

PERDIDA DE NITRATOS POR LIXIVIACIÓN DE UN CULTIVO DE TOMATE EN SUELO BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

Granados García, M.R.⁽¹⁾ (P), Thompson, R.B.⁽²⁾, Fernández, M.D.⁽¹⁾, Gallardo, M.⁽²⁾, Gázquez, J.C.⁽¹⁾

RESUMEN

La mayor parte del área asociada con el sistema de producción hortícola, basado en invernadero de Almería, ha sido declarada como zona vulnerable a la contaminación por NO_3^- . Este trabajo se realizó para examinar la contribución de una secuencia de cultivo en suelo a la contaminación por NO_3^- . Se midió el drenaje y NO_3^- lixiviado durante una secuencia de cultivo realizado en suelo en un invernadero de Almería, siguiendo las prácticas habituales en la zona. Esta secuencia de cultivo incluía una desinfección química de suelo el 20-27 de Julio de 2004, el trasplante de un cultivo de tomate 20 de Agosto de 2004, realizándose un segundo trasplante el 23 de Septiembre de 2004, desarrollándose este cultivo durante 160 días hasta el 2 de Marzo de 2005. La desinfección química del suelo se realizó con un aporte 85 mm fraccionados en dos riegos. Antes de cada trasplante, se realizó un único riego de 31 y 27 mm para el primer y segundo trasplante, respectivamente, para humedecer el suelo. Durante 3 semanas después del trasplante, durante el establecimiento del cultivo, se realizó un manejo del riego basado en la experiencia para asegurar la supervivencia de las plántulas. Durante el periodo posterior se utilizaron tensiómetros para el manejo del riego. Hasta el 13 de Octubre de 2004 se aplicó agua sin adición de fertilizantes. Posteriormente se estableció una solución nutritiva con concentraciones fijas de NO_3^- y NH_4^+ para ser aplicadas en fertirrigación; siendo éstas de 9,5 mM NO_3^- y 3,5 mM NH_4^+ hasta el 5 de diciembre de 2004, y 12,9 mM NO_3^- y 4,5 mM NH_4^+ desde el 6 de diciembre de 2004 hasta el 2 de marzo de 2005. Asociados con la desinfección, primer trasplante, y segundo trasplante y establecimiento de cultivo se obtuvieron 50, 23 y 43 mm de drenaje, respectivamente. A pesar de no aplicar N en forma de fertilizante durante estos periodos, la concentración de NO_3^- en el drenaje estuvo normalmente entre 7-12 mM, muy por encima de los límites establecidos por la UE en 0,8 mM (50 mg NO_3^-/L). A partir del 10 de octubre, cuando el cultivo ya estaba establecido, y hasta el final del ciclo, sólo se obtuvieron 10 mm de drenaje. Durante este periodo de cultivo, la concentración de NO_3^- en el drenaje aumentó desde 10 hasta 26 mM, indicando una acumulación apreciable de N mineral en el suelo, debida a un aporte excesivo en fertirriego. Las pérdidas de nitratos por lixiviación fueron de 45 Kg N ha^{-1} durante la desinfección, 24 Kg N ha^{-1} durante el trasplante del primer cultivo de tomate, de 38 kg N ha^{-1} durante el trasplante y establecimiento del segundo cultivo de tomate, y de 25 Kg N ha^{-1} durante los últimos 4,5 meses de cultivo posteriores.

Este trabajo indica que los suelos tienen una alto potencial para la pérdida de nitratos por lixiviación, atribuible al gran aporte de estiércol realizado de forma habitual, y a una aplicación excesiva de N en forma de fertilizante. Los mayores volúmenes de drenaje se produjeron tras la desinfección del suelo y el trasplante y establecimiento del cultivo, obteniendo durante estos periodos grandes pérdidas de NO_3^- por lixiviación.

