

Evaluación de la recuperación del nitrógeno y fósforo de diferentes fuentes de fertilizantes por el cultivo de trigo irrigado con aguas residuales y de pozo

Recovery of nitrogen and phosphorus from different sources of fertilizer for growing wheat irrigated with wastewater and well water

Sandra Grisell Mora Ravelo^{1}, Francisco Gavi Reyes², Leonardo Tijerina Chávez² Jesús Pérez Moreno³ y Juan José Peña Cabriales⁴*

¹Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Blvd. E. Portes Gil 1301. Cd. Victoria, Tamaulipas, México. ² Colegio de Posgraduados, Programa de Hidrociencias, México, ³ Colegio de Posgraduados, Programa de Edafología, México. ⁴ Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav), Laboratorio de Microbiología Ambiental Unidad Guanajuato, México. Autora para correspondencia: sgmora@colpos.mx

Rec.: 19.08.2013 Acep.: 08.01.2014

Resumen

El empleo de fertilizantes nitrogenados y de aguas residuales no tratadas de origen urbano por los cultivos es una necesidad agronómica, económica y ambiental. El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta del cultivo de trigo a la aplicación de diferentes fertilizantes nitrogenados, irrigado con agua residual y de pozo. Se utilizó un suelo Vertisol Háplico. Se usó como cultivo indicador trigo variedad Tlaxcala F2000. Los fertilizantes aplicados fueron: Fertilizante comercial (FC) constituido por Fosfato monoamónico + urea, Fertilizante orgánico (FO) Vermicomposta; y Fertilizante de lenta liberación (FL) combinación de: urea, H₂PO₄ y arcilla. La mezcla contiene N y P, 8.08 y 6.3 % en peso, respectivamente. Los tratamientos se diseñaron para probar el efecto simple de cada uno de estos materiales y la combinación de FL+FO. La dosis de fertilización de N y P fue (280- 80-0). Con los datos de los análisis de laboratorio de N y P de las plantas, se calculó la eficiencia de recuperación de estos nutrimentos. Las interacciones fechas de Muestreo por agua y fertilizante por agua, fueron significativas al (p<0.05), para la biomasa fresca y seca en el cultivo experimental, asimismo se obtuvo mayor número de granos al irrigar con agua residual.

Palabras clave: Biomasa, extracción, fertilizante de lenta liberación.

Abstract

The use of nitrogen phosphorous fertilizers and untreated sewage from urban areas by crops is an agronomic, economic and environmental necessity. The aim of this study was to evaluate the response of growing wheat to the application of different nitrogen fertilizers, irrigated with wastewater and well water. Haplic Vertisol soil was used. Was used as indicator crop wheat variety Tlaxcala F2000. Fertilizers applied were: commercial fertilizer (CF) consisting of monoammonium phosphate + urea, organic fertilizer (FO) Vermicomposta, and slow release fertilizer (FL) combination of: urea, H₂PO₄ and clay. The mixture contains N and P, 8.08 and 6.3 wt%, respectively. The treatments were designed to test the effect of each single one of these materials and the combination FL + FO. The fertilization of N and P was (280-80-0). With the laboratory analysis data of N and P of the plants, the recovery efficiency of these nutrients was calculated. Dates of Sampling Water and Fertilizer water interactions were significant at (p < 0.05) for fresh and dry biomass in the experimental cultivation also increased the number of grains by irrigating with wastewater.

Key words: Biomass, mining, slow release fertilizer.

Introducción

El rendimiento del cultivo de trigo en una región determinada es consecuencia de la interacción entre factores ecológicos, tecnológicos y genéticos. La potencialidad del cultivo de trigo difiere entre las distintas regiones productoras de México, debido a factores fundamentalmente climáticos. En el cultivo de trigo el N es el insumo de más impacto sobre el rendimiento y con el que se logra el mayor retorno económico. Sin embargo, en muchos casos, los rendimientos potenciales del cultivo no se alcanzan debido a la disponibilidad reducida de insumos, la nutrición, su manejo a través de la fertilización, y en algunos casos la eficiencia de uso del N de los fertilizantes nitrogenados. Esto se puede solucionar mediante una buena práctica de manejo y el empleo de fertilizantes que involucren aplicar la fuente de nutriente y dosis correcta. Esta decisión es crítica para alcanzar una óptima eficiencia de uso de los nutrientes en el cultivo de trigo e incrementar con ello su productividad (Ventimiglia y Torrens, 2013).

