

USO DE CLINOPTILOLITA COMO VEHÍCULO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EN UN SUELO DE LA REGIÓN PAMPEANA ARGENTINA

G. Millán¹, F. Agosto², M. Vázquez¹, L. Botto², L. Lombardi¹ y L. Juan¹

Introducción

La dinámica del nitrógeno (N) en sistemas suelo-aire-agua ha sido objeto de gran interés en la literatura científica, debido al relevante papel que desempeña en la producción agrícola y por la importancia de un uso racional del nutriente. El aumento de la eficiencia de uso del N (EUN), debido al uso de tecnologías de suministro gradual, tiene repercusión sobre la producción vegetal y es un factor fundamental para reducir la contaminación del ambiente (Bolado Rodríguez et al., 2003). En Argentina se ha demostrado la contaminación de aguas subterráneas y superficiales como consecuencia de la fertilización nitrogenada (Costa, 1997; Andriulo et al., 2000). Por lo tanto, el desarrollo de tecnologías de fertilización de liberación lenta de N podría disminuir la contaminación y mejorar los rendimientos de los cultivos.

Las zeolitas son una familia de minerales aluminosilicatos hidratados altamente cristalinos. Su estructura forma cavidades ocupadas por iones grandes y moléculas de agua con gran libertad de movimiento, lo que permite que los iones adsorbidos en los canales internos de la misma, puedan ser intercambiados (Breck, 1974). La ingeniería de zeolitas permite que sean aplicadas como vehículo de principios activos (microbicidas, antiácidos, antiglicemiantes, antibióticos, etc.) tanto a especies sintéticas como naturales en la industria farmacéutica. En este aspecto las zeolitas naturales pueden y deben ser consideradas como materiales con propiedades físicas y químicas susceptibles de modificación, favoreciendo el diseño y desarrollo de nuevos materiales y tecnologías. Los reportes de uso de las rocas zeolíticas en la cultura de los suelos se remontan al Japón de los inicios del siglo pasado (Giannetto et al., 2000) y su aplicación se encuentra referida a tres propiedades: i) capacidad y selectividad al intercambio catiónico, ii) modificación de la granulometría del suelo, y iii) adsorción de agua.

El cultivo de plantas sin suelo mediante el uso de un sustrato zeolítico se basa en las propiedades que facilitan el almacenaje de macro y micronutrientes (K, NH_4^+ , Ca, Fe, Mg) necesarios para el crecimiento vegetativo de la planta, el almacenaje de agua, la posibilidad de soporte mecánico de raíces y la oxigenación de las mismas durante el proceso de desorción de agua y llenado de cavidades por moléculas de O_2 y N_2 del aire (Ming et al., 1995). En general, la variabilidad estructural, térmica y

composicional de las zeolitas naturales hacen que continúen vislumbrándose múltiples aplicaciones en el ámbito agropecuario para estos materiales.

La clinoptilolita es la zeolita natural más abundante en la naturaleza. Existen importantes yacimientos de estos materiales en Latinoamérica entre ellos Chile (Maurelia et al., 2000), México (Olguín Gutiérrez, 2009), Ecuador (Morante Carballo, 2004), y Cuba (Márquez Canosa et al., 2007). En Argentina existen yacimientos de importancia que podrían asociarse a importantes beneficios socioeconómicos. Por ende, y debido a la variabilidad que presentan los materiales naturales, es mucho lo que puede hacerse en el campo de las zeolitas argentinas, tanto en lo referente a la potencialidad de los depósitos como en la determinación de las propiedades fisicoquímicas, pilares sobre los que se sustenta el desarrollo de tecnologías propias. Estudios geológicos realizados en la zona de Cuenca de Pagancillo, departamento de Independencia, centro oeste de la provincia de La Rioja determinaron la presencia de un material zeolítico de elevado potencial de interés económico (Agosto et al., 2005).

La clinoptilolita posee una alta capacidad de intercambio catiónico y una gran afinidad por los iones NH_4^+ (Inglesakis, 2004). Aunque existe cierta controversia, se atribuye a las clinoptilolitas, la capacidad de retener y liberar lentamente los iones NH_4^+ que se incorporan en la red de canales que forman su estructura cristalina (Lewis et al., 1984; Ferguson y Pepper, 1987; MacKown y Tucker., 1985; Allen et al., 1996; Kithome et al., 1998). La dinámica de liberación de moléculas nitrogenadas ocluidas en la clinoptilolita difiere de la de iones. Las moléculas nitrogenadas quedan retenidas por atracción electroestática y se producen en ellas modificaciones en sus ángulos moleculares y en los enlaces simples y dobles (Park y Komarneni, 1998).