(1) Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'. Apdo. 250, 04080 Almería. E-Mail: mgranadosgarcia@cajamar.es

(2) Dpto. Producción Vegetal, Universidad de Almería, La Cañada, 04120 Almería. E-Mail: rodney@ual.es

ABSTRACT

Much of the area associated with the greenhouse-based vegetable production system of Almeria has been declared Nitrate Vulnerable Zones. This work was conducted to examine the contribution of soil-based cropping to aquifer contamination with NO_3^- . Drainage and NO_3^- leaching were measured during a cropping sequence conducted in soil in a greenhouse in Almeria. The cropping sequence involved chemical soil disinfection on 20-27 July 2004, the transplanting of a tomato crop, on 26 August 2004, that was immediately removed, and a tomato crop grown for 160 days between 23 September 2004 and 2 March 2005. The chemical soil disinfection was conducted with 85 mm applied in two separate irrigations. Prior to each transplanting, individual irrigation of 31 and 27 mm were applied to moisten the soil. For 3 weeks after transplanting, irrigation was based on experience to ensure seedling survival and crop establishment. Thereafter, it was managed using tensiometers. Water, with no fertiliser addition, was applied until 13 October 2004. Thereafter, consistent with local practice, fixed concentrations of NO_3^- and NH_4^+ were applied with each irrigation; 9.5 mM NO_3^- and 3.5 mM NH_4^+ were applied to 5 December 2004, and 12.9 mM NO_3^- and 4.5 mM NH_4^+ from 6 December 2004 to 1 March 2005. Drainage volumes of 50, 23 and 43 mm were associated with respectively, disinfection, transplanting of first tomato crop and the transplanting and establishment of the second tomato crop. Despite that no N fertiliser was applied during these periods, NO_3^- concentrations in drainage were always 3-12 mM and were often 7-12 mM, well in excess of the EU limit of 0.8 mM (50 mg NO_3^-/L). During most of the tomato crop from 13 October 2004, when the crop was established, until 2 March 2005, there was only 10 mm of drainage. During the crop, the NO_3^- concentration in drainage increased from 10 to 27 mM indicating appreciable accumulation of soil mineral N from over application of fertiliser N. Nitrate leaching losses were 45 kg N ha^{-1} from disinfection, 24 kg N ha^{-1} from the transplanting of the first tomato crop, 38 kg N ha^{-1} from the transplanting and establishment of the second tomato crop, and 25 kg N ha^{-1} during the last 4.5 months of the second tomato crop. This work suggested that these soils have a large potential for nitrate leaching loss, which was attributed to regular large manure application and excessive application of N fertiliser. Large drainage events, which occurred following soil disinfection, and crop transplanting and establishment, resulted in appreciable NO_3^- leaching loss.

1. INTRODUCCIÓN.

En la actualidad, aproximadamente 25.000 ha están siendo empleadas para la producción hortícola intensiva en invernadero en la provincia de Almería. Varios miles de hectáreas más de invernaderos se localizan en la costa mediterránea, principalmente en las provincias limítrofes. En la zona del Campo de Dalías, donde se concentra el 80% de la superficie de invernadero de la provincia de Almería, se ha detectado una apreciable concentración de nitratos en acuíferos superiores (Jiménez et al., 1996), mostrando una tendencia creciente, como consecuencia del actual sistema de producción hortícola. La mayor parte de esta zona, ha sido declarada como 'zona vulnerable' a la contaminación por nitratos por el decreto 261/1998 de 15 de diciembre (BOJA nº5, 12/1/99), de acuerdo a la directiva europea 91/676/CEE (DOCE 375/L, de 31 de diciembre) y el R.D.261/1996, de 16 de febrero (BOE nº61, de 16 de febrero) a nivel nacional. Un impacto medioambiental adicional de este sistema agrícola, es la subida del nivel freático de acuíferos superficiales con el retorno de drenajes, pudiendo alcanzar la superficie en relativamente poco tiempo.

Aproximadamente el 80% de los cultivos se realizan en suelo, y el resto utilizando sistemas hidropónicos. Los cultivos desarrollados en suelo son normalmente manejados utilizando riego por goteo, realizándose la aplicación de nutrientes mediante fertirriego. Durante la construcción del invernadero, se suelen realizar grandes aplicaciones de estiércol, realizándose aplicaciones adicionales cada 2-5 años (Thompson *et al.*, en prensa). La desinfección química se realiza de forma habitual aplicando grandes volúmenes de agua (Thompson *et al.*, en prensa). Para asegurar la humedad en el perfil del suelo, se aplican de forma habitual riegos excesivos (Thompson *et al.*, en prensa). Las prácticas en cuanto al manejo de nutrientes se basan en la experiencia, sin la realización de análisis de suelo, y sin la consideración de los nutrientes aportados en aplicaciones previas de estiércol (Thompson *et al.*, en prensa). El cultivo de mayor importancia en esta zona, en términos de superficie cultivada y valor económico, es el tomate (MAPA, 2005).

