

EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN DE N Y K DE TRES FERTILIZANTES DE LENTA LIBERACIÓN

N and K Recovery Efficiency of Slow Release Fertilizers

I. Castro-Luna^{1†}, F. Gavi-Reyes¹, J.J. Peña-Cabriales², R. Núñez-Escobar¹ y J.D. Etchevers-Barra¹

RESUMEN

El costo de los fertilizantes químicos y la contaminación que algunos propician en el ambiente cuando se usan incorrectamente, hacen necesario encontrar nuevas alternativas de fertilización, económicas y más eficientes. El objetivo de este estudio fue comparar la eficiencia de recuperación y la eficiencia fisiológica (EF) de N y K de tres fertilizantes nuevos denominados AUK en el cultivo de trigo en invernadero. Se evaluaron tres fertilizantes nuevos (AUK1, AUK2 y AUK3) con el mismo contenido de N y K₂O (12 y 7.5% p/p), pero con diferencias en la intercalación del nutrimento con la matriz arcillosa y dos fertilizantes comerciales (Fc) urea y KCl, con tres dosis equivalentes a tres veces (como se sugiere para ensayos de invernadero) 60, 100 y 140% de la dosis comercial recomendada de N para trigo para el Bajío Guanajuatense que equivale a 270 mg N y 40 mg P₂O₅ por kg de suelo, con un diseño de bloques completamente al azar. Se encontró que la eficiencia de recuperación del N y K (ERN y ERK) fue la misma ($P \leq 0.05$) para los tres fertilizantes AUK entre sí y comparados con los Fc. Se encontró efecto de la dosis en la ERN y ERK donde ésta se abatió con el incremento de la dosis en el orden 60 > 100 > 140%, independientemente del tipo de fertilizante (a partir del espigamiento hasta la madurez fisiológica). Lo mismo se observó para la eficiencia de recuperación de K. La EF de N se reduce al incrementar la dosis de N aplicada, estabilizándose cuando se usó el AUK2 con las dosis igual o mayor necesarias para obtener el máximo rendimiento.

Palabras clave: nitrógeno, potasio, trigo.

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

[†] Autor responsable (israelcl@colpos.mx)

² Laboratorio de Ecología Microbiana, CINVESTAV-IPN. Irapuato, Guanajuato, México.

Recibido: agosto de 2004. Aceptado: septiembre de 2005.
Publicado en *Terra Latinoamericana* 24: 277-282.

SUMMARY

The cost of mineral fertilizers and the environmental pollution that they produce when used improperly, make it necessary to find new economic and more efficient fertilizers. The objective of this study was to compare the recovery efficiency and the physiological efficiency (FE) of N and K of three new fertilizers denominated AUK in wheat production under greenhouse conditions. Three fertilizers (AUK1, AUK2, and AUK3), with the same content of N and K₂O (12 and 7.5% in weight), but with different intercalation of nutrients with the clay matrix, were compared with commercial fertilizers (Fc) urea and KCl. The fertilizers were applied at three rates equivalent to three times (as suggested for greenhouse tests) 60, 100, and 140% the commercial rate of N recommended for wheat in the area of Bajío, state of Guanajuato, Mexico, equivalent to 270 mg N and 40 mg P₂O₅ kg⁻¹ soil. This test was conducted using a completely randomized block design. Recovery efficiency of N and K (ERN and ERK) was similar ($P \leq 0.05$) for the three AUK fertilizers and compared with Fc. ERN and ERK decreased with the increase of the rate of N and K, showing the following order: 60 > 100 > 140%, regardless of the type of fertilizer (from tasseling to physiological maturity). The same was observed for the recovery efficiency of K. FE of N decreased when the rate of applied N increased, becoming stabilized when AUK2 was applied at a rate equal to or greater than that necessary to obtain maximum yield.

Index words: nitrogen, potassium, wheat.

INTRODUCCIÓN

El alto costo de los fertilizantes y el impacto que pueden producir en el ambiente han motivado un interés creciente en diseñar nuevos materiales fertilizantes con características fisicoquímicas que logren una mayor eficiencia de recuperación por el cultivo.

