 18,2\%$). Las plantas más homogéneas se eligieron según el CV, comenzando por el diámetro del estipe, de este grupo se eligieron a las más homogéneas según la otra variable y así sucesivamente. Los tratamientos fueron las fuentes de potasio KCl y K₂SO₄ con la aplicación de N, como fuente el sulfato de amonio. Los tratamientos se evaluaron durante las épocas seca y lluviosa distribuidos en tres bloques completos. En junio de 2009 (época seca) y enero de 2010 (época lluviosa), se aplicó según el método isotópico directo, 27.65 g palma⁻¹ de N trazado con 10% de abundancia en exceso de ^{15}N y 269.13 g palma⁻¹ de K. Los fertilizantes se aplicaron disueltos en 5 l de agua a 2 m de distancia del estipe y en una banda concéntrica de 40 cm de ancho. Adicionalmente, se aplicaron 5 l de agua sin destilar para infiltrar el fertilizante (Ramírez y Rodríguez, 2008; Calvache y Recalde, 2014).

Fertilización básica de las palmas.- Al inicio de las épocas seca y lluviosa se fertilizó con 71 kg ha⁻¹ de P, 39 kg ha⁻¹ de S y 48 kg ha⁻¹ de Mg, con base en la relación 60:30:10 de Ca:Mg:K (Cevallos y Calvache, 2008), por la exportación de nutrientes por los racimos cosechados y el requerimiento vegetativo (Ng, Thamboo y de Souza, 1968).

Medición de variables.- Se muestrearon los racimos de cosecha y las hojas podadas una vez por semana durante las épocas seca y lluviosa, a seis plantas en cada época. El muestreo final de las plantas consistió en diseccionar las 12 palmas en raíces, estipe, hojas, inflorescencias masculinas y femeninas y racimos inmaduros (Ramírez y Rodríguez, 2008). Las raíces se muestrearon en una cuña triangular de 3 m de lado, medido desde el borde donde estaba el estipe. El alto de la cuña fue 0.50 m y la profundidad 0.30 m, medida desde el borde del espacio ocupado por el estipe; además, del espacio circular que dejó el estipe se extrajeron las raíces de la cuarta parte. No se muestreó la totalidad de las raíces

por la dificultad de excavar y separar raíces de un mayor volumen de suelo. Se midió en los órganos de la palma, la producción de materia seca, concentración de N y ^{15}N . Se usó el método de Kjeldhal para analizar el N total y el ^{15}N se midió con un equipo Espectrómetro de masa Finnigan delta Plus acoplado a un autoanalizador CHN Costech. Se calcularon las siguientes variables: producción de materia seca por órganos, absorción de N total, N proveniente del fertilizante (N_{pf}) y eficiencia de uso de N (EN, relación entre las cantidades de N_{pf} y el N aplicado) para los órganos y para la planta entera se calculó con la media ponderada (Calvache y López, 2000; Zapata, 1990).

Análisis estadístico.- Se comparó con la prueba t de Student $\alpha = 0,05$ (Di Renzo et al., 2010) el efecto de las fuentes de K en cada época y entre las épocas en el N_{pf} de los órganos y planta entera y la EN para la planta entera únicamente. Los cálculos se hicieron con el programa estadístico InfoStat versión 2010 (Di Renzo et al., 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No hubo diferencias ($P \geq 0,0776$) debido a la aplicación conjunta de N con KCl o K₂SO₄ en las épocas seca y lluviosa, ni diferencias entre las épocas para el N_{pf} de los órganos y de la planta de palma aceitera en producción, ni en la EN de la planta de palma. Estos resultados sugieren que las condiciones ambientales de las épocas seca y lluviosa del lugar de estudio, y las fuentes de K tendrían el mismo efecto en la absorción del N del fertilizante por el cultivo de palma aceitera.

(Tabla 1. Promedios \pm error estándar (n = 12) de la distribución (%) del N_{pf}, EN, N y la cantidad (kg ha⁻¹) de MS de los órganos de la palma aceitera Tenera INIAP de 5 años de edad, por la aplicación de ^{15}N (26.65 g palma⁻¹) con las fuentes de K (269.13 g K [palma]⁻¹) KCl y K₂SO₄ en las épocas seca del 2009 y lluviosa del 2010).