La dinámica suelo-clinoptilolita-N es variable, dependiendo de las características fisicoquímicas de los suelos, de la dosis de clinoptilolita y N aplicada, del manejo del cultivo y de la época del año en la cual se realizan los ensayos (Kolyagin y Karasev, 1999; Postnikov et al., 1996; Ando et al., 1996; Babaririck y Pirela, 1984; Lewis et al., 1984). Esto sugiere la necesidad de evaluar los suelos donde se emplearán. En trabajos previos, la utilización de clinoptilolita ha permitido aumentar la eficiencia de utilización de

¹ Cátedra de Edafología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. Calle 60 y 119 (1900). La Plata, Argentina.

² Cátedra de Química Inorgánica, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP. Calle 47 y 115 (1900). La Plata, Argentina.

fertilizantes nitrogenados y obtener altos rendimientos con menores dosis de N (Loboda, 1999; Soca et al., 2004). Por lo tanto, es posible que el aporte de N con soporte de clinoptilolita, permita aumentar la eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado en comparación con una fertilización solo a base de urea.

El objetivo de este trabajo es evaluar la producción de materia seca y la recuperación de N del fertilizante en raigrás anual (*Lolium multiflorum*), cultivado bajo cubierta en un suelo franco arenoso, fertilizado con clinoptilolita-NH₄ y clinoptilolita-urea, en comparación con una fertilización nitrogenada tradicional con urea granulada.

Materiales y métodos

Obtención y características de la clinoptilolitas

Las clinoptilolitas utilizadas se obtuvieron en un yacimiento de zeolita de La Rioja, Argentina. Correspondieron a clinoptilolitas sódicas, de origen vulcanoclástico, con alta capacidad de intercambio catiónico (Chelischev et al., 1988) (Tabla 1). Se molieron y tamizaron a un diámetro de partículas entre 1 y 2 mm. Para obtener la forma mono-iónica amónica, se utilizó un matraz de 500 ml donde se trató 50 g de clinoptilolita con 500 mL de NH₄Cl 0.5 N en relación 1:10 (clinoptilolita:solución nitrogenada de intercambio). Este proceso se prolongó por 96 h a 20 °C (± 2 °C). Se evaluó el NH₄⁺ retenido por destilación Kjeldhal. El NH₄⁺ que ocupó los sitios de intercambio de la clinoptilolita se calculó por la diferencia entre la concentración inicial y final de NH₄⁺ en el sobrenadante (Inglezakis et al., 2004). Las clinoptilolitas combinadas con urea se obtuvieron tratando primero 50 g de clinoptilolita con 500 mL de HCl 0.5 N en un matraz de 500 mL durante 96 h a 20 °C (± 2 °C), renovando la solución de intercambio cada 48 horas (Inglezakis et al., 2004), de modo de obtener una clinoptilolita ácida (clinoptilolita-H) libre de cationes. Finalmente se obtuvo la clinoptilolita-urea por intercambio en lechos

de contacto de urea fundida a 200 °C con clinoptilolita-H. Se calculó la urea incorporada en la clinoptilolita por diferencia de peso.

El suelo utilizado se obtuvo de los primeros 20 cm del horizonte superficial de un Hapludol Típico (Lincoln, Buenos Aires, Argentina), perteneciente a la subregión Pampa Arenosa de la Pradera Pampeana. El suelo se secó al aire, se desagregó, se tamizó (malla de 2 mm) y se caracterizó física y químicamente según SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación y la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo) (Tabla 1).

Ensayo de invernáculo

Se realizó un ensayo en invernáculo donde los factores fueron el tipo de fertilizante (clinoptilolita-NH₄, clinoptilolita-urea y urea) y las dosis de N (0, 60, 120 y 180 kg ha⁻¹ de N). Las unidades experimentales fueron macetas de 0.4 L con 300 g de suelo. En función de la concentración de N de la clinoptilolita modificada, las dosis de N empleadas derivaron en relaciones (p/p) suelo:clinoptilolita de 1:0; 1:0.0003; 1:0.0006 y 1:0.0012 para las dosis de 0, 60, 120 y 180 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Se fertilizó y se regó de modo de mantener el suelo a 90% de capacidad de campo (3 MPa), mediante riegos realizados con agua destilada cada 48 h. Se sembraron 130 semillas por maceta de *Lolium multiflorum* cv. Grandesa tetraploide. Pos-emergencia, se ralearon para dejar 100 planta maceta⁻¹. A partir de la emergencia, se realizaron cuatro cortes, al ras de la maceta, cada 28 d. En cada ocasión se determinó la materia seca (MS) (peso constante a 60 °C) y N (digestión húmeda en medio sulfúrico con H₂O₂ y valoración Kjeldahl) (Malavolta et al., 1989). Por otro lado, se calculó la eficiencia de recuperación del N del fertilizante (ERNF), utilizando la siguiente fórmula:

