

COMPORTAMIENTO DEL ION NITRATO EN PARCELAS AGRÍCOLAS ABONADAS CON  
LADOS DE DEPURADORAS

*J. REYES<sup>1)</sup>, S. MARTÍNEZ<sup>2)</sup>, A. SASTRE<sup>2)</sup> y M. BIGERIEGO<sup>3)</sup>*

Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California (México)<sup>1)</sup>  
Departamento de Geología, Universidad de Alcalá de Henares<sup>2)</sup>  
CIT-INIA, MADRID<sup>3)</sup>

RESUMEN

Se presentan los resultados de la evolución de nitratos a través de la zona no saturada (ZNS) en tres parcelas de regadío, siendo fertilizadas dos de ellas con lodos de depuradoras y una con fertilizante mineral. Tras dos años de experiencia se pone de manifiesto que los sistemas de fertilización empleados no implican diferencias significativas en cuanto al flujo de nitratos hacia las aguas del acuífero, manteniéndose los valores observados dentro de los límites permitidos por la legislación vigente.

Del mismo modo, el excedente de riego estimado en un 35 %, no supone una migración excesiva de nitratos a través de la ZNS, siendo las condiciones texturales del terreno un factor importante para que éste quede retenido en los primeros 60 cm del perfil y, de este modo, sea aprovechado adecuada y eficientemente por la planta. Así, la actividad agrícola no condiciona —al menos localmente— la calidad del agua del acuífero

ABSTRACT

The results of the nitrates evolution through the unsaturated zone in three experimental sites of irrigable are presented. Two of them being fertilized

with composted sewage sludge and the other with chemical fertilizer. After two years of experience it is showed that fertilization systems do not imply significant differences with respect to nitrates flow toward the superficial groundwater, being maintained the values within the limits of the prevailing legislation.

In the same way, irrigation excess estimated in a 35%, it does not suppose an excessive migration of nitrates through the unsaturated zone, being the textural conditions of the soil an important factor so that this remain held in the first 60 cm of the profile, and of this way, it may be taken suitable and efficiently by the plant. Thus, the agricultural activity does not condition -at least locally- the quality of the superficial groundwater.

## INTRODUCCIÓN

La reutilización de los lodos de depuradoras como fertilizantes agrícolas, permite dar a este residuo un cierto valor económico, aparte de poder constituir una fuente importante de aporte de nutrientes a los suelos agrícolas (Bigeriego y Walter, 1984; Walter et al., 1990). Los lodos de depuradoras además de aportar una buena cantidad de los macronutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo vegetativo, contienen una apreciable cantidad de materia orgánica de vital importancia con respecto al potencial productivo. Asimismo, representan una fuente importante de micronutrientes como hierro, magnesio, molibdeno, calcio, azufre, entre otros, que son también esenciales para los cultivos y que no son aportados por los fertilizantes sintéticos.

Los lodos de depuradoras se viene utilizando desde 1991 con éxito en lo que al rendimiento agrícola se refiere, en una parcela experimental localizada en la zona agrícola de Aranjuez (Porcel et al., 1994). Sin embargo, hasta 1994 no se había realizado un seguimiento sobre el efecto que estos tratamientos fertilizantes pueden tener sobre la calidad de las aguas que, procedentes del riego, percolan a través de la ZNS alcanzando el acuífero subyacente.

Por ello en dicha parcela y a partir de 1994, se estableció una red de seguimiento con el fin de monitorear la evolución del lixiviado de riego a través de la ZNS, obteniéndose unos primeros resultados en los que se pone de manifiesto el buen comportamiento de los lodos como sustitutos de la fertilización convencional, constatándose una menor migración de nitratos en las parcelas abonadas con lodo en relación con las sometidas a fertilización mineral (Reyes et al., 1996).

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en la campaña de muestreo correspondiente a 1995, en la que se ha mantenido tanto la red de monitoreo en la ZNS descrita en Reyes et al. (1996), así como las condiciones de fertilización aplicadas en la campaña anterior (1994).