En el actual sistema de producción agrícola, se producen grandes pérdidas de nitratos por lixiviación en sistemas hidropónicos abiertos, pero estas pérdidas pueden ser reducidas mediante la recirculación de nutrientes (Magan *et al.*, 1999). Actualmente, existe poca información sobre las pérdidas de nitratos por lixiviación desde cultivos desarrollados en suelo, los cuales constituyen un 80% de la superficie de cultivo en esta región.

Este trabajo se llevó a cabo para determinar las pérdidas de nitratos durante una secuencia de cultivo, en la que se incluye una desinfección de suelo, un riego elevado de pre-transplante y el desarrollo de un cultivo de tomate.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

En un invernadero localizado en la Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas' en El Ejido (Almería) se midieron el drenaje y las pérdidas de nitratos por lixiviación durante una secuencia de cultivo, con un riego de desinfección y un cultivo de tomate. El invernadero, de 24 x18 metros y orientación este-oeste, tenía una cubierta de polietileno (LDPE) tricapa (200 micras de espesor) soportada mediante alambre sobre una estructura metálica

El invernadero tenía un suelo artificial 'enarenado' típico de la comarca, compuesto por un suelo con textura franco arcillosa de 25 cm de espesor aportado sobre el suelo original (textura franco limosa), y sobre el cual se extiende una capa de 10 cm de espesor de arena gruesa. Este suelo se creó en 1995, con la construcción del invernadero.

En Junio de 2003 se añadió estiércol, con un aporte de 1270 Kg N ha⁻¹. Se utilizó un sistema de riego por goteo superficial. Los goteros (2,8 L h⁻¹) fueron colocados a 50 cm, con una distancia de 1 m entre líneas adyacentes. Se colocó una planta (de 6 semanas) por gotero, mediante transplante a una distancia de 8 cm de gotero. La densidad de plantación fue de 2 plantas m⁻².

El drenaje se recogió mediante dos lisímetros (4 m de largo, 2 m de ancho y 0,7 m de

profundidad), contruidos con el invernadero en 1995, formados por una capa suelo alterado, de 60-70 cm de profundidad, con forma de 'V' en el fondo, y una ligera pendiente para facilitar el drenaje, estando recubierto por una capa de caucho butilo (0,6mm de espesor).

El drenaje de cada lisímetro fue recogido y analizado diariamente, midiendo el volumen y concentración de nitratos y amonio. Cuando el volumen drenado fue inferior a 1 mm, se realizó una mezcla semanal del drenaje recogido de forma diaria, para su análisis.

La solución nutritiva se recogió de forma semanal en dos puntos del invernadero, determinando la concentración de nitratos y amonio. Los volúmenes de agua y solución nutritiva aplicados fueron controlados mediante un caudalímetro.

Se realizó una desinfección química del suelo en julio de 2004, siguiendo las prácticas habituales en la zona. Previamente a la aplicación del producto, se humedeció el suelo con un riego de 51 mm el 20 de julio. El 27 de julio, se aplicó una cantidad total de 24 mm de riego de desinfección, con un pre-riego de 6,5 mm, un riego de 11 mm con metam potasio al 0,4 % (p/v), y un post-riego de 6,5 mm. Un cultivo de tomate fue transplantado el 26 de agosto, tras un riego de 31 mm aplicado el día anterior, sin embargo ocurrieron algunas incidencias con el sistema de riego, causando dudas respecto a la homogeneidad de la aplicación, particularmente en la zona norte del invernadero. Como consecuencia, este cultivo fue eliminado, realizándose el 1 de septiembre un riego de 12 mm para homogeneizar el contenido de agua en la totalidad del suelo del invernadero. Un segundo cultivo de tomate 'Boludo' se transplantó el 23 de septiembre de 2004 tras un único riego de 27 mm realizado el día anterior. Durante 3 semanas después del transplante, el riego se basó en la experiencia local, si bien posteriormente se utilizaron tensiómetros para la programación del mismo, manteniendo el potencial mátrico entre -15 y -35 KPa. Este cultivo se desarrolló durante 160 días hasta el 2 de marzo de 2005. El manejo de nutrientes se realizó en base a la experiencia local. Durante las 3 primeras semanas de cultivo se aplicó solo agua, empleando posteriormente cada riego una solución nutritiva establecida. Las concentraciones de nitratos y amonio en la solución nutritiva aportada se indican en la tabla 1.