$$ERNF = [(N \text{ absorbido tratamiento} - N \text{ absorbido testigo}) / (\text{dosis de N aplicado})^{-1}] \times 100.$$

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica del suelo y la clinoptilolita.

Suelo															
pH ^a	CE	CIC ^b	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	MO ^c	N	C:N	P ^d	Arena	Limo	Arcilla	3 Mpa	147 Mpa
	dS m ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹					%			ppm	Franco arenoso (%)			RH (%)
5.6	0.8	15.2	10.2	1.5	0.5	1.8	3.4	0.19	10.5	19	53	31	16	25	9
Clinoptilolita															
CIC ¹	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	MnO	K ₂ O	P ₂ O ₅						
cmol _c kg ⁻¹				%											
175	62.7	12.5	0.6	0.4	0.6	6.4	0.01	1.2	0.03						

^a pH determinado en extracto de suelo en relación 1:2.5, suelo:agua.

^b Capacidad de intercambio catiónico (CIC) evaluada a pH 6.

^c MO Walkey Black.

^d P Bray y Kurtz¹.

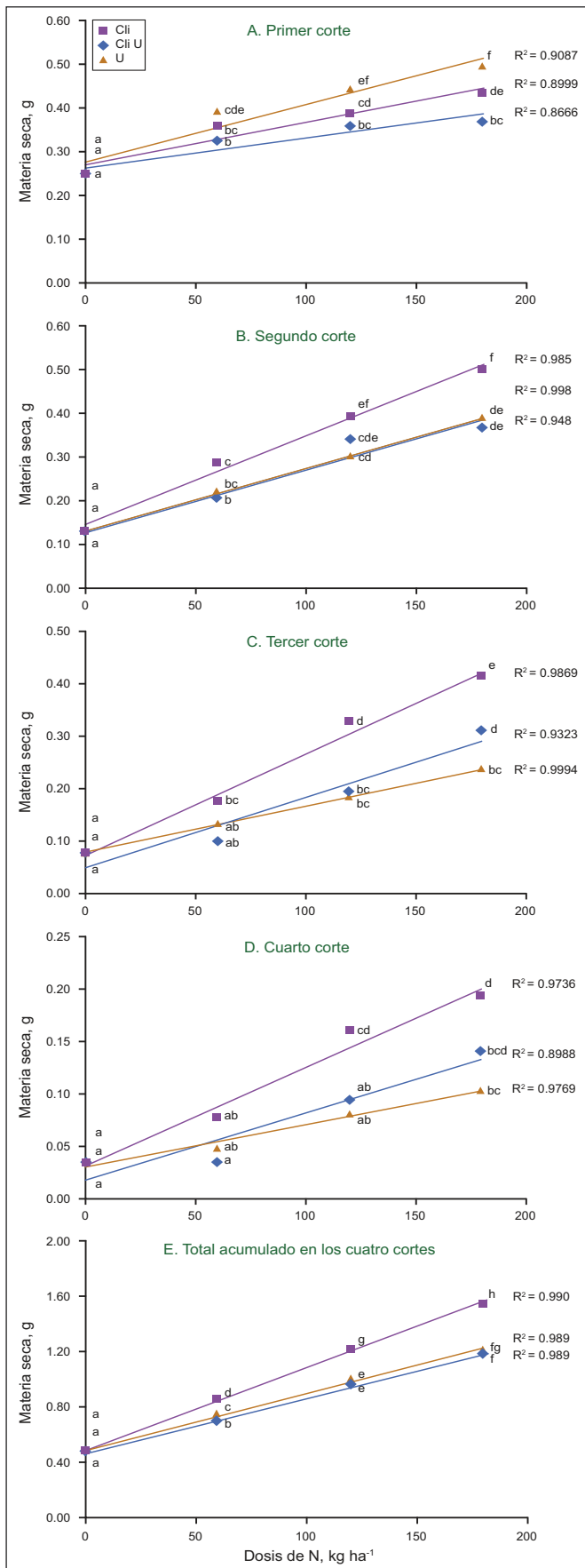


Figura 1. Efecto de tres tipos de fertilizantes nitrogenados sobre los rendimientos de MS de *Lolium multiflorum* cv. grandeza. Promedios en cada dosis de N seguidos por iguales letras no son estadísticamente diferentes entre sí según la prueba de comparación múltiple de medias LSD ($p < 0.05$). Cli = clinoptilolita-NH₄ y Cli U = clinoptilolita-Urea. U = urea.