Los fertilizantes de lenta liberación con una alta solubilidad controlada son una opción eficaz para aumentar la eficiencia de absorción de nutrientes por los cultivos (Vera-Núñez *et al.*, 2012). Además, el uso de estos evita que se tengan pérdidas por lixiviación, volatilización y desnitrificación y por lo tanto, una menor contaminación hacia el ambiente (Havlin *et al.*, 2013). Entre los posibles inconvenientes destaca el difícil sincronismo entre

el ritmo de disolución y de absorción por la planta, excepto en los primeros estadios del ciclo de cultivo (Baligar *et al.*, 2001).

Con la utilización de aguas residuales en la agricultura, los cultivos aprovechan los nutrientes que contienen, entre ellos el N y P, lo que representa un beneficio económico para el productor (Toze, 2006). Es evidente que la necesidad de seguir produciendo granos, para una población mundial en aumento, condicionará el consumo de fertilizantes nitrogenados; pero también, es preciso buscar alternativas para ir mejorando la eficiencia de recuperación por los cultivos y con ello evitar un incremento del efecto invernadero global y la destrucción de la capa de ozono al utilizar fertilizantes. Por ello el objetivo de este estudio es evaluar la respuesta del cultivo de trigo a la aplicación de diferentes fertilizantes nitrogenados, irrigado con agua residual o de pozo.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en los invernaderos experimentales y laboratorio de fertilidad de suelos del Colegio de Posgraduados Campus Montecillo. Edo. de México, México. Se utilizó un suelo Vertisol háplico (INEGI, 2001a). Las determinaciones analíticas realizadas en suelo y agua residual se indican en los Cuadros 1 y 2 respectivamente.

Se usó como cultivo indicador trigo variedad Tlaxcala F2000, una nueva variedad de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) que se clasifica como de ciclo intermedio,

Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo experimental.

VARIABLES	Método	Valor	Unidades
N	MicroKjeldahl	0.07	%
P extractable	Olsen	34	mg kg ⁻¹
Materia orgánica	Walkley y Black	1.4	%
C I C	Acetato de amonio	39	cmolc kg ⁻¹
pH (relación 2:1)	Potenciómetro	7.76	
C.E.	Conductímetro	0.69	dS m ⁻¹
Arena	Bouyoucos	10	%
Limo	-	17	%
Arcilla	-	73	%
Clase textural	-	Arcilloso	

C.E = Conductividad eléctrica, CIC = Capacidad de intercambio catiónico.

Cuadro 2. Características físicas y químicas del agua experimental.

Variables	Valor		Unidades
	AR	AP	
N total	72	32	mg L ⁻¹
N-NO ₃	6	22.27	meq L ⁻¹
N-NH ₄	55	8.64	meq L ⁻¹
P-PO ₄ soluble	11	0.86	mg L ⁻¹
P total	39	0.60	mg L ⁻¹
PH	7.05	7.45	
C.E.	0.59		dS m ⁻¹

AR = agua residual, AP= agua de pozo, C.E. = Conductividad eléctrica.

desarrollada para condiciones de temporal por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Su ciclo de cultivo promedio es de 118 días, con una oscilación de 107 a 135 días (Villaseñor *et al.*, 2000a).

Los fertilizantes aplicados fueron: fertilizante comercial (FC) constituido por fosfato monoamónico + urea, fertilizante orgánico (FO) Vermicomposta; y fertilizante de lenta liberación (FL) combinación de: urea, H₂PO₄ y arcilla. La mezcla contiene N y P, 8.08 y 6.3 % en peso, respectivamente. Los tratamientos se diseñaron para probar el efecto simple de cada uno de estos materiales y la combinación de FL+FO con los diferentes tipos de agua, agua residual (AR) y agua de pozo (AP) y el testigo en donde no se agregó fertilizante de ningún tipo y solo riego (T).

La dosis de fertilización de N y P para el trigo fue recomendada en la zona del Bajío (280- 80-0). Las plantas de trigo se muestrearon a intervalos de 55, 67 y 97 días después de la siembra (dds). En cada muestreo se tomó el peso fresco de cada UE y en el último se contó el número de granos.