La concentración de nitratos y amonio se determinó colorimétricamente, utilizando un autoanalizador de flujo segmentado (SKALAR, Holanda).

3. RESULTADOS.

En la desinfección de suelo se aplicó un total de 75 mm, 51 mm en el riego para humedecer el suelo, y 24 mm con la aplicación de desinfectante (Figura 1). Los volúmenes de drenaje asociados fueron 32 y 18 mm, respectivamente (Figura 1), que presentaban concentraciones medias de 7 y 3,6 mM, respectivamente (Figura 2). Un total de 40 Kg N ha^{-1} se perdieron durante la desinfección del suelo, 31 Kg N ha^{-1} con la primera aplicación de agua y 9 Kg N ha^{-1} con el riego de desinfección (Figura 3).

Un total de 36 mm de agua (sin adición de N) se aplicó en el riego al comienzo de la primera plantación de tomate, 31 mm el día anterior al transplante y 5 mm inmediatamente después del transplante (Figura 1). Un total de 23 mm de drenaje estuvieron asociados a esta aplicación (Figura 2), con una concentración media de NO_3^- de 8,6 mM (Figura 2). Un total de 28 Kg N ha^{-1} fue lixiviado tras estos dos riegos. Se realizó una aplicación estimada de 12 mm de agua el 1 de Septiembre, para homogeneizar el contenido de agua en el suelo, y se recogieron un total de 13 mm de drenaje en los siguientes 10 días (Figura 1), con una concentración media de nitratos de 9 mM. A consecuencia de esta única aplicación de agua, se lixiviaron 16 Kg N ha^{-1} .

El día anterior al trasplante del segundo cultivo de tomate, se aplicaron 27 mm de agua (sin adición de N) (Figura 1). Durante los siguientes 87 días de cultivo, un total de 171 mm fueron aplicados secuencialmente. De los 45 mm de drenaje recogidos durante el desarrollo del cultivo, un total de 34 mm correspondieron a los primeros 20 días sin aplicación de fertilizantes. Cuando se comenzó la aplicación de nitrógeno, y hasta el final del cultivo (4,5 meses), sólo se obtuvieron 10,3 mm de drenaje.

En el periodo entre el trasplante y el 12 de Octubre, con un 76 % de drenaje del total del ocurrido durante el segundo trasplante, la concentración de nitratos en el drenaje fue de 7-10 mM, a pesar de no aportar N en fertirriego (Tabla 1). Después del comienzo de la aplicación de N mineral, se incrementó ligeramente la concentración de nitratos en el drenaje hasta 10-13 mM, y permaneció en este rango hasta principios de diciembre, incrementándose después progresivamente, hasta alcanzar valores de 26 mM al final del cultivo (Figura 2).

Durante el segundo cultivo de tomate, se perdieron como consecuencia del nitrato lixiviado un total de 63 Kg N ha⁻¹, de los cuales un 60 % de pérdida se produjo en los primeros 20 días, antes del comienzo de la fertilización nitrogenada (Figura 3).