Diseño y análisis estadísticos

El diseño estadístico fue en bloques completos al azar con arreglo factorial 3 x 4, con tres repeticiones de cada tratamiento. Los factores fueron tres tipos de fertilizante (clinoptilolita-NH₄, clinoptilolita-urea y urea) y los niveles cuatro dosis de N equivalentes a 0, 60, 120 y 180 kg ha⁻¹. Se realizó un análisis de varianza y los promedios se separaron de acuerdo con la prueba de las diferencias mínimas significativas (LSD) (Mendenhall et al., 1986).

Resultados

Producción de materia seca

En cuatro cortes realizados, la producción de MS total aumentó significativamente para todas las dosis de N empleadas cuando se utilizó clinoptilolita-NH₄, en comparación con la utilización de urea granulada (Figura 1E). Independientemente de la forma de utilización de la clinoptilolita, este aumento de rendimiento coincidió con lo expuesto en trabajos previos (Pirela et al., 1984; Kolyagin y Karasev, 1999; Soca et al., 2004). En relación al rendimiento obtenido con el uso de urea, con clinoptilolita-NH se obtuvo incrementos de rendimiento del 13, 25 y 26 % respectivamente en la medida que aumentó la dosis de N, (Figura 1E). Se observó que la utilización de este tipo de fertilizante permitió obtener rendimientos estadísticamente similares a urea aplicada en dosis mayores. Por ejemplo, cuando se aplicaron 120 kg ha⁻¹ utilizando clinoptilolita-NH₄ se obtuvieron rendimientos equivalentes a los obtenidos con la utilización de urea en la dosis de 180 kg ha⁻¹.

Al analizar la producción total de MS de *Lolium multiflorum*, la interacción entre tipo de fertilizante nitrogenado y la dosis fue significativa ($p < 0.001$). En la producción por cada corte, se observó que para la dosis de 60 kg ha⁻¹, los tratamientos fertilizados con clinoptilolita-NH₄ y urea no registraron diferencias significativas. Sin embargo, a dosis mayores existió un comportamiento diferencial según el tipo de fertilizante utilizado y el corte analizado.

Para el primer corte, los tratamientos fertilizados con urea exhibieron una mayor producción de materia seca para las dosis de 120 y 180 kg ha⁻¹ (Figura 1A). En el segundo corte se determinó una mayor producción de los tratamientos fertilizados con clinoptilolita-NH₄ sólo en la dosis de 180 kg ha⁻¹ (Figura 1B). En el tercer y cuarto corte, el aumento de la producción de MS se registró para las dosis de 120 y 180 kg ha⁻¹ cuando se utilizó clinoptilolita-NH₄ (Figura 1C, D). En las condiciones en que se realizó el ensayo, con un suelo mantenido a 90% de capacidad de campo y sin percolación, las pérdidas por volatilización de NH₃ serían bajas y el riesgo de pérdidas por lixiviación de NO₃ reducido. Por lo cual, se atribuye el aumento de

rendimiento de MS a la capacidad de retención de iones NH_4^+ que poseen las clinoptilolitas y a su lenta liberación, permitiendo la existencia de iones NH_4^+ en la solución del suelo por un periodo mayor de tiempo. En este sentido, Watson (1986) demostró que las plantas de raigrás anual pueden absorber preferencialmente NH_4^+ y que su crecimiento vegetativo se ve favorecido en un medio con una baja relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (Griffith y Streeter, 1994). Así, el NH_4^+ que ocupa los canales internos de la clinoptilolita, sería liberado lentamente permitiendo una absorción progresiva por el cultivo favoreciendo una mayor producción de MS a lo largo del cultivo. Este efecto sobre los rendimientos se observa con mayor magnitud en suelos con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) y textura gruesa (Ferguson y Pepper, 1987), como ocurrió en el suelo utilizado en este ensayo.