ÁREA DE ESTUDIO

La parcela experimental se ubica en la zona agrícola regable de la vega del río Tajo, en el término municipal de Aranjuez. En general, el perfil del suelo presenta una textura arcillo-limosa tendiendo a arcillosa. El nivel freático en la zona presenta fuertes oscilaciones con valores que van desde los 3 metros en invierno hasta 0,5 m en los periodos de riego (verano), mostrando, por tanto, una fuerte dependencia del régimen de cultivo y riego en la zona.

La parcela experimental se dividió para este estudio en tres subparcelas de iguales dimensiones (1 ha. de superficie), que denominaremos parcelas. Desde 1991 se ha mantenido el control de los tratamientos fertilizantes, aplicados sobre un cultivo de maíz (*Zea mays* L. var Juanita). En la Tabla 1, se esquematizan los tratamientos de fertilización empleados para la campaña 1995. Del análisis de una serie de muestras de compost de lodo se dan los valores medios de algunos elementos, entre los que señalamos: Materia orgánica 42 %, N-total 3,4 % (30 % de N-mineral); P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 7,8 %; K<sub>2</sub>O 1,1 %; pH 8,4 y concentraciones de metales pesados por debajo de los límites del Real Decreto 1310/1990 del MAPA (Porcel et al., 1994). Cabe aclarar que el abonado de cobertera para la parcela 1, se empezó a aplicar en la campaña 1994, debido al bajo rendimiento obtenido en las primeras campañas (1991-1993). La tabla 2 muestra los resultados de producción durante las campañas 1991-94.

*Tabla 1.*  
*Tratamiento fertilizante dado a cada subparcela.*  
*Peso de compost de lodo referido a materia seca*

	Tratamiento	Sementera	Cobertera
PARCELA 1	LODO	11.000 Kg/ha lodo	75 Kg/ha urea (46%)
PARCELA 2	MIXTO	6.500 Kg/ha lodo	350 Kg/ha urea (46%)
PARCELA 3	MINERAL	800 Kg/ha NP 15-15-15	50 Kg/ha urea (46%)

*Tabla 2.*  
*Producción agrícola en Kg/ha de grano con el 14% de humedad*

PARCELA	AÑO			
	1991	1992	1993	1994
LODO	9.437	12.586	9.975	6.986
MIXTO	10.618	14.535	13.300	7.520
MINERAL	10.182	13.588	13.172	8.132

## MATERIAL Y MÉTODO

La red de muestreo consta de un total de 45 tomamuestras compuestas por una cápsula de porcelana porosa unida a un tubo de PVC de 4 cm de diámetro interno y longitud variable, que se cierra mediante tapón de goma al que se acoplan dos tubos de nylon de 5 mm. de diámetro interno y longitud variable.

Antes de la instalación de los tomamuestras se procedió a su lavado, ya que como es conocido por varios autores (Sánchez y Morell, 1994; Morell et al., 1994; Hernández, 1994; entre otros), la utilización de las cápsulas de porcelana produce la liberación y retención de ciertos elementos, sugiriéndose lavados sucesivos con agua desionizada para disminuir este efecto. De este modo; se realizaron a los 45 tomamuestras varios lavados haciéndose pasar por la cápsula un volumen total aproximado de 3 litros de agua desionizada, siendo la recuperación por cada lavado de 500 a 600 ml. Los valores de conductividad observados a partir del 4 lavado se pueden considerar estables, siendo su valor de alrededor de 150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

La instalación de los tomamuestras se realizó mediante una perforadora de percusión de 6 cm de diámetro, que en principio no altera las propiedades físicas del suelo. El relleno del espacio anular se hizo con el material extraído durante la perforación, agregándose en la parte superior un tapón de bentonita, para tratar de evitar flujos preferenciales, al menos desde la superficie. Además, se recogieron muestras de suelo en los mismos puntos y a las profundidades finales de cada sondeo en los que se ubicaron los tomamuestras. Se obtuvieron así 45 muestras de suelo.