4. DISCUSIÓN.

Durante la secuencia de cultivo desarrollada en este trabajo, las grandes cantidades de drenaje y pérdidas de nitratos por lixiviación, estuvieron concentradas en los periodos de desinfección del suelo y comienzo del cultivo. Se encontraron concentraciones de nitratos relativamente altas en el drenaje, por lo tanto las pérdidas de nitratos por lixiviación estuvieron en gran parte determinadas por el volumen drenado. Las pérdidas de drenaje al comienzo de ambos cultivos fueron resultado de los grandes riegos realizados en pre-trasplante, y el riego realizado posteriormente al trasplante para mantener la humedad del suelo y asegurar la supervivencia de las plántulas. Una vez establecido el cultivo (3 semanas aproximadamente), el manejo del riego se realizó utilizando tensiómetros; lo cual contribuyó a la pequeña cantidad de drenaje obtenida en el periodo de final de Octubre de 2004 a Marzo de 2005. Los grandes volúmenes de drenaje obtenidos tras la desinfección y el trasplante están de acuerdo con los datos obtenidos por Thompson *et al.* (en prensa), los cuales muestran a través de una encuesta realizada en fincas comerciales, que los agricultores de Almería utilizan grandes volúmenes de agua para la aplicación de desinfectantes químicos, así como para asegurar la humedad del suelo previamente al trasplante (Thompson *et al.*, en prensa), indicando además riegos excesivos durante las 6 primeras semanas del cultivo, para asegurar la supervivencia de las plántulas. Las pequeñas pérdidas de drenaje obtenidas una vez el cultivo estaba establecido, están de acuerdo con los datos de la encuesta de Thomposon *et al.*, en prensa), los cuales sugerían que la mayor parte de los agricultores de Almería no realizan riegos muy por encima de los requerimientos de agua del cultivo una vez establecido.

La mayor parte de las pérdidas de nitratos por lixiviación durante la secuencia de cultivo ocurrió en el periodo sin aporte de nitrógeno en fertirriego. Las concentraciones de nitratos en el agua de drenaje estuvieron normalmente entre 7-12 mM. Las principales fuentes de nitratos de un cultivo son: (i) aplicaciones previas de estiércol, y (ii) acumulación de N mineral en el suelo procedente de cultivos anteriores. Aproximadamente un año antes de la desinfección, se realizó una aplicación de estiércol con un aporte de 1270 Kg N ha⁻¹. Estos grandes aportes de materia orgánica son comunes en este sistema de cultivo hortícola (Thomson *et al.*, en prensa). Las altas concentraciones de nitratos en el agua de drenaje durante los últimos 4,5 meses de cultivo indican la acumulación de N mineral en el suelo durante el cultivo. La utilización de concentraciones establecidas de nitratos y amonio en la solución nutritiva, lo cual es una práctica común en este sistema de producción hortícola, conduce a un aporte excesivo de nitrógeno al cultivo. La acumulación de nitratos en el suelo durante el cultivo ha sido observada en otros estudios realizados en este sistema

(R.B. Thompson , datos no publicados). Muestreos de suelo en invernaderos comerciales corroboran las grandes cantidades de N mineral presentes comúnmente en estos suelos (Thompson *et al.*, 2002). En el actual sistema de producción hortícola en Almería, los muestreos de suelo para determinar la concentración de N mineral, y la consideración de las demandas nutricionales del cultivo durante las diferentes etapas de desarrollo, para la planificación de la fertilización nitrogenada, no son normalmente tenidos en cuenta (Thompson *et al.*, en prensa).

Durante la secuencia de cultivo de este trabajo, se obtuvieron drenajes con concentraciones muy por encima de los límites establecidos por la UE en 0.8 mM (50 mg NO₃⁻ L⁻¹). Estos datos demuestran que un cultivo de invernadero desarrollado en suelo en Almería contribuye a (i) un aumento en el nivel freático de acuíferos superficiales en el campo de Dalías y (ii) los altos niveles de contaminación por nitratos de acuíferos encontrados en la región de Almería.

5. CONCLUSIONES.

Se obtuvieron pérdidas de nitratos por lixiviación durante una secuencia de cultivo en un invernadero manejado según prácticas locales. Esta secuencia de cultivo estaba formada por : (i) una desinfección química del suelo, (ii) un trasplante de tomate, sin el desarrollo del cultivo, y (iii) un cultivo de tomate desarrollado durante 160 días.

