

SOSTE NIBI LIDAD



Lisímetros de succión: una solución innovadora para combatir la contaminación por nitratos

La creciente preocupación por la contaminación de las aguas subterráneas por lixiviación de nitratos ha llevado a buscar soluciones efectivas para proteger los recursos hídricos y garantizar prácticas agrícolas sostenibles.

La contaminación de las aguas subterráneas por nitrato agrícola se ha convertido en un grave problema medioambiental en la Comunitat Valenciana. Desde la primera evaluación realizada en 2000, el área afectada ha ido en aumento y el 65% del territorio ha sido declarado zona vulnerable a esta contaminación (DOGV, 2022). Ante esta situación, se han implementado diversas normativas con el objetivo de limitar las dosis de fertilización nitrogenada en la agricultura. Sin embargo, el régimen intensivo de precipitaciones durante el otoño y la primavera, junto con la alta solubilidad de las sales de este anión (NO_3^-), incrementa significativamente el riesgo de lixiviación de nitrato.

Varios expertos sugieren la implementación de un sistema eficaz de monitoreo y control de estas pérdidas para la cuantificación con suficiente precisión de la cantidad de nitrato que se filtra hacia las aguas subterráneas. Con datos precisos, los agricultores podrían ajustar las dosis de fertilización nitrogenada, mejorando así la eficiencia en el uso de este nutriente y minimizando el impacto en el medio ambiente.

Un enfoque para controlar la lixiviación de nitratos es el uso de lisímetros con cápsulas porosas instaladas a profundidades por debajo de la zona radicular. Este sistema busca ofrecer una solución práctica y económicamente viable para el monitoreo efectivo de la lixiviación del nitrato.

Este artículo tiene como objetivo detallar el establecimiento correcto de un sistema de control de la lixiviación de nitrato de origen agrario mediante el uso de lisímetros. En este contexto, se abordan algunas preguntas clave: ¿Qué equipamiento se requiere?, ¿cuál es el procedimiento para su instalación?, ¿cómo se toman las muestras de la solución del suelo?, ¿qué pasos se siguen para analizar las muestras recogidas? y, finalmente, ¿cómo se interpretan los resultados obtenidos?

Imagen superior, lisímetros instalados en parcela.

FIGURA 1
ESQUEMA Y FOTOGRAFÍA DE
LISÍMETRO PARA LA EXTRACCIÓN
DE LA SOLUCIÓN DEL SUELO.



EQUIPAMIENTO

El establecimiento de un sistema de control de la lixiviación requiere la instalación de lisímetros para extraer la solución del suelo de puntos representativos de parcelas agrícolas o comunidades de regantes. Los lisímetros están compuestos por las siguientes partes (**Figura 1**):

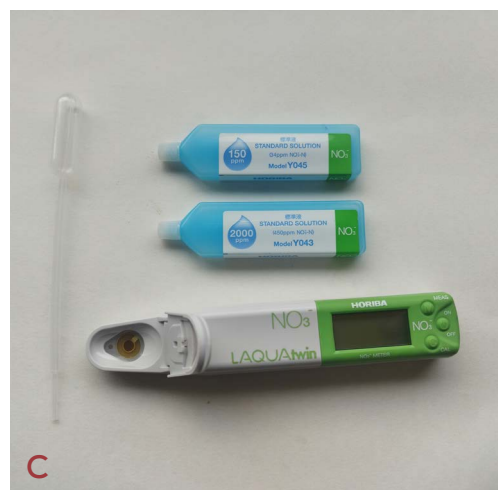
- Tubo de plástico: tubo de material PVC o similar con una longitud superior a la profundidad del suelo de la que se pretende monitorizar las pérdidas de nitrato.
- Cápsula porosa cerámica: cápsula porosa que se acopla al final del tubo de plástico permitiendo la entrada de la solución del suelo.
- Tapón estanco: tapón de goma, caucho o silicona que se acopla de forma estanca en la parte superior del tubo de plástico.
- Microtubo de conducción: microtubo que atraviesa el tapón estanco, recorre todo el tubo de plástico y alcanza la cápsula de succión.
- Válvula de cierre: sistema de cierre del microtubo que impide la entrada de aire y permite así mantener el vacío realizado en el lisímetro para, posteriormente, abrirlo y aspirar y extraer la solución del suelo.

Además de los lisímetros, para extraer, retener y recoger la solución del suelo es necesario el siguiente equipamiento adicional:

- Bomba de succión (**Figura 2A**) o, alternativamente, jeringuilla grande de 50-100 mL, dependiendo del tamaño del tubo, para realizar el vacío en el lisímetro, extraer la solución del suelo, retenerla y, posteriormente, recogerla.
- Equipo portátil de medición de nitrato: Existen varias opciones, desde reflectómetros de tiras como el medidor RQflex (**Figura 2B**) hasta el electrodo selectivo de nitrato portátil (**Figura 2C**), que permiten conocer con suficiente precisión la concentración de nitrato en la solución extraída.

FIGURA 2

- A. Bomba portátil para hacer vacío-succión.
 B. Reflectómetro para medir nitrato (RQflex).
 C. Electrodo selectivo portátil para medir nitrato.