En los tratamientos fertilizados con clinoptilolita-urea, la producción de MS total de *Lolium multiflorum* obtenida registró valores similares para las dosis de 120 y 180 kg ha^{-1} de N. Sin embargo, con 60 kg ha^{-1} de N, la producción de MS fue menor a la del tratamiento fertilizado con urea (Figura 1E). Al analizar la producción por cortes de *Lolium multiflorum*, la producción de MS fue inferior para todas las dosis de N en el primer corte, en relación a la urea (Figura 1A). En el segundo corte no se observaron diferencias estadísticamente significativas para las distintas dosis analizadas (Figura 1B). En el tercer corte sólo se observó diferencia para la dosis de 180 kg ha^{-1} , a favor de la utilización de clinoptilolita-urea (Figura 1C). Ya en el cuarto corte no se registraron diferencias entre los distintos tratamientos (Figura 1D). Esto indicaría que la urea ocluida en la clinoptilolita, estaría fuertemente retenida, presentando una dinámica de liberación más lenta, si se la compara con la retención de iones (Park y Komarnemi, 1998).

Contenido de N en materia seca

El contenido de N total (NT) en la parte aérea de *Lolium multiflorum* presentó una marcada diferencia en relación a las dos formas de utilización de la clinoptilolita (Tabla 2). Independientemente de la fecha de corte de *Lolium multiflorum*, la interacción entre el efecto del tipo de fertilizante nitrogenado y la dosis aplicada fue significativa ($p < 0.001$). Cuando se utilizó clinoptilolita- NH_4 el contenido de NT en la parte aérea se

Tabla 2. N total en la parte aérea de *Lolium multiflorum*. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos.

Tipo de fertilizante	Dosis de N kg ha^{-1}	N Total parte aérea, mg			
		Corte 1	Corte 2	Corte 3	Total
Clinoptilolita- NH_4	0	5.0 a	2.2 a	1.0 a	8.1 a
Clinoptilolita- NH_4	60	11.9 c	5.5 c	1.8 c	20.2 c
Clinoptilolita- NH_4	120	16.5 ef	12.0 ef	3.5 ef	31.9 ef
Clinoptilolita- NH_4	180	18.3 f	17.1 f	5.1 f	40.5 f
Clinoptilolita-Urea	0	5.0 a	2.2 a	1.0 a	8.1 a
Clinoptilolita-Urea	60	9.3 b	4.4 b	1.2 b	14.9 b
Clinoptilolita-Urea	120	12.9 c	9.0 c	2.1 c	24.0 c
Clinoptilolita-Urea	180	13.4 cd	10.6 cd	3.5 cd	27.5 cd
Urea	0	5.0 a	2.2 a	1.0 a	8.1 a
Urea	60	15.0 de	4.1 de	1.4 de	20.5 de
Urea	120	18.5 f	7.6 f	1.9 f	28.0 f
Urea	180	22.7 g	10.0 g	2.5 g	35.3 g

correlacionó con la producción de MS, analizada en el punto anterior. Para la dosis más baja (60 kg ha^{-1} de N) no se observaron diferencias en los contenidos de NT. Sin embargo, para las dosis de 120 y 180 kg ha^{-1} de N se observó que la utilización de clinoptilolita- NH_4 permitió incrementar el NT en relación a la urea. Por el contrario, el contenido de NT de los tratamientos fertilizados con clinoptilolita-urea fue inferior a la de los tratamientos fertilizados directamente con urea.

Al analizar NT por cortes de *Lolium multiflorum* se observó que en el primer corte, fue la urea el tipo de fertilizante que permitió obtener una mayor disponibilidad de N. Esta diferencia se observó para todas las dosis analizadas en relación a la clinoptilolita-urea, y para las dosis de 60 y 180 kg ha^{-1} si la comparación la realizamos con la clinoptilolita- NH_4 . En el segundo corte, los tratamientos fertilizados con clinoptilolita- NH_4 registraron el mayor contenido de NT, en relación a los restantes tipos de fertilizantes usados. En este corte, la urea sólo presentó diferencias significativas con la clinoptilolita-urea para la dosis de 120 kg ha^{-1} . En el tercer corte de *Lolium multiflorum*, la clinoptilolita- NH_4 fue el tipo de fertilizante que permitió aumentar el NT para todas las dosis empleadas. En el mismo corte, se observó que la utilización de clinoptilolita-urea permitió aumentar el NT en relación a la urea para la dosis de 180 kg ha^{-1} (Tabla 2). Esto indicaría que la dinámica de desorción de las clinoptilolitas intercambiadas (clinoptilolitas- NH_4) fue más rápida a la de las formas ocluidas (clinoptilolita-urea). El proceso de liberación de los iones NH_4^+ adsorbidos internamente en la clinoptilolita es un proceso de difusión controlada, que responde al modelo de Freundlich modificado (Kithome et al., 1998).