Los grandes volúmenes de drenaje obtenidos y de nitratos lixiviado estuvieron asociadas con la desinfección del suelo, y las 3 semanas inmediatamente posteriores al trasplante. La cantidad de nitratos lixiviados durante los siguientes 4,5 meses de cultivo, con un manejo del riego mediante tensiómetros, fueron relativamente pequeñas. Las pérdidas de nitratos después de la desinfección del suelo y el establecimiento del cultivo se produjo antes de la adición de N mineral en fertirriego. Las concentraciones de nitratos en el agua de drenaje durante estos periodos fueron 3-12 mM, muy por encima del límite de la UE (0,8 mM).

6. BIBLIOGRAFÍA.

Jiménez Espinosa, R.; Pulido Bosch A., 1996. Influencia de la agricultura intensiva en el contenido de nitratos de las aguas del Campo de Dalías: evolución temporal y espacial. *Geogaceta*, 20 (6): 1281-1284.

M.A.P.A., 1994. Métodos Oficiales de análisis. Tomo III. Secretaria General Técnica del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, 532.

M.A.P.A., 2005. Anuario de estadística agroalimentaria 2003. En: <http://www.mapya.es>.

Magan, J.J., Romera, M., Canovas, F. y Fernandez, E. 1999. Ahorro de agua y nutrientes mediante un sistema de cultivo sin suelo co reusi del drenaje en tomate larga vida. *Riegos y Drenajes XXI*, 107 : 48-53.

Thompson, R.B., Gallardo, M., Gimenez, C., 2002. Assessing Risk of Nitrate Leaching from the Horticultural Industry of Almería. *Acta Horticulturae* 571: 243-245.

Thompson, R.B., Martínez, C., López-Toral, J., Fernández, M^a.D., Gallardo, M., Gimenez, C., en prensa. Management factors contributing to nitrate leaching loss from a greenhouse-based intensive vegetable production system. *Proceedings of International Society of Horticultural Science Symposium "Towards Ecologically Sound Fertilisation Strategies for Field Vegetable Production"* Perugia, Italia, Junio 2004. *Acta Horticulturae* (en prensa)

Tablas

Tabla 1. Concentración de nitratos y amonio (mM) en el agua y soluciones nutritivas aportadas.

Periodo		Etapa	Concentración de N mineral	
desde	hasta		NO ₃ ⁻ (mM)	NH ₄ ⁺ (mM)
20/7/04	12/10/04	Desinfección, Pre-transplante, Establecimiento	1,6	0
13/10/04	5/12/04	Hasta maduración del primer racimo	9,5	3,5
6/12/04	2/3/05	Desde primera recolección	12,9	4,5

Figuras

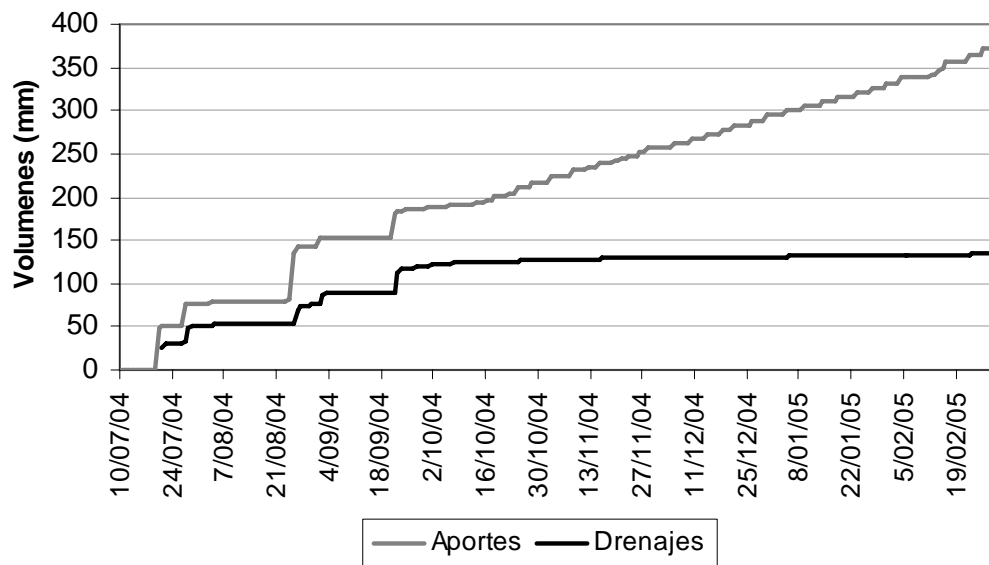


Figura 1. Volumen de agua aportada (Ap) y drenada (D) acumulado a lo largo del experimento.