Órgano	N _{pf} ^a	EUN ^b	N ^c	MS ^d
Raíces	0.50 \pm 0.11	0.24 \pm 0.06	0.33 \pm 0.02	4.11 \pm 0.2
Estipe	0.32 \pm 0.05	8.79 \pm 1.25	0.59 \pm 0.03	132.04 \pm 4.05
Hojas	0.48 \pm 0.06	16.49 \pm 2.96	0.78 \pm 0.05	117.67 \pm 2.49

Racimos inmaduros ^a	0.54 ± 0.08	2.43 ± 0.53	0.84 ± 0.07	14.58 ± 1.8
Racimos maduros	0.36 ± 0.06	1.70 ± 0.44	0.38 ± 0.03	33.51 ± 5.68
Hojas podadas	0.08 ± 0.01	0.11 ± 0.03	0.35 ± 0.06	10.82 ± 1.25
Palma entera ^f	0.41 ± 0.05	29.93 ± 4.62	0.63 ± 0.02	313.15 ± 9.23

^a Nitrógeno proveniente del fertilizante. ^b Eficiencia de uso de nitrógeno. ^c Nitrógeno total. ^d Materia seca. ^e Los racimos inmaduros están sumados a las inflorescencias femeninas (n=5). ^f Valores calculados con la media ponderada y sumado los valores de las inflorescencias masculinas (n=7).

Las hojas tuvieron la mayor EN (16.49 %) y una de las más altas concentraciones del Npf (0.48%), a pesar de acumular menos MS que el estipe (Tabla 1), sugiriendo que el N transportado desde las raíces por medio del K se metaboliza en las hojas. Las hojas podadas tuvieron la menor concentración de Npf (0.08%) y una de las menores concentraciones de N (0.35%); resultados que indican el reciclaje del N desde las hojas senescentes hacia los racimos en crecimiento y hojas nuevas (Malavolta, 2004; Miranda, Pattanagul y Madore, 2001).

El estipe tuvo 8,79 % de EN; 1.88 veces menos que la EN de las hojas; sin embargo, fue el órgano con la mayor acumulación de MS (132.0 kg palma⁻¹) (Tabla 1). El estipe es un órgano de reserva del N de la palma aceitera porque sirve para la circulación del N proveniente de las raíces, el N sintetizado en las hojas y el N reciclado desde las hojas senescentes (Heldt, Piechulla y Heldt, 2011; Taiz y Zeiger, 2002; Ng, Thamboo y de Souza, 1968) y de los racimos maduros.

Los racimos inmaduros tuvieron las mayores concentraciones de Npf (0.54%) y N (0.84%) que los racimos maduros (Npf = 0.36 %, N = 0.38 %) (Tabla 1). La mayor concentración de N en los racimos maduros indica que el N se recicla desde dicho órgano hacia los órganos en crecimiento.

Las raíces tuvieron las concentraciones más altas de Npf (0.50%) (Tabla 1) porque en dicho órgano también se sintetizaría el N (Taiz y Zeiger, 2002).

La EN de la planta de palma fue 29.93% (Tabla 1); 6.07% menos que el 36% de EN, calculado con base en datos reportados (Goh, Hårdter y Fairhurst, 2012; Goh, Chew y Kee 1994) y más baja que la EN de los cultivos en general, que tienen entre 25% y 70%, con un promedio de 60 % (Donough, 2008).

La baja EN se debería a que la alta materia orgánica (≥ 5.6 %) del suelo del lote del ensayo y la temperatura promedio del ambiente (24.7° C) crearían condiciones adecuadas para el desarrollo de los microorganismos en el suelo, algunos de los cuales estarían transformando rápidamente el amonio del sulfato de amonio a nitrato, y parte del último se lixiviaría quedando fuera del alcance de las raíces (Corley y Tinker, 2009).

La concentración de N y la acumulación de MS de la planta en esta investigación (Tabla 1) fue similar a la reportada por Ng, Thamboo y de Souza (1968) en plantas de palma de seis años de haber sido plantadas (N = 0.64%, MS = 320 kg palma⁻¹).

CONCLUSIONES

- Se concluye que la planta de palma aceitera en producción, a los cinco años de edad estaría usando el N del fertilizante de igual forma que al ser aplicado con KCl o K₂SO₄, tanto en las épocas seca y lluviosa del lugar de estudio.
- El uso de N del fertilizante por la planta de palma fue bajo (30%).
- La planta de palma aceitera acumuló el N del fertilizante en mayor proporción en las hojas y en el estipe.
- Se recomienda investigar el efecto residual de N en el suelo, por varios años y en diferentes condiciones de fertilidad y clima.