Como se ha mencionado, para la campaña 1995 se continuó con el mismo esquema de muestreo de la campaña 1994, disponiéndose de 3 grupos de tomamuestras por parcela, situados a 30, 60, 90, 120 y 150 cm. de profundidad, con el fin de hacer un barrido de la ZNS -tanto vertical como horizontalmente- y llegar hasta el acuífero. La separación entre tomamuestras dentro de cada grupo fue de aproximadamente 30 cm, para evitar la dispersión espacial de los mismos. La separación entre conjuntos de tomamuestras dentro de cada parcela fue de aproximadamente 50 m. Dado que en la campaña correspondiente a 1994 en algunos tomamuestras no se obtuvo éxito en cuanto a recuperación de agua en todas las campañas de muestreo, debido principalmente a la pérdida de vacío en los mismos, triplicar los resultados en cada subparcela ayudaría por un lado, a aumentar las garantías de obtener muestras a cualquier profundidad, y, por otro, a obtener datos analíticos más representativos, utilizando valores promedio de los datos obtenidos. En la figura 1 se representa la nomenclatura y ubicación de los tomamuestras.

Para tener un control de los valores de succión del terreno e indirectamente de los valores de humedad se incorporaron a la experiencia dos conjuntos de tensiómetros en las parcelas P1-1 y P3-1 (ver fig. 1), a 30, 45, 60 y 90 cm. La disposición espacial de estos, se hizo en función de la dirección

PARCELA 1	PARCELA 2	PARCELA 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• P1-M150-3</li> <li>• P1-M120-3</li> <li>• P1-M 90-3 (P1-3)</li> <li>• P1-M 60-3</li> <li>• P1-M 30-3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• P2-M150-3</li> <li>• P2-M120-3</li> <li>• P2-M 90-3 (P2-3)</li> <li>• P2-M 60-3</li> <li>• P2-M 30-3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• P3-M150-3</li> <li>• P3-M120-3</li> <li>• P3-M 90-3 (P3-3)</li> <li>• P3-M 60-3</li> <li>• P3-M 30-3</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• P1-M150-2</li> <li>• P1-M120-2</li> <li>• P1-M 90-2 (P1-2)</li> <li>• P1-M 60-2</li> <li>• P1-M 30-2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• P2-M150-2</li> <li>• P2-M120-2</li> <li>• P2-M 90-2 (P2-2)</li> <li>• P2-M 60-2</li> <li>• P2-M 30-2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• P3-M150-2</li> <li>• P3-M120-2</li> <li>• P3-M 90-2 (P3-2)</li> <li>• P3-M 60-2</li> <li>• P3-M 30-2</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• P1-M150-1 °T90</li> <li>• P1-M120-1 °T60</li> <li>• P1-M 90-1 (P1-1)</li> <li>• P1-M 60-1 °T45</li> <li>• P1-M 30-1 °T30</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• P2-M150-1</li> <li>• P2-M120-1</li> <li>• P2-M 90-1 (P2-1)</li> <li>• P2-M 60-1</li> <li>• P2-M 30-1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• P3-M150-1 °T90</li> <li>• P3-M120-1 °T60</li> <li>• P3-M 90-1 (P3-1)</li> <li>• P3-M 60-1 °T45</li> <li>• P3-M 30-1 °T30</li> </ul>

Fig. 1. Nomenclatura y ubicación espacial de los tomamuestras (\*) y tensiómetros (°).

de flujo superficial del agua de riego, siendo las diferencias entre las aplicación del riego de 1 a 2 días entre las distintas parcelas. La figura 2 muestra los promedios de ambos conjuntos. Estas medidas tensiométricas permiten observar que los potenciales de succión son en general bajos durante el verano debido al aporte de los riegos, una vez finalizados éstos (a partir de septiembre), se observa un incremento general de las succiones. La variación con la profundidad es menor debido a que las oscilaciones en el nivel freático son aún importantes.

El nivel piezométrico (figura 2), se controló con la medida sistemática de un pozo situado en la finca. La cantidad de agua aplicada en los riegos se estimó midiendo las dimensiones de la acequia de riego, la velocidad y el tiempo que duraron estos, siendo el volumen aplicado para cada riego de aproximadamente 1500 m<sup>3</sup>/ha.

En las muestras recogidas, se determinaron "in situ" los valores de pH y conductividad y en laboratorio los iones mayoritarios, aunque en este trabajo solo se discuten los resultados obtenidos para el ion nitrato.