La eficiencia de recuperación de los nutrimentos depende de la forma y cantidad que se aplican y de

la capacidad fisiológica de los cultivos. De acuerdo con Mortvet (1994) y Baligar *et al.* (2001), la recuperación por el cultivo de los fertilizantes nitrogenados es aproximadamente de 50%, la de los fosfatados es menos de 10% y los potásicos cerca de 40%, mientras que para los micronutrientes es de 5 a 10% en la agricultura convencional, representando en todos estos casos pérdidas económicas y daños potenciales al ambiente.

Estudios en Guanajuato, México, reflejan que el N aplicado se distribuye en las siguientes rutas: cerca de $20 \pm 8\%$ del N es absorbido por la planta, $32 \pm 13\%$ es retenido en el suelo, $20 \pm 10\%$ se lixivia en forma de nitratos, $8 \pm 13\%$ se pierde como amoníaco por volatilización, y $20 \pm 5\%$ como óxidos de N debido a la desnitrificación (Grageda-Cabrera, 1999). La lixiviación de nitratos puede ser de riesgo inmediato para la salud humana, ya que si ellos llegan al agua subterránea, aumentando la concentración a más de $10 \text{ mg L}^{-1} \text{ NO}_3^-$, y ésta es consumida por humanos (Water Quality Criteria Committee, 1972), puede causar metahemoglobinemia en niños y cáncer gástrico en adultos. Por otra parte, en general, las emisiones de N en forma de gas pueden contribuir a aumentar el efecto invernadero y a la destrucción de la capa de ozono (Raun y Johnson, 1999).

El contenido de potasio intercambiable o rápidamente aprovechable no simples es suficiente para satisfacer la demanda de los cultivos. Por ello, en México, el consumo de fertilizantes potásicos ha aumentado en los últimos años (Aguado-Lara *et al.*, 2002), no así la proporción del que es recuperado por el cultivo.

El uso de materiales de lenta liberación se ha propuesto para ayudar a reducir la contaminación por exceso de N que no es usado por el cultivo, disminuir su impacto en el ambiente y reducir costos en uso de dicho insumo, ya que éstos por su liberación controlada pueden aportar los nutrientes durante la etapa de crecimiento del cultivo, aumentando con ello la eficiencia de recuperación del N. Se ha observado que los materiales recubiertos con polyolefin (Singh *et al.*, 2004) reducen las pérdidas e incrementan el rendimiento de 22 a 23% cuando se utiliza sulfato de amonio recubierto y hasta 79% en el caso de la urea recubierta (Shoji y Kamo, 1994). En crisantemo, Catanazaro *et al.* (1998) observaron que la eficiencia de recuperación de nitrógeno fue más alta (64 a 68%), al usar un fertilizante de lenta liberación (FLL), en comparación con 41 a 46% de los tratamientos con fertilizantes líquidos. Miah *et al.* (2000) observaron que con el uso de oxamida y un FLL (urea recubierta) se incrementa la acumulación de materia seca.

Cabrera (1997) estudió las pérdidas por lixiviación de NO_3^- con el uso de FLL y fertilizante de liberación controlada (FLC), como Osmocote 18-6-12FS, Osmocote 24-4-8 HN, Prokote Plus 20-3-10 y Polyon 25-4-12, Nitricote 18-6-8 y Woodace 20-4-12, y observó que los FLL y FLC reducen pérdidas por lixiviación al ser más estables que los fertilizantes convencionales.

Estudios de fertilizantes de lenta liberación que incluyan N y otros macronutrientes son escasos. Se ha evaluado el efecto del fertilizante "Osmocote" (14-6-12) sobre el cultivo de cebolla encontrándose que, en invernadero, mejora el crecimiento y desarrollo de las cebollas e incrementa la concentración de NPK y Mg en el tejido y, en campo, produce una menor mortandad de plantas e incrementa la producción del bulbo de la cebolla en comparación con el fertilizante convencional (Amans y Slangen, 1994).

Davis (1996) trabajó con Multi-cote-7 (9-0-32), un FLL, y KCl (0-0-60) en algodón. Encontró que el FLL incrementa el K en el suelo y la concentración de N- NO_3^- en los peciolo, en las primeras etapas (en 9%). Desgraciadamente, éstos aun están en etapas experimentales y otros, ya en el mercado, tienen un precio mayor que no compensa su uso en lugar de los convencionales de alta solubilidad.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la eficiencia de recuperación y la eficiencia fisiológica de N y K provenientes de tres nuevos fertilizantes elaborados con una matriz diferente a la de los fertilizantes convencionales y compararlos con estos últimos, en trigo en condiciones controladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en invernaderos y laboratorios en Montecillo, estado de México. En un suelo de pH 7.7, clasificado como Vertisol háplico (USDA, 1988), con presencia de arcillas 2:1 detectadas en análisis en suelo utilizando difracción de rayos "X", por el método natural y radiación $\text{CuK}\alpha$ (Tessier, 1974) y trigo como cultivo indicador.