Las muestras se lavaron con agua destilada y secaron en estufa por 48 h a una temperatura de 70 °C. Posteriormente se tomó el peso seco de la biomasa seca. Cada UE se preparó para el análisis químico, para la determinación de N total por el método de microKjeldalh y el P por espectrofotometría (Alcantar y Sandoval 1998). Con los datos de N y P se calculó la eficiencia de recuperación de N y P, respectivamente, con la siguiente ecuación:

$$E_{frec N} = [(NT - N_{testigo}) / \text{Dosis en el trat}] \times 100$$

Donde:

$E_{frec N}$ = Eficiencia de recuperación del nitrógeno

NT = Contenido de nitrógeno en planta en el tratamiento

$N_{testigo}$ = Contenido de nitrógeno en planta en el tratamiento testigo

Dosis en el trat = Dosis de fertilizante aplicado en el tratamiento

De la misma manera se calculó la eficiencia de recuperación del fósforo

Se realizaron los análisis de varianza de las siete variables medidas que a continuación se indican: Eficiencia de recuperación de N y P; Extracción de N y P; Biomasa fresca y seca, y Número de granos. Se utilizó el paquete estadístico SAS.

Resultados y discusión

El análisis de varianza (DHS) para la biomasa fresca mostró que las interacciones tipo de fertilizante por tipo de agua y fecha de muestreo por tipo de agua fueron significativas a ($P < 0.05$) (Cuadro 3).

En el mismo cuadro, se presenta la respuesta del tipo de fertilizante y tipo de agua, se observa que la biomasa fresca en trigo fue mayor, a un nivel de significancia de ($p < 0.05$) en los tratamientos irrigados con agua residual, que aquellos a los que se les agregó agua de pozo a excepción del testigo que no se fertilizó.

Cuadro 3. Respuesta de trigo a la aplicación de tres tipos de fertilización y dos fuentes de agua para riego.

Tipo de fertilización ^a	Biomasa Fresca (g)		Biomasa Seca (g)		Granos (No./planta)		Rec. de Nt (%)	
	DHS _{0.05} = 5.96		DHS _{0.05} = 1.28		DHS _{0.05} = 65.26			
	AR	AP	AR	AP	AR	AP	AR	AP
FC	18.72	16.04	4.24	3.56	458	418	-	-
FO	22.52	15.44	5.35	5.04	526	370	-	-
FL	23.53	18.56	4.39	2.76	608	566	-	-
FL + FO	26.12	21.57	4.77	5.68	486	537	-	-
Testigo	16.11	17.22	3.44	2.53	411	306	-	-

Días después de la siembra	DHS _{0.05} = 2.58		DHS _{0.05} = 49.34		DHS _{0.05} = 0.58			
55	14.01	11.63	-	-	396	385	13.65	13.95
67	21.31	15.39	-	-	906	740	11.58	9.72
97	28.97	20.28	-	-	1187	1126	8.96	9.11

a.FC = Fertilizante comercial, FL = Fertilizante de lenta liberación, FO = Fertilizante orgánico, T = testigo, AR = agua residual y A.P = agua de pozo.

En el Cuadro 3 se presenta la biomasa observada en diferentes fechas de muestreo para cada tipo de agua, en la cual se observa que con agua residual se obtienen los rendimientos de biomasa fresca más altos.

El incremento de la biomasa fresca se debe a que en las primeras etapas de desarrollo del trigo se tiene mayor disponibilidad de N en el suelo y del fertilizante además de una adecuada disponibilidad de agua, como señalan Hossain *et al.* (2006).

El resultado estadístico para la biomasa seca del cultivo mostró un comportamiento similar a la dinámica de la biomasa fresca para el tipo de fertilizante y agua a un nivel de significancia de ($p < 0.05$). En la biomasa seca se observó que es mayor para el tratamiento de la combinación FL+FO más agua de pozo y menor para el testigo T con cualquiera de los dos tipos de agua, (Cuadro 3).

Esto se debe a que el requerimiento de N del cultivo es bajo entre la emergencia y comienzo del macollaje y la producción de materia seca aumenta (Carrillo-Romo *et al.*, 2010).

El resultado del análisis estadístico aplicado a un nivel de significancia de ($p < 0.05$) para el número de granos del cultivo bajo

estudio mostró que hay interacción positiva entre el tipo de fertilizante y tipo de agua y el número de granos entre la fecha de muestreo y el tipo de agua (Cuadro 3).

En el mismo cuadro se puede observar que el número de granos fue mayor para el tratamiento FL, tanto al irrigar con agua residual como con agua de pozo y menor para el testigo con los dos tipos de agua utilizados. Esto se debe a que hay una relación entre el aporte de N tanto por el fertilizante como por el agua residual con número de granos obtenidos. Esto se debe a que la fertilización de N al momento de la siembra promueve el macollaje e incrementa el número de espigas, y con ello el número de granos que también se ven favorecidos por el aporte de N proveniente del agua residual (Ramírez *et al.*, 2010).