#### *Muestras y su relación con la actividad agrícola*

La experiencia se emplazó en condiciones reales de actividad agrícola, en una parcela que se ha venido explotando de forma anual. De este modo los muestreos estuvieron condicionados por las actividades agrícolas y en espe-

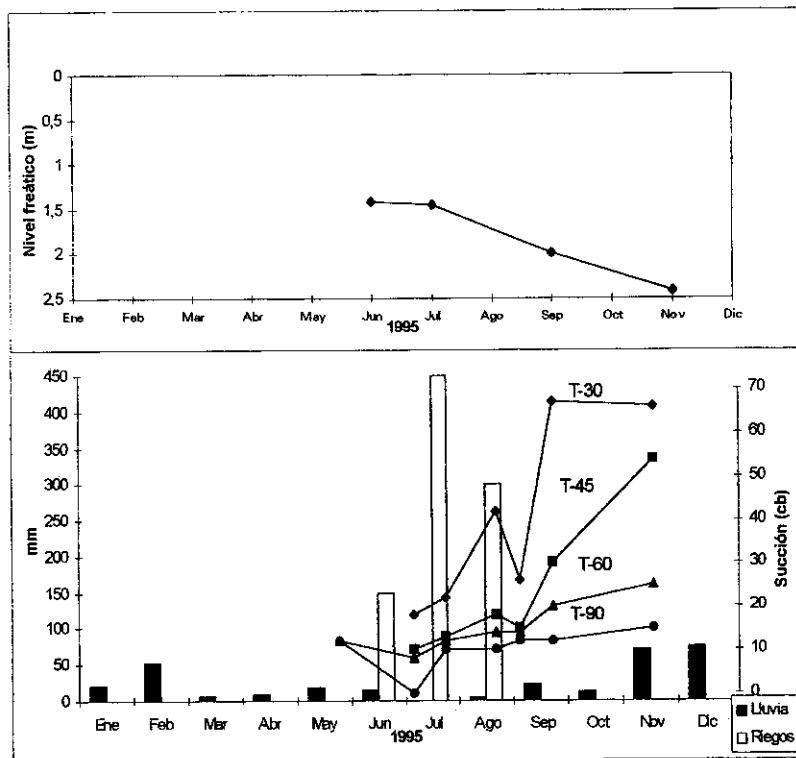


Fig. 2. Evolución temporal de los principales parámetros hídricos involucrados en el estudio; agua de lluvia, agua de riego, curva de succión y nivel freático.

cial por los riegos aplicados, siempre a criterio del agricultor y en función de las necesidades hídricas del cultivo.

La instalación de la red de muestreo se realizó ya finalizada la totalidad de las labores agrícolas de siembra y fertilización de sementera y cobertera (27 de junio), de ahí que no se tenga información de antes de la aplicación del abonado ureico de sementera, ni del primer riego posterior a la aplicación de este. Las actividades agrícolas más importantes y los muestreos realizados se especifican en la figura 3.

El vacío de los tomamuestras se realizó siempre antes de iniciar los riegos y la recogida de muestras de 3 a 5 días después de finalizado el riego. Una vez finalizada la campaña agrícola, en el mes de noviembre se realizaron tres muestreos y, debido a que no se recogieron muestras en todos los puntos –principalmente los situados a 30, 60 y 90 cm de profundidad–, se consideró

reunir toda la información como un solo muestreo, viendo además que las muestras repetidas de diferentes fechas presentaban valores muy parecidos. Se realizó un último muestreo el 15 de enero de 1996, denominado muestreo 7, que no se indicó en esta figura.

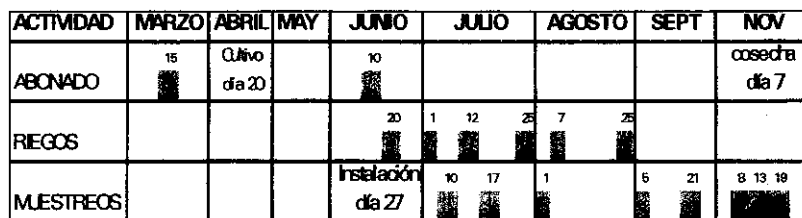


Fig. 3. Cronograma de las actividades agrícolas y muestreos realizados. Los números indican la fecha exacta de la actividad. El primer abonado es de semenera y el segundo de cobertera.