Los fertilizantes nuevos evaluados se denominaron AUK1, AUK2, y AUK3 los cuales presentan un mismo porcentaje de N (12.9) y K_2O (7.5), pero diferente proceso de elaboración matricial (diferencias en la intercalación del nutriente con la matriz arcillosa). Los fertilizantes comerciales que se usaron de referencia fueron urea y KCl. La fuente de fósforo que complementó

a los fertilizantes antes indicados fue superfosfato de calcio triple.

Los fertilizantes AUK1, AUK2 y AUK3 se elaboraron con una matriz de arcilla-nitrógeno-potasio, para aprovechar las características cinéticas de la arcilla que reducen la disolución de los nutrientes en el suelo.

Se evaluaron 13 tratamientos que resultaron de la combinación de AUK1, AUK2 y AUK3 y los fertilizantes comerciales, con tres dosis (equivalentes a 60, 100 y 140% de la dosis comercial de N para el cultivo de trigo en el Bajío Guanajuatense, que equivale a 270 mg N y 40 mg P₂O₅ por kg de suelo), más un testigo (para fines de cálculo de las eficiencias estudiadas). La dosis comercial se sobrestimó en 300% para su aplicación a las unidades experimentales, según lo recomendado para ensayos en invernadero (Terman *et al.*, 1962; Claro-Cortez *et al.*, 2002). Para equiparar la dosis de fertilización recomendada con el fósforo, éste se aplicó en una dosis constante, esto es 40 mg P₂O₅ kg⁻¹. El K que se adicionó fue proporcional a la cantidad de N aplicado.

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques al azar, con 12 repeticiones, en el invernadero, donde se registraron temperaturas máximas de 36 °C ± 3 y mínimas de 14 °C ± 3 durante el ensayo (19 de mayo al 2 de septiembre de 2003). La unidad experimental (UE) consistió en una bolsa de plástico con 3 kg del Vertisol háplico alcalino (USDA, 1988) y cuatro plantas de trigo, para lo cual se sembró la variedad de trigo harinero cv. JUCHI-F2000 de temporal del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Los fertilizantes se homogeneizaron con el suelo antes de la siembra, en la cual se depositaron ocho semillas de trigo, para dejar cuatro plantas a los tres días de emergencia. Para ajustar la humedad del suelo a 90% de capacidad de campo se regó diario, utilizando un procedimiento gravimétrico para llevar el peso de las macetas a ese valor.

Se realizaron muestreos en cada una de las etapas fenológicas: encañe, espigamiento, grano lechoso y madurez fisiológica. En cada muestreo, se cosechó la biomasa aérea de la planta de tres UE, determinándose materia seca (obtenida a 70 °C por más de 48 h o alcanzar peso constante), el contenido de N de la materia seca por el método Dumas (Bremner, 1965) y el contenido de K de la materia seca por absorción atómica. Se consideró la planta completa en las tres primeras etapas y la separación de rastrojo y grano en la madurez

fisiológica. La separación se realizó para poder calcular la eficiencia fisiológica del N y K. Las muestras se molieron en un molino y se pasaron por una malla de 1 mm (Axmann *et al.*, 1990) como parte de la preparación para el análisis químico. Los resultados se usaron en los cálculos de la eficiencia de recuperación y la eficiencia fisiológica de los nutrientes por el cultivo.

La eficiencia de recuperación del fertilizante (ERF) para el N y K se estimó con la metodología utilizada por Baligar *et al.* (2001) y López *et al.* (2002), la cual se conoce como el método de la diferencia. El porcentaje de la eficiencia de recuperación del fertilizante se estimó con la fórmula:

$$ERF (\%) = \frac{NF - NC}{NR} \times 100$$

donde: *ERF* = eficiencia de recuperación del fertilizante, *NF* = nutriente absorbido por la planta del tratamiento con fertilizante (kg ha⁻¹), *NC* = nutriente absorbido por la planta del tratamiento testigo (kg ha⁻¹), y *NR* = cantidad de nutriente aplicado con el fertilizante (kg ha⁻¹).