RECONOCIMIENTOS

- Se agradece al Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y a la Subsecretaría de Control, Investigación y Aplicaciones Nucleares (SCIAN), por la colaboración en esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana. ANCUPA (2009). *La palma en el Ecuador y su importancia*. Disponible en URL: http://www.ancupa.com/ancupa/index.php?option=com_content&task=view&id=82&Itemid=142 (accedido el 2009/01/08).
- Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles. ANIAME (2012). *La importancia de la palma de aceite en el mundo*. Disponible en URL: http://portal.aniame.com/uploads/palmadeaceiteenelmundo_001.pdf (accedido el 2012/01/06).
- Basantes, E. M.; Calvache, M. y Barba, J. (1992). *Estudios preliminares sobre la fertilización nitrogenada en palma africana (Elaeis guineensis Jacq.), utilizando N-15 como trazador*. Nucleociencias, 3: 15-20.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. INEC. (2011). *Superficie, producción y ventas, según cultivos permanentes*. Disponible en URL: <http://www.inec.gob.ec/espac/2011/c02.xlsx> (accedido el 2012/08/30).
- Mite, F. y Espinosa, J. (2003). *Efecto del manejo del cultivo y los fertilizantes en el uso eficiente de nitrógeno en palma aceitera*. Disponible en URL: <http://www.ppippic.org/far/farguide.nsf/926048f0196c9d4285256983005c64de/.../Spanish,%20Eficiencia%20N%20en%20palma.pdf> (accedido el 2009/02/24).
- Fassbender, H. y Bornemisza, E. (1975). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. San José, Costa Rica: IICA.
- Cevallos M., J. y Calvache M., U. (2008). *Evaluación de diferentes relaciones de Ca, Mg y K en palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) bajo condiciones de riego y sin riego*. La Concordia, Esmeraldas. 2008. En SECS (Eds.), *Memorias del XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo* (pp. 1-13). Quito: SECS.
- Calvache, M. y López, M. (2000). *Evaluación de la eficiencia de la fertilización potásica en el cultivo de palma africana utilizando ^{85}Rb como trazador*. *Informaciones agronómicas*, 38, 8-10.
- Corley, R.H.V. y Tinker, P. B. (2009). *La palma de aceite*. Bogotá: Impresores Molher Ltda.
- Di Rienzo J. A., Casanoves F., Balzarini M. G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C. W. (2010) *InfoStat versión 2010*. InfoStat Group, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en URL: <http://www.infostat.com.ar>
- Goh, K. J., Chew, P. S. y Kee, K. K. (1994). *K Nutrition for mature oil palm in Malaya*. Switzerland: IPI.
- Goh, K. J., Härdter, R. y Fairhurst, T. (2012). *Fertilización para un beneficio máximo*. En T. Fairhurst, y R. Härdter (Eds.), *Palma de aceite. Manejo para rendimientos altos y sostenibles*. (pp 307-350). Quito, Ecuador: IPNI, IPI.
- Heldt, H. W., Piechulla, B. y Heldt, F. (2011). *Plant biochemistry*. San Diego, California: Academic Press.
- Malavolta, E. (2004). *Potássio. Absorção, transporte e redistribuição na planta*. *Informações Agronômicas*, 108, 1-16.
- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press.
- Miranda, E. R., Pattanagul, W. y Madore, M. A. (2001). *Phloem transport of solutes in crop plants*. En M. Pessarakli (Ed.), *Handbook of plant and crop physiology* (pp. 449-465). New York: Marcel Decker.
- Ng, S. K., Thamboo, S. y de Souza, P. (1968). *Nutrient contents of oil palm in Malaya: II. Nutrients in vegetative tissues*. *The Malaysian Agricultural Journal* 46(3), 382-391.
- Ramírez, F. y Rodríguez, L. (2008). *Estimación de requisitos nutricionales en dos clones de palma aceitera*. En IPNI, ANCUPA, SECS (Eds.), *Seminario Internacional: Manejo y nutrición de palma aceitera* (pp. 1-9), Santo Domingo, Ecuador: IPNI, ANCUPA; SECS.
- Calvache, M. y Recalde, F. (2014). *Evaluación de diferentes sistemas de mantenimiento de la corona de la palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) sobre la absorción de potasio*. *TsaFiqui* 6:2-10.
- Taiz, L. y Zeiger, E. (2002). *Plant physiology*. Sunderland: Sinauer Associates.

21. Webb, M. J. (2009). *A conceptual framework for determining economically optimal fertiliser use in oil palm plantations with factorial fertilizer trials*. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 83, 163-178.
22. Zapata, F. (1990). *Técnicas isotópicas en estudios sobre la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas*. En G. Hardarson (Ed.): *Empleo de técnicas nucleares en los estudios de la relación suelo-planta* (pp. 79-171). Viena: Organismo Internacional de Energía Atómica.