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 4 muestra la evolución de nitratos para la campaña agrícola de 1995 en la red experimental instalada. En general, se tuvo éxito para todas las profundidades en lo que a obtención de muestras se refiere, aunque en algunas campañas no se pudo recuperar agua en todos los puntos del perfil, siendo los más problemáticos los situados a 30 y 60 cm de profundidad y principalmente en la parcela 3. De este modo, los valores presentados en estos dos puntos del perfil y principalmente los de 30 cm, corresponden a un solo punto de muestreo. En los casos en que se tenían repeticiones, se apreciaba una cierta dispersión, aunque en ningún caso fué significativa para la tendencia de los datos. Para las otras profundidades (90, 120 y 150 cm) se presentan generalmente todas las repeticiones no observándose desviaciones importantes en los promedios ( $\sigma < \pm 10$  mg/l, en la mayoría de los casos).

De forma genérica, la figura 4 muestra que independientemente del tratamiento fertilizante aplicado, los valores más altos en el contenido de nitratos corresponden siempre a las muestras recogidas en los niveles más superficiales (30 y 60 cm) y en los primeros muestreos efectuados (muestreos 1 y 2). En cuanto a la evolución temporal, se distingue una reducción importante de nitratos en los primeros 60 cm, principalmente entre el primero, segundo y tercer muestreo, alcanzándose a partir de este último, valores similares durante el resto de la experiencia. A partir de los 90 cm no se aprecian cantidades elevadas de nitratos siendo los muestreos 1 y 2 los que presentan los valores relativamente más altos respecto a los otros muestreos.

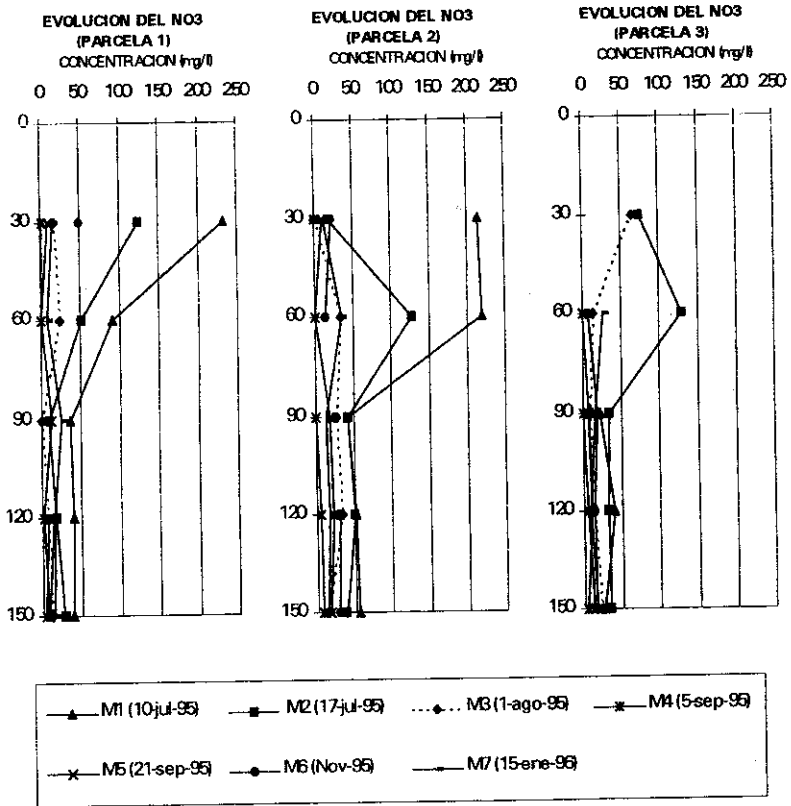


Fig. 4. Evolución de nitratos en los diferentes sistemas de abonado.

En la parcela 2, se observa una notable disminución del contenido de nitratos a 30 cm de profundidad entre las campañas de muestreo 1 y 2. Del mismo modo, se puede observar que la pluma de nitratos para la campaña 2 se sitúa a 60 cm de profundidad. Un comportamiento similar se intuye en la parcela 3, aunque en este caso, sin disponer de los datos correspondientes a la primera campaña de muestreo para las profundidades de 30 y 60 cm. Sin embargo en la parcela 1, la concentración de nitratos es en todas las campañas de muestreo menor a 60 cm que a 30 cm. Ello es debido quizás, a que la dosis de urea empleada en cobertera en esta parcela, es la mitad que en las parcelas 2 y 3, lo que unido a la mineralización más lenta del abono orgánico, ocasiona un menor flujo de nitratos hacia los 60 cm de profundidad.