Para estimar la eficiencia fisiológica o eficiencia de uso del nutriente en el fertilizante (Ghulam *et al.*, 1996), es decir, el rendimiento de grano por la cantidad de N o K aplicado, se usó la fórmula:

$$EUF = \frac{RG}{NAF}$$

donde: *EUF* = eficiencia fisiológica o eficiencia de uso de nutriente en el fertilizante, *RG* = rendimiento de grano (kg ha⁻¹), y *NAF* = cantidad del nutriente aplicado proveniente del fertilizante (kg ha⁻¹).

Los datos de las eficiencias de recuperación nutrimental se sometieron a un análisis de varianza de parcelas divididas en el tiempo. Las parcelas grandes fueron las etapas fenológicas y las parcelas chicas los tratamientos antes indicados. Las eficiencias fisiológicas se sometieron a un análisis de varianza normal. El análisis estadístico fue complementado con una prueba de comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nitrógeno

Con relación a la eficiencia de recuperación del N (ERN), el análisis de varianza indicó que la interacción

de etapas fenológicas con dosis de N y tipos de fertilizantes fue significativa ($P \leq 0.05$). En la Figura 1, se observa que existe acumulación de N durante el desarrollo del trigo y que hay una relación negativa entre la dosis de N aplicada y la ERN en cada una de las etapas fenológicas muestreadas, independiente del tipo de fertilizante, lo que concuerda con lo reportado por López *et al.* (2002) y Golik *et al.* (2003).

En el Cuadro 1, se muestra la ERN de la interacción entre el tipo de fertilizante y la dosis comercial aplicada para la etapa de mayor interés económico (madurez fisiológica). En este grupo de datos se observa que no existe diferencia significativa entre fertilizantes, pero sí entre las dosis aplicadas ($DHS_{0.05} = 12.84$). En la etapa de grano lechoso, el AUK3 resultó con mayor ERN (Figura 1) cuando se aplicó 60% de la dosis comercial recomendada.

En general, las ERN encontradas en este ensayo son altas comparadas con las reportadas para trigo en condiciones de campo. La ERN que observaron Raun y Johnson (1999) en el trigo fue de 27 y 33% después de aplicar N (52 a 112 kg ha⁻¹) anualmente por cinco años.

Se ha observado que por el método de la diferencia sólo puede calcularse una recuperación aparente del fertilizante que no siempre es igual a la recuperación real, obtenida con el uso de ¹⁵N. Con el método de la diferencia se han encontrado valores de 0 a más de 100% (153 ± 26) de eficiencia de recuperación para la urea (López *et al.*, 2002). Pilbeam *et al.* (1997) reportaron ER de 51 a 102%, coincidiendo con lo encontrado en el presente estudio con una dosis de 60% de lo recomendado comercialmente.

La eficiencia fisiológica del N (EFN) fue afectada por la interacción entre fertilizantes x dosis de N. En la Figura 2, se observa que, en general, a mayor dosis de N aplicada menor EFN, excepto para AUK2 con el cual la EFN es similar con 100 y 140% de la dosis de N

Cuadro 1. Porcentaje de la eficiencia de recuperación de nitrógeno a la madurez fisiológica.

Dosis N	Fertilizante			
	AUK1	AUK2	AUK3	Fc
%	%			
60	74.86 a†	74.20 a	75.70 a	73.57 a
100	55.60 b	59.76 b	51.97 bc	49.83 bc
140	39.26 bc	37.93 c	33.00 c	29.83 c
$DHS_{0.05}$	12.84%			

† Valores seguidos de la misma letra tanto en columna como en hilera son estadísticamente iguales.

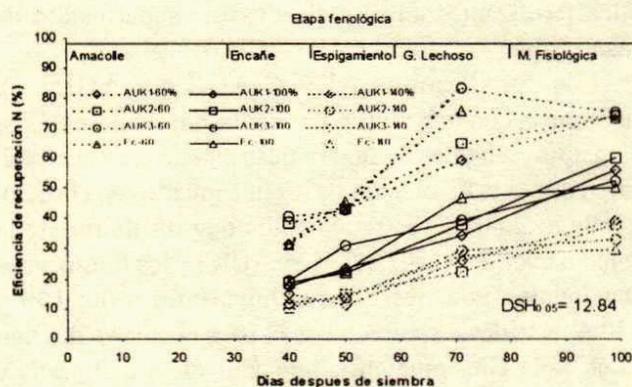


Figura 1. Eficiencia de recuperación de nitrógeno por fertilizante y dosis aplicada.

aplicada. Con la dosis comercial aplicada en el presente estudio, los fertilizantes de lenta liberación no presentan una mayor eficiencia fisiológica respecto al fertilizante comercial.