Asimismo, en el Cuadro 3 se observa que el número de granos se incrementa en cada fecha de muestreo, siendo mayor cuando se riega con agua residual. El número de granos se favoreció con la apropiada fertilización e irrigación en el cultivo de trigo. Estos resultados concuerdan con los reportados por Hernández-Córdova y Soto-Carreño (2012) y Cáceres *et al.* (2005) quienes establecen

que en condiciones óptimas de fertilización nitrogenada y de agua, el número de granos en cereales se ve favorecido.

Respecto al nitrógeno extraído por la planta según la información que se desprende del Cuadro 3 se observa según las fechas de muestreo que el porcentaje de NT decrece conforme pasan las fechas de muestreo y sólo en el segundo muestreo es mayor al irrigar con agua residual. Posiblemente se debe a que la aplicación de N en condiciones de humedad estimuló la mineralización en el suelo y la pérdida de este por desnitrificación (Mora-Ravelo *et al.*, 2007; Cerón-Rincón y Ancízar-Aristizábal, 2012).

En el Cuadro 4 se presenta el análisis estadístico de la eficiencia de recuperación del N, en el cual se observa que sólo la interacción muestreo por fertilizante debe ser interpretada. La eficiencia de recuperación del N fue mayor con la combinación FL+FO, encontrándose que esta eficiencia es mayor a los 67 días después de la siembra, independientemente del tipo de fertilizantes.

La fertilización puede favorecer factores como la mineralización del N orgánico del suelo o la eficiencia de uso del agua y, entonces, la absorción de N aportado por el suelo de las plantas fertilizadas no se mantiene igual que en el testigo. Sin embargo, el método de la diferencia atribuye el mayor N acumulado en las plantas fertilizadas sólo al aporte del N del fertilizante. Por eso, el

método de la diferencia sólo permite calcular la recuperación aparente del fertilizante que no siempre es igual a la recuperación real. La mayor absorción de N se debió a una mayor demanda de la planta y a una mayor disponibilidad de N.

El fósforo extraído fue superior en los tratamientos con agua residual. En los muestreos dos y tres (67 y 97 dds), el P extraído fue menor para todos los tratamientos y en general mayor cuando se aplicó FL y menor con FO. La mayor absorción de P se debió a una mayor demanda de la planta y a una mayor disponibilidad de este nutrimento (Havlin *et al.*, 2013). Los resultados del análisis de varianza para eficiencia de recuperación de P, indican que es significativa con ($p < 0.05$) para la interacción entre fechas de muestreos y tipo de fertilizante (Cuadro 3). Los fertilizantes de lenta liberación y las combinaciones de estos con materia orgánica resultaron más eficientes que el fertilizante comercial. La eficiencia de recuperación del P fue mayor con la combinación FL+FO, encontrándose que esta eficiencia es mayor a los 97, independientemente del tipo de fertilizante. La eficiencia de los fertilizantes aplicados dependió de su composición química por su efecto en el balance de catión/anión para la asimilación de N y P por el cultivo y al aporte suficiente de agua (Vera-Núñez *et al.*, 2012; Inzunza *et al.*, 2010).

Cuadro 4. Análisis de varianza para características de trigo, con tres fuentes de fertilizantes y dos de agua.

F.V.	Nt (P<)	Rec. N (P <)	Rec. P (P <)
M	0	0.0001	0.0001
R	0.972	0.7086	0.2260
Error (a) M*REP	0.839	0.3536	0.4698
F	0.019	0.0001	0.0001
A	0.204	0.0731	0.1518
M*F	0.163	0.0001	0.0001
M*A	0.034	0.2099	0.4576
F*A	0.781	0.9026	0.5178
M*F*A	0.290	0.9918	0.9919
	S = 0.3458	S = 65.43	S = 61.12

A= Agua, M =Muestreo, R= Repetición, F=Fertilizante y S= desviación estándar muestral.

Conclusiones

- El tratamiento con fertilizante de lenta liberación más agua residual favoreció el incremento de biomasa fresca y biomasa seca en el cultivo de trigo.
- El número de granos se incrementó a través del tiempo según se observó en cada fecha de muestreo y fue mayor en el tratamiento fertilizado con fertilizante de lenta liberación (FL) lo cual se puede comparar con el número de granos de los tratamientos testigo a los cuales no se les fertilizó.
- El agua residual contribuyó a la absorción de N y P en el trigo y al incremento de la biomasa fresca y seca.
- La eficiencia de recuperación de N y P fue más alta en los tratamientos con fertilizante de lenta liberación +fertilizante orgánico, respecto al fertilizante comercial y el testigo.