En el presente estudio, la fracción retenida en las formas ocluidas fue mayor a la de las formas intercambiadas, en concordancia con la investigación previa (Park y Komarneni, 1998). En el proceso de preparación de la clinoptilolita-urea, el ingreso de una molécula en los canales de la clinoptilolita produce la modificación de los ángulos de la misma, pudiendo inclusive cambiar los tipos de enlace (simples y dobles) y generándose varios sitios de atracción entre la molécula de urea y la clinoptilolita. Dicho proceso explicaría la disminución de la velocidad de desorción de la urea en relación al NH_4^+ (Park y Komarneni, 1998). Asimismo, no toda la urea ocupa los canales de la clinoptilolita, sino que existe la posibilidad de que una fracción de la urea quede adherida en la superficie externa de dicho mineral, existiendo por tanto, una fracción fácilmente disponible similar a la urea granulada.

Eficiencia de recuperación del N

Según los resultados obtenidos, existió una marcada diferencia en la eficiencia de recuperación entre urea y las clinoptilolitas. Se registró una interacción significativa ($p < 0.013$) entre el tipo de fertilizante y la dosis de N aplicada en el primer y tercer corte para ERNF. La clinoptilolita- NH_4 aumentó la ERNF en dosis de 120 y 180 kg ha^{-1} de N, en relación con la fertilización con urea. Con 60 kg ha^{-1} de N, la ERNF fue similar (Figura 2). Esto indicaría que el aumento de la eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado al utilizar clinoptilolita intercambiada con NH_4^+ se podría atribuir a la relación suelo:clinoptilolita.

En el presente ensayo se trabajó con una sola clinoptilolita intercambiada; por lo tanto, el aumento de la dosis de N implica un aumento de la cantidad de clinoptilolita por maceta. Para las dosis de 60, 120 y 180 kg ha^{-1} de N, las relaciones (p/p) suelo:clinoptilolita fueron de 1:0.0003; 1:0.0006 y 1:0.0012. Al analizar trabajos previos, se observó que las relaciones utilizadas en suelos de textura y CIC similar, si bien son muy diversas, todas ellas son mayores a las del presente trabajo. Weber et al (1983) utilizaron una relación de 1:0.056; MacKown y Tucker (1985) trabajaron con relaciones de 1:0.0125 y Pirela et al (1984) lo hicieron con relaciones de 1:0.0033, encontrando todos ellos mejor resultado con clinoptilolita- NH_4 que con urea. La eficiencia de recuperación de N de los tratamientos fertilizados con clinoptilolita-urea fue muy baja en relación a los otros tratamientos. Dado que en el ensayo se mantuvo la humedad del suelo a 90% de la capacidad de campo y, por lo tanto, no hubo lixiviación ni probabilidades de volatilización cuantitativamente importantes, se entiende que esta baja recuperación no responde a un aumento de las pérdidas de N, sino que estaría dada por la capacidad de retención de las moléculas de urea en los canales de la clinoptilolita.

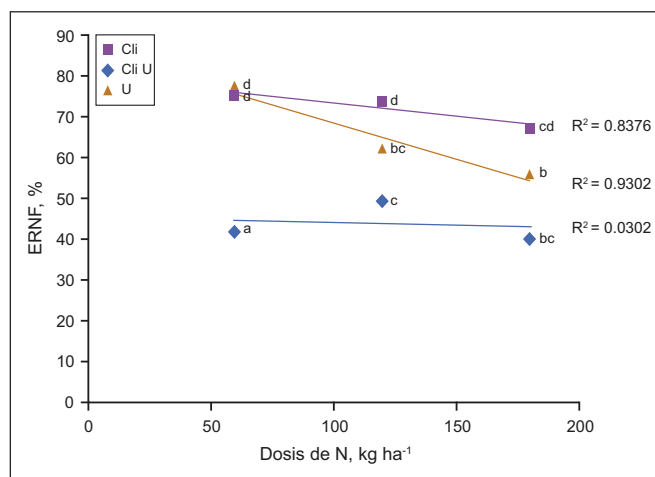


Figura 2. Eficiencia de recuperación del fertilizante (ERNF) aplicado a *Lolium multiflorum* en todos los tratamientos. Promedios en cada tratamiento seguidos por iguales letras no son estadísticamente diferentes entre sí según la prueba de comparación múltiple de medias LSD ($p < 0.05$). Cli = clinoptilolita- NH_4 , Cli U = clinoptilolita-urea y U = urea.