La EFN del AUK2 concuerda con el nitrógeno acumulado en grano (Figura 3), es decir que también se observó una mayor acumulación de N en grano con el mismo tipo de fertilizante, lo cual pudo deberse al proceso de elaboración de dicho material.

El hecho de no haber encontrado diferencias marcadas entre los fertilizantes para la ERN y EFN pudo deberse a que la forma de estimar dichas eficiencias aparentemente no es aplicable cuando se usan dosis altas de N debido a que el denominador es determinante, más que la diferencia que resulta en el numerador de la fórmula utilizada, es decir la resta de nutrimento absorbido por la planta con fertilizante evaluado menos nutrimento absorbido por la planta testigo.

Potasio

El análisis de varianza indicó que la interacción entre etapas fenológicas con las dosis de K y el tipo de

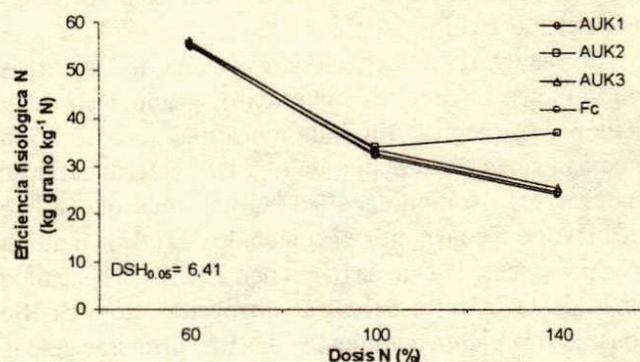


Figura 2. Eficiencia fisiológica de nitrógeno.

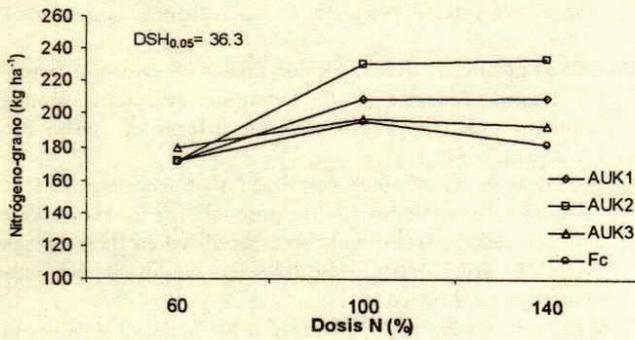


Figura 3. Acumulación de nitrógeno en grano por efecto de la dosis y el fertilizante aplicado.

fertilizante afectó ($P \leq 0.05$) la eficiencia de recuperación de K (Figura 4), la cual presentó una tendencia similar a la del N. Con la dosis aplicada a 60% se obtiene la mayor eficiencia de recuperación a través del tiempo. Conforme se aumentó la dosis, se redujo la ERK.

Los bajos porcentajes de eficiencia de recuperación de K del presente estudio en parte pueden atribuirse a la presencia de micas y esmectitas arcillas 2:1 que se encontraron en la fracción fina del suelo utilizado por difracción de rayos "X", por el método natural y radiación $CuK\alpha$. Como también al contenido de K intercambiable que fue de $1.6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

Con relación a la eficiencia fisiológica del potasio, el análisis de varianza ($P \leq 0.05$) indicó que hay diferencias entre dosis de K aplicadas. En la Figura 5, se muestra que hay una mayor producción de grano por kilogramo de potasio aplicado con la dosis más baja evaluada.