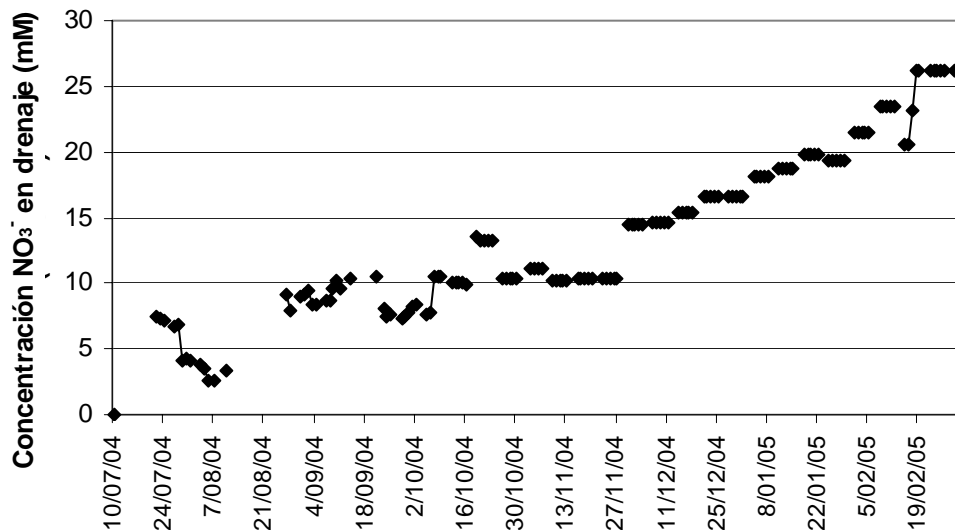


Figura 2. Concentración de nitratos en la solución lixiviada durante el periodo en estudio.

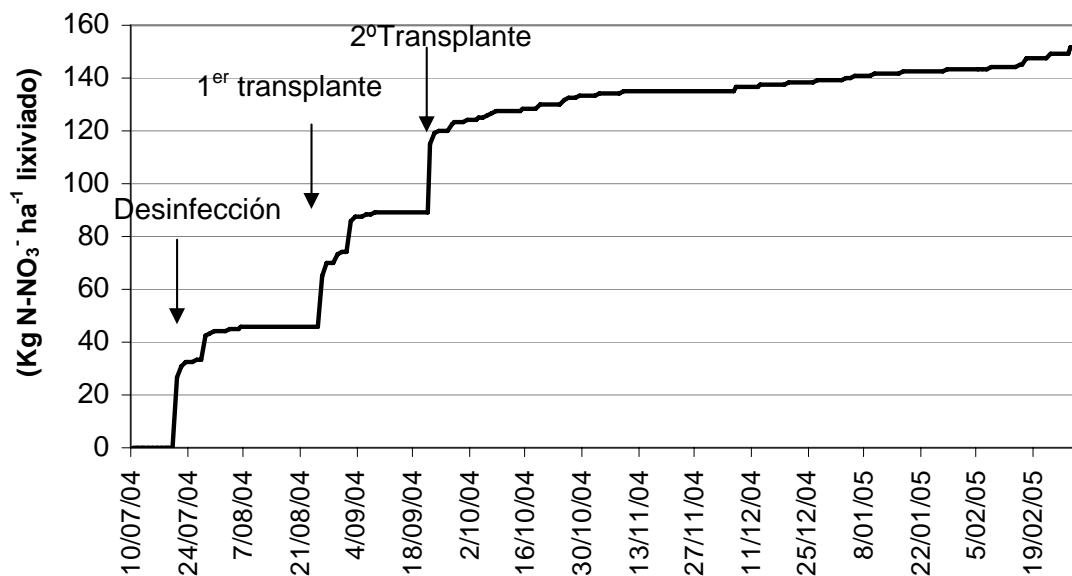


Figura 3. Cantidad acumulada de nitratos lixiviados durante el periodo en estudio.