Agradecimiento

Se agradece el financiamiento del proyecto CONACYT 38999, mediante el cual se pudo realizar esta investigación.

Referencias

- Alcantar G., G y M V. Sandoval. 1998. Manual de análisis químico de tejido vegetal . Publicación especial N° 10 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. Pp. 240.
- Baligar, V. C., N. K. Fageria y Z. I. He. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *CommunSoil Sci. Plant Anal.* 32 (7-8):921-950.
- Carrillo-Romo, R., Esqueda-Coronado, M. H., Báez-González, A-D., Reyes-López, G., Royo-Márquez, M. H., e Ibav-González, J. L. 2010. Uso de inoculante y fertilización nitrogenada en la producción de forraje de avena, ballico y trigo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.* 1(2), 131-143.
- Cáseres, L., R. Bast, M. Mendez y H. Currie. 2005. Fertilización en trigo en condiciones óptimas de disponibilidad hídrica. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.* INTA. Argentina.
- Cerón-Rincón, L. E. y Ancizar-Aristizábal, Gutiérrez, F. 2012. Nitrogen and phosphorus cycles dynamics in Soils. *Revista Colombiana de Biotecnología.* 14(1):285-295.
- Havlin, L. J., S. Tisdale y W. L. Nelson., D. J. Beaton. 2013. *Soil fertility and fertilizers.* Eighth edition. Prentice Hall. New Jersey, U.S.A. pp. 528.
- Hernández Córdova, N. y Soto Carreño, F. 2012. Influencia de tres fechas de siembra en el crecimiento y rendimiento de especies de cereales cultivadas en condiciones tropicales. Parte II. Cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench var. Isiap Dorado). *Cultivos Tropicales.* 33(2):50-54.
- Hossain, L. L.; Islam, K.; Sufian, A.; Meisner, C. A. y Islam, S. 2006. Effect of planting method and nitrogen levels on the yield and yield attributes of wheat. *J. Bio-Sci.* 14:127- 130.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2000a. Síntesis de información geográfica de Guanajuato. Anexo cartográfico: carta estatal de suelos. México.
- Inzunza-Ibarra, M. A., Catalán-Valencia, E. A., Sánchez-Cohen, I., Villa-Castorena, M., Román-López, A. 2010. Modelo de producción de trigo bajo déficit hídrico en dos periodos de crecimiento. *Terra Latinoamericana.* 2884:335-344.
- Mora-Ravelo S. G., Gavi Reyes F., Peña Cabriales J. J., Pérez Moreno J., Tijerina Chávez L, Vaquera Huerta H. 2007. “Desnitrificación de un fertilizante de lenta liberación y Urea+Fosfato monoamónico aplicados a trigo irrigado con agua residual o de pozo”, en *Rev. Int. Contam. Ambient.* . 23 (1) 25-33.
- Ramírez, L. L., Moya, E. S., Franco, M. D. P. S., García, M. F. R. 2010. Relación de métodos de labranza, siembra, riego y dosis de nitrógeno con el rendimiento de trigo *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas,* 1(1): 55-63.
- Toze S. 2006. Reuse of effluent water-benefits and risks. *Agricultural Water Management.* 80: 147-150.
- Vera-Nuñez, J. A., Grageda-Cabrera, O. A., Ávila-Miranda, M. E. Castellanos-Ramos, J. Z., Escalante-García, J.I., Gorokovsky, A., Peña-Cabriales, J. J. 2012. Fertilizantes de solubilidad controlada en el cultivo de trigo en el Bajío: Balance de N. *Terra Latinoamericana,* 30(2): 121-127.
- Ventimiglia L. y Torrens B. L. 2013. Mejores prácticas de manejo de la fertilización de trigo: Dos experiencias de INTA 9 de Julio - Buenos Aires, Argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica (LACS), A Publication of the International Plant Nutrition Institute (IPNI).* 9:8-11.
- Villaseñor M., Espitia E., Huerta, María A., Osorio L. y Aguirre A. 2000a. Tlaxcala F2000: nueva variedad de trigo para siembras de temporal en México. Chapingo, Estado de México, México. SAGAR, INIFAP, CIRCE, Campo Experimental Valle de México. 20 p. (Folleto Técnico N° 1).Texcoco, Estado de México.