En las Figuras 4 y 5, se observa que la ERK y la EFK se reducen conforme se incrementa la dosis, y aunque en la actualidad en México el K no es muy

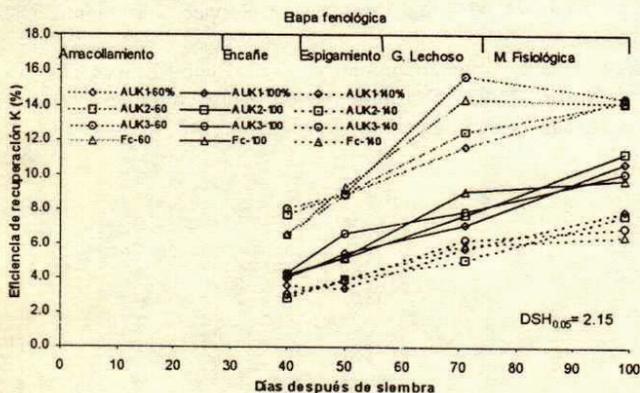


Figura 4. Eficiencia de recuperación de potasio por dosis aplicada por etapa fenológica.

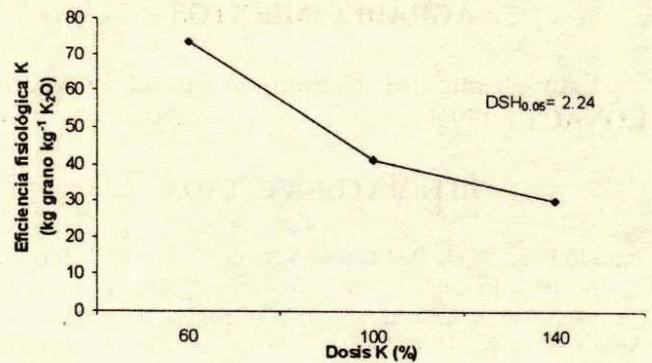


Figura 5. Eficiencia fisiológica para potasio.

utilizado para fertilizar el trigo, es importante su estudio ya que la respuesta a la aplicación de K en gramíneas es cada vez mayor debido al mejor potencial de rendimiento de las nuevas variedades (González-Eguiarte *et al.*, 2000). La Figura 5 muestra que el trigo presenta respuesta estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) a dosis bajas de K. Esta respuesta puede ser consecuencia del efecto sinérgico con la aplicación de N, la cual puede favorecer un incremento en el rendimiento y en el contenido de proteína (Shaviv y Mikkelsen, 1993).

CONCLUSIONES

- Las eficiencias de recuperación de N y K disminuyen con el aumento de la dosis aplicada (a partir del espigamiento hasta la madurez fisiológica), sin existir diferencias entre los fertilizantes evaluados.
- La recuperación de N, debido al incremento en las dosis aplicadas, disminuyó de 84 a 24% en la etapa de grano lechoso y de 76 a 30% en la madurez fisiológica.
- El AUK3 resultó con mayor ERN cuando se aplicó 60% de la dosis comercial aplicada.
- Debido al incremento en las dosis aplicadas, la recuperación de K disminuyó de 15.7 a 5.1% en la etapa de grano lechoso y de 14.5 a 6.5% en la madurez fisiológica.
- La eficiencia fisiológica de N se reduce al incrementar la dosis de N aplicada, estabilizándose cuando se usó el AUK2 con las dosis igual o mayor necesarias para obtener el máximo rendimiento de trigo.
- La eficiencia fisiológica de K se redujo (de 73.5 a 30.1 kg de grano por kg de K_2O) con el incremento de la dosis aplicada (de 60 a 140% de la dosis comercial), sin existir diferencias entre los fertilizantes evaluados.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por el Proyecto CONACYT 38999.