Como se explicó anteriormente, el proceso de fusión de la urea para la preparación de clinoptilolita-urea posibilita la ubicación de dicho compuesto en sitios internos de los canales, donde queda retenida por atracción electrostática, y en sitios externos donde queda adherida a la superficie del mineral. El N disponible proviene fundamentalmente de la urea adherida en la superficie externa y en los bordes de dicho material. La urea que ingresó en los canales de la clinoptilolita no estaría disponible en el ciclo del cultivo, quedando ocluida en dichos canales (Park y Komarneni, 1998).

Conclusiones

El complejo clinoptilolita-urea produjo rendimientos de MS inferiores o similares a la utilización de urea a una misma dosis de N aplicada. Además, originó una disminución significativa de la eficiencia de recuperación del N del fertilizante en las condiciones del ensayo.

Por otra parte, el uso de clinoptilolita- NH_4 permitió incrementar la producción de MS de *Lolium multiflorum* respecto de igual dosis aplicada de N en forma de urea. Asimismo, el uso de este tipo de fertilizante permitió, utilizando menores dosis de N, alcanzar producciones de MS similares a las obtenidas con urea. Además, la utilización de clinoptilolita- NH_4 permitió aumentar la eficiencia de recuperación del fertilizante cuando se utilizaron dosis mayores a 120 kg ha^{-1} de N. En consecuencia, existiría una fracción remanente menor de N en el suelo, susceptible a ser lixiviada o volatilizada, lo cual implicaría menor impacto ambiental de la práctica de la fertilización nitrogenada.