De la misma figura 4 se observa que la concentración de nitratos disminuye drásticamente a partir de los 90 cm de profundidad con independencia del tratamiento fertilizante y de la campaña de muestreo. Ello se asocia al fuerte requerimiento de este ion por parte de la planta en las primeras semanas de su ciclo vegetativo, principalmente después de la aplicación del abono en cobertera (10 de junio). Así, la planta absorbe eficazmente el nitrato durante este período, lo que no permite la lixiviación de éste hacia una profundidad mayor.

Se han estimado los contenidos de nitratos teniendo en cuenta los términos siguientes en cuanto a entradas y salidas del sistema:

- Entradas al sistema: agua de riego, agua de lluvia, fertilizante de fondo –previo al cultivo– y fertilizante de cobertera –durante el cultivo–.
- Salidas del sistema: incorporación a la planta y lixiviado.

Los términos de entrada son conocidos, mientras los de salida se calculan a partir de los valores dados en Fuentes (1994) correspondientes a la incorporación a la planta, y por diferencia en el balance final el valor de nitratos que es lixiviado. Las entradas al sistema se han estimado en 852, 1006 y 1243 kg/ha de nitratos, para las parcelas 1, 2 y 3, respectivamente. Para la estimación en las parcelas de abono orgánico (parcela 1 y 2) se considera que solo el 30 % del nitrógeno total que tienen los lodos está en forma de N-mineral (nitrato). Se puede decir que los requerimientos iniciales de nitrógeno son cubiertos satisfactoriamente con las dosis aplicadas en sementera. La aplicación posterior del abono de cobertera (10 de junio) satisface la fuerte demanda de nitrógeno que tiene la planta en el periodo de 5 semanas, comprendidos entre la formación de la panoja (inicios de julio) hasta la formación del grano (mediados de agosto), requiriéndose en este periodo hasta un 70 % del N. total que consume la planta en todo su periodo vegetativo (Fuentes, 1994). Este valor se estima alrededor de los 1000 kg/ha de nitrato, cantidad que es casi la aportada en las subparcelas 2 y 3, quedándose justo o un poco corto en la parcela 1, aunque se considera que parte de la cantidad requerida puede ser aportada por la mineralización posterior, principalmente en las parcelas con abono orgánico, que es donde se podrían esperar, de acuerdo a los valores estimados, deficiencias de nitrógeno.

Por otro lado, el análisis textural de los suelos recogidos durante la instalación de la red de muestreo, indica que éstos presentan, en la totalidad de las muestras analizadas, una textura arcillo-limosa tendiendo a arcillosa a profundidad. A partir de dicha textura se ha calculado la capacidad de campo (Fuentes, 1994) obteniéndose valores de 735 m<sup>3</sup>/ha, para lo que se ha considerado un espesor de suelo de 90 cm (profundidad media a la que se encuentra el nivel freático). La evaporación se ha estimado en 250 m<sup>3</sup>/ha y riego a partir de los datos proporcionados por el IN. Teniendo en cuenta que la dosis de riego aplicada es de 1500 m<sup>3</sup>/ha y riego, se estima que el

excedente en el agua de riego es del 35 %, lo que implica un notable lavado del suelo. Las medidas tensiométricas de que se dispone (figura 2), corroboran en cierto modo los cálculos descritos, pudiendo ser posible un ajuste en la cantidad de agua aplicada.