LITERATURA CITADA

- Aguado-Lara, G., J. D. Etchevers-Barra, C. Hidalgo-Moreno, A. Galvis-Espinola y A. Aguirre-Gómez. 2002. Dynamic of potassium in agricultural soils. *Agrociencia* 36: 11-21.
- Amans, E. B. y J. H. G. Slangen. 1994. The effect of controlled release fertilizers "Osmocote" on growth, yield and composition of onion plants. *Fert. Res.* 37: 79-84.
- Axmann, H., A. Sebastianelii y J. L. Arrillaga. 1990. Técnicas de preparación de muestras de material biológico para el análisis isotópico. pp. 51-69. *In: Harderson, G. (ed.). Empleo de técnicas nucleares en los estudios de la relación suelo-planta. Food and Agriculture Organization-OIEA. Viena, Austria.*
- Baligar, V. C., N. K. Fageria y Z. I. He. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32(7-8): 921-950.
- Bremner, J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. pp. 179-206. *In: Black, C. A. (ed.). Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison, WI, USA.*
- Cabrera, R. I. 1997. Comparative evaluation of nitrogen release patterns from controlled-release fertilizers by nitrogen leaching analysis. *HortScience* 32: 669-673.
- Catanazaro, C. J., K. A. Williams y R. J. Sauve. 1998. Slow release versus water soluble fertilization affects nutrient leaching and growth of potted chrysanthemum. *J. Plant Nutr.* 21: 1025-1036.
- Claro-Cortez, P., R. Núñez-Escobar, J. D. Etchevers-Barra, P. Sánchez-García y J. Alvarado-López. 2002. Greenhouse grown maize response to sulphur in two soils of Puebla State, Mexico. *Agrociencia* 36: 633-642.
- Davis, J. G. 1996. Provision of mid-season potassium requirements in cotton with slow release potassium applied pre-plant. *J. Plant Nutr.* 19: 1-14.
- Ghulam, Hussain, Ali A. Al-Jaloud y Shaik Karimulla. 1996. Effect of treated effluent irrigation and nitrogen on yield and nitrogen use efficiency of wheat. *Agric. Water Manage.* 30: 175-184.
- Golik, S. I., H. O. Chidichimo, D. Oérez y L. Pane. 2003. Acumulación, removilización, absorción post-antesis y eficiencia de utilización de nitrógeno en trigo bajo diferentes labranzas y fertilizaciones. *Pesq. Agropec. Bras. Brasil.* 38: 619-626.
- González-Eguiarte, D. R., S. Alcalde-Blanco, J. Ortiz-Cereceres y A. Castillo-Morales. 2000. Dinámica de acumulación de potasio por trigo cultivado en diferentes ambientes. *Agrociencia* 34: 1-11.
- Grageda-Cabrera, O. A. 1999. Fertilización nitrogenada en el Bajío Guanajuatense como fuente potencial de contaminantes ambientales. Tesis doctoral con especialidad en Biotecnología. CINVESTAV-Instituto Politécnico Nacional. Irapuato, Guanajuato, México.
- López, S., E. Guevara, M. Maturano, M. Melaj, J. P. Bonetto, S. Meira, O. Martín y N. Bárbaro. 2002. Absorción de nitrógeno en trigo en relación con la disponibilidad hídrica. *Terra* 20: 7-15.
- Miah, M. Y., M. K. Wang y M. Chino. 2000. Wheat grown on volcanic ash with slow releasing nitrogen fertilizer and amended with sewage sludge compost. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31(5/6): 695-703.
- Mortvedt, J. J. 1994. Needs for controlled-availability micronutrient fertilizers. *Fert. Res.* 38: 213-221.
- Pilbeam, C. J., A. M. McNeill, H. C. Harris y R. S. Swift. 1997. Effect of fertilizer rate and form on the recovery of ¹⁵N-labelled fertilizer applied to wheat in Syria. *J. Agric. Sci.* 128: 415-424.
- Raun, W. R. y G. V. Johnson. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agron. J.* 91: 357-363.
- Shaviv, A. y R. L. Mikkelsen. 1993. Controlled release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation: a review. *Fert. Res.* 35: 1-12.
- Shoji, K. y H. Kanno. 1994. Use of polyolefin-coated fertilizers for increasing fertilizer efficiency and reducing nitrate and nitrous oxide emissions. *Fert. Res.* 39: 147-152.
- Singh, K., H. C. Sharma, C. S. Singh, Y. Singh, N. K. Nishizawa y S. Mori. 2004. Effect of polyolefin resin coated slow release iron fertilizer and its methods of application on rice production in calcareous soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50: 1037-1042.
- Terman, G. L., D. R. Boulding y J. R. Webb. 1962. Evaluation of fertilizers by biological methods. *Adv. Agron.* 14: 265-319.
- Tessier, D. M. R. 1974. Méthode de préparation d'argiles pour des études minéralogiques. *Ann. Agron.* 25: 859-882.
- USDA (US Department of Agriculture). 1988. Soil Taxonomy. Handbook 436. Soil Conservation Service. Washington, DC, USA.
- Water Quality Criteria Committee. 1972. Report EPA R3.73.033. March 1972. National Academy of Sciences-National Academy of Engineering. Washington, DC, USA.