Bibliografía

- Agosto, M., M. Canafoglia, R. De Barrio, C. Cabello, I. Schalamuk, G. Minelli, y L. Botto. 2005. Depósitos tobáceos terciarios del Área de Paganzo (Pcia. de La Rioja) su potencialidad tecnológica. Actas del XVI Congreso Geológico Argentino. Buenos Aires, Argentina, 20 al 23 de septiembre. Versión electrónica.
- Allen, E.R., L. Hossner, D. Ming, y D. Henninger. 1996. Release rates of phosphorus, ammonium, and potassium in clinoptilolite-phosphate rock systems. *Soil Science Society of America Journal* 60:1467-1472.
- Ando, H., C. Mihara, K. Kakuda, y G. Wada. 1996. The fate of ammonium nitrogen applied to flooded rice as affected by zeolite addition. *Soil Science and Plant Nutrition* 42:531-538.
- Andriulo, A., C. Ferreira, C. Nasal, M. Rivero, F. Abrego, M. Bueno, F. Rimatori, M. De la Cruz, M. Venancio, y R. Giacosa. 2000. Nitratos en el agua subterránea del partido de Pergamino. Efecto a largo plazo de la agricultura continua y a corto plazo de la producción intensiva de granos. Actas del XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Argentina, 11 al 14 de abril.
- Babarick, K.A., y H. Pirela. 1984. Agronomic and horticultural uses of Zeolites: review. Pages 93-103. In: W.G. Pond y F.A. Mumptom (eds.). *Zeo-agriculture. Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquiculture*. Westview Press, Boulder, CO, USA. 264 p.
- Bolado-Rodríguez, S.A., y J. Alvarez-Benedí. 2003. Caracterización de procesos acoplados de adsorción, transformación y volatilización de N en suelos fertilizados con urea. pp. 185-192. En: J. Alvarez-Benedí y P. Marinero (eds.). *Estudios de la Zona no Saturada del Suelo*, v. VI. Valladolid, España.
- Breck, D. 1974. *Zeolite Molecular Sieves*, Wiley Ed. New York, EE UU. 180 p.
- Chelischev, N., N. Volodin, y V. Kryukov. 1988. Ion Exchange Properties of Natural high Silica Zeolites. *Nauka* (ed.), Moscú. 174 p.
- Costa, J. L. 1997. Riego y Medio Ambiente. Calidad de aguas para riego. pp. 7-14. En: *Seminario de Riego. Regional Buenos Aires Sur* (ed.), Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, INTA. Mar del Plata, Argentina.
- Ferguson, G., y I. Pepper. 1987. Ammonium retention in sand amended with clinoptilolite. *Soil Sciences Society of America Journal* 51:231-234.
- Giannetto, G., A. Montes, y G. Rodríguez. 2000. *Zeolitas Características, Propiedades y Aplicaciones Industriales*. Ed. Innovación Tecnológica, Facultad de Ingeniería – UCV. Caracas, Venezuela. 351 p.
- Griffith, S.M., y D.J. Streeter. 1994. Nitrate and ammonium nutrition in ryegrass: changes in growth and chemical composition under hydroponic conditions. *Journal of Plant Nutrition* 17:71-81.
- Inglezakis, V., M. Loizidou, y H. Grigoropoulou. 2004. Ion exchange studies on natural and modified zeolites and the concept of exchange site accessibility. *Journal of Colloid and Interface Science*. 275:570-576.
- Kithome, M., J.W. Paul, L.M. Lavkulich, y A.A. Bomke. 1998. Kinetics of Ammonium Adsorption and Desorption by the Natural Zeolite Clinoptilolite. *Soil Sciences Society of America Journal* 62:622-629.
- Kolyagin Yu, S., y O. A. Karasev. 1999. Root nutrition and the quality of sugarbeet. *Sakharnaya Svekla (Bulgaria)* 6:11-12.
- Lewis, M.D., F.D. Moore, y K.L. Goldberry. 1984. Ammonium-exchanged clinoptilolite and granulated clinoptilolite with urea as nitrogen fertilizers. Pages 123-137. In: W.G. Pond and F.A. Mumptom (eds.). *Zeo Agriculture: Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture*. Westview Press, Boulder, CO, USA. 264 p.
- Loboda, B. 1999. Agroecological assessment of using substrates from zeolite-containing rocks in greenhouse grown sweet pepper. *Agrokimiya (Russia)* 2:67-72.
- MacKown, C., y T. Tucker. 1985. Ammonium nitrogen movement in a coarse-textured soil amended with zeolite. *Soil Science Society of America Journal* 49:235-238.
- Malavolta, E., G. Vitti, y S. de Oliveira. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, SP, Brasil. 325 p.
- Marquez, E., T.N. Herrera Vasconcelos, y N.M. Gutierrez Duque. 2007. Características físico-químicas de las zeolitas naturales como material filtrante. XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. 10 p. En <http://www.cepis.org.pe/>
- Maurelia, R., R. Zamora, M. Guevara, M. Rojas, y L. Rojas. 2000. Caracterización y separación de una estilbita originaria de la región de Atacama, Chile. *Bol. Soc. Chil. Quím.* v.45 n.4 Versión impresa ISSN0366-1644. En: <http://www.scielo.cl>
- Mendenhall, W., R. Scheaffer, y D. Wackerly. 1986. *Estadística Matemática Con Aplicaciones*. Grupo Editorial Iberoamericana. California, EUA. 251 p.
- Ming, D., E. Gruener, K. Henderson, S. Steinberg, D. Barta, C. Jr., Galindo, y D. Henninger. 1995. Plant growth experiments in zeoponic substrates : applications for advanced life support systems. NASA Johnson Space Center, Houston, Texas. En <http://www.dsls.usra.edu>
- Morante, F.E. 2004. Las zeolitas de la costa de Ecuador (Guayaquil): Geología, caracterización y aplicaciones. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. 400 p. En <http://oa.upm.es/>
- Park, M., y S. Komarneni. 1998. Ammonium nitrate occlusion vs. nitrate ion exchange in natural zeolites. *Soil Science Society of America Journal* 62:1455-1459.
- Olguin, M.T. 2009. Zeolitas. Características y propiedades. En: <http://www.ua.es>
- Pirela, H.G., D.G. Westfall, y K.A. Babarick. 1984. Use of clinoptilolite in combination with nitrogen fertilization to increase plant growth. Pages 65-76. In: W.G. Pond and F.A. Mumptom (eds.). *Zeo Agriculture: Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture*. Westview Press, Boulder, CO, USA. 264 p.
- Postnikov, A.V., G. A. Romanov, B. Loboda, y A.V. Zekunov. 1996. A good substrate for green crops. *Kartofel' i Ovoshchi* 5:21-22.
- Soca, M., J. Castellanos, y J. Febles. 2004. Efecto de la zeolita en la eficiencia de los fertilizantes químicos, fertilizantes y enmiendas de origen mineral. *Panorama Minero (Buenos Aires, Argentina)* 14:261-268.
- Watson, C. J. 1986. Preferential uptake of ammonium nitrogen from soil by ryegrass under simulated spring conditions. *Journal of Agricultural Science* 107:171-177. □