A partir de lo observado en la evolución de nitratos (fig. 4), se puede concluir que no existe una migración importante más allá de los 90 cm, profundidad media a la que se encuentra el nivel frático en el verano, ni a mayor profundidad. Esto se corrobora con los valores obtenidos en la entrada de nitratos en la que no se aprecia una cantidad excesiva del nutriente en el fertilizante, ni por otras fuentes. Las precipitaciones ocurridas desde la aplicación del abono de sementera no son suficientes para producir lixiviado, por lo que el nitrato se conserva durante este periodo. Posteriormente al iniciarse los riegos y aunque al parecer estos son excesivos, las condiciones texturales del terreno mantienen el nitrato, incluso con la aplicación posterior de urea en cobertera, en la parte superior del suelo al alcance del cultivo, siendo este absorbido rápidamente por la planta, de forma que no presenta riesgo importante de lixiviarse. Asimismo, el abono de fondo es utilizado eficientemente por el cultivo en las tres parcelas, siendo desde la germinación de la semilla hasta la aplicación del abono de cobertera el fertilizante que aporta los nutrientes a la planta. Al parecer, éste también es utilizado como soporte por los microorganismos responsables de la eficacia de los ciclos biológicos de los cuales depende la mineralización de toda la materia de la que provienen los elementos esenciales para la vida y desarrollo de las plantas (Bigeriego y Walter, 1991).

## CONCLUSIONES

No se aprecia una migración importante de nitratos, en las tres aplicaciones, hacia las aguas del acuífero superior, siendo los valores encontrados en términos generales, no superiores de 50 mg/l, límite máximo permitido por la legislación vigente. Así, no existe una migración importante más allá de los 90 cm, profundidad media a la que se encuentra el nivel frático en el verano, ni a mayor profundidad.

El balance de nitratos estimado pone de manifiesto que las entradas de dicho ion al sistema son prácticamente las requeridas por la planta, lo que condiciona la escasa migración de dicho ion a partir de los 60 cm, lo que explicaría los bajos contenidos de nitratos encontrados a mayor profundidad.

El excedente de riego estimado en un 35 % no implica una migración importante de nitratos a través de la ZNS, siendo las condiciones texturales del terreno un factor importante para que este se mantenga en los primeros 60 cm del perfil y de este modo sea aprovechado adecuada y eficientemente por la planta.

Las medidas tensiométricas de que se dispone, aunque muy espaciadas en el tiempo, permiten considerar un mejor ajuste en la cantidad de agua aplica-

da, proponiéndose un espaciamiento mayor entre riegos o un menor volumen de agua aplicada en cada riego.

#### AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado mediante una ayuda concedida por la Universidad de Alcalá de Henares, así como con una beca del Programa Mutis concedida por la Agencia Española de Cooperación Internacional-Instituto de Cooperación con Iberoamérica.

#### BIBLIOGRAFÍA

- BIGERIEGO M. y WALTER I. (1984). Características físico-químicas y valor fertilizante de los lodos de las depuradoras del Plan de Saneamiento Integral de Madrid. *E. y S. Municipales*, n 8: 201-211.
- FUENTES YAGÜE (1994). *El suelo y los fertilizantes*. Ed. MAPA y Mundi-Prensa. Madrid, España.
- HERNÁNDEZ, 1994. Determinaciones analíticas en muestras de la zona no saturada: *Investigación en zona no saturada*: Ed. I. Morell (Universitat Jaume I). P. 29-51.
- MORELL I., ESTELLER M., Y DURÁN A. (1994). Efecto depurador de la zona no saturada sobre efluentes urbanos utilizados para riego: *Investigación en zona no saturada*. Ed. I. Morell (Universitat Jaume I). P. 77-98.
- PORCEL M.A., WALTER I y BIGERIEGO M. (1994). Utilización del compost de lodo como abono órgano-mineral en maíz. *Jornadas Internacionales sobre Aguas Residuales urbanas e industriales: Depuración, gestión y reutilización. Sevilla del 13 al 15 de Abril de 1994*.
- WALTER I., MIRALLES R., FUNES E., GOROSPE M. and BIGERIEGO M. (1990). Effect of Sewage Sludge Used as Fertilizer in the Central Region of Spain. *Symp. on Treatment and Use of Sewage Sludge and Liquid Agricultural Wastes. Elsevier Science Publisher. LTD. Essex (England)*. Pp. 304-309.
- REYES J., MARTÍNEZ S., SASTRE A., BIGERIEGO M. y PORCEL M.A. (1996). *Geogaceta* Nº 20 (6). Pp. 1285-1287.
- SÁNCHEZ-PÉREZ J.M. y MORELL I. (1994). Precaución de uso de los tomamuestras de succión equipados con porcelana porosa: *Ed. I. Morell (Universitat Jaume I)*. Pp. 9-16.