Los lisímetros son comercializados por varias empresas especializadas (Tabla 1). Además, algunas de estas distribuidoras incluyen en su catálogo bombas de succión para crear el vacío dentro del lisímetro.

TABLA 1. EMPRESAS PROVEEDORAS DE LISÍMETROS PARA TOMA DE MUESTRAS DE SOLUCIÓN DEL SUELO.



MARCA	PROFUNDIDAD (cm)	PRECIO (€)	WEB DE CONTACTO
METERGROUP	CUALQUIERA	--	www.lab-ferrer.com
HANNA	30, 60, 90	74-136	www.hannainst.es
GRIS IBÉRICA	30, 60, 90	41-49	www.gisiberica.com
INFOAGRO	30, 60, 90	71-131	www.infoagro.com
IRROMETER	30, 45, 60, 90	72-83	mmm-tech.de

Los lisímetros de succión emergen como una herramienta prometedora para monitorizar y controlar las pérdidas de nitrato en los campos de cultivo y constituyen una gran ayuda para la gestión adecuada del uso de fertilizantes nitrogenados por parte de agricultores y regantes.



Barrenando el suelo para hacer el agujero donde insertar el lisímetro.

INSTALACIÓN

La instalación de lisímetros requiere, en primer lugar, establecer los puntos representativos de la parcela donde se llevará a cabo el monitoreo de la lixiviación de nitrato. Se deben evitar las zonas marginales y compactadas por el paso de maquinaria. En sistemas de riego por goteo se recomienda su instalación en una zona del bulbo entre el emisor y el final exterior del bulbo.

La profundidad de instalación debe situarse por debajo de la zona radicular, lo cual varía según la edad, el portainjerto y el tipo de cultivo:

- Leñosos: entre 60 y 90 cm.
- Hortícolas y herbáceos: entre 45 y 60 cm.

Una vez seleccionados los puntos y las profundidades adecuadas, se perfora un agujero en el suelo utilizando una barrena, asegurándose de que el diámetro sea ligeramente mayor que el del tubo del lisímetro, pero lo suficientemente ajustado para garantizar un buen contacto con el suelo. A continuación, se procede a insertar el lisímetro a mano hasta alcanzar la profundidad requerida.

Este artículo atiende el procedimiento para instalar estos dispositivos correctamente, así como la metodología para obtener, analizar e interpretar la información de la lixiviación de nitrato del suelo.



Un aspecto fundamental en la instalación de los lisímetros es garantizar un contacto íntimo y continuo entre la cápsula porosa y el suelo, evitando cámaras de aire que podrían dar lugar a la aparición de flujos de agua preferenciales. Además, es esencial que el suelo que rodea la cápsula mantenga una humedad cercana a la capacidad de campo (en sazón) para optimizar la extracción de la solución del suelo.

Para garantizar un contacto adecuado, se recomienda preparar una pasta utilizando tierra extraída del mismo suelo y un poco de agua antes de insertar el tubo con la cápsula porosa en el agujero. Esta pasta se elabora desmenuzando el suelo en pequeños agregados y mezclándolos con agua hasta hacer un barro. Una vez lista la pasta, se procede a cubrir y embarrar la cápsula con esta mezcla, asegurando así, una vez instalado el lisímetro, un ajuste uniforme y continuo con el entorno del suelo (Imagen 1 y 2). Otra opción es introducir el barro con un poco de agua directamente al fondo del agujero y luego insertar el lisímetro.

Posteriormente, el lisímetro se inserta manualmente en el agujero, asegurándose que alcance el fondo a la profundidad deseada (Imagen 3). Posteriormente, se rellena el espacio entre el tubo del lisímetro y las paredes del agujero con más tierra, compactándola ligeramente, y se añade agua para asentar el suelo.

Por otro lado, no se recomienda instalar lisímetros en suelos pedregosos, ya que la presencia de piedras puede dificultar el contacto íntimo entre la cápsula porosa y el suelo, e incluso ocasionar la rotura de la cápsula de material cerámico durante la inserción.

Otro aspecto importante es garantizar la estanqueidad del lisímetro. Una vez aplicada la succión al dispositivo, este debe permanecer completamente hermético para asegurar una extracción efectiva durante el periodo de recolección de la solución del suelo. La presión negativa recomendada es de 0,6 bar, la cual supera con suficiente amplitud la capacidad de retención de agua de los suelos a capacidad de campo (0,20 - 0,33 bar). Tras la instalación, se debe aplicar el vacío y cerrar el dispositivo, de tal modo que se mantenga la hermeticidad y se asegure el correcto funcionamiento del lisímetro (Imagen 4).

Se recomienda realizar extracciones de la solución del suelo de forma periódica en fechas predeterminadas con frecuencia de entre 7 y 15 días, de tal manera que se minimice el riesgo de pérdida de estanqueidad del lisímetro.

Finalmente, se recomienda instalar al menos tres lisímetros por parcela, lo que permite representar la variabilidad de la parcela y asegurar la obtención de suficiente solución del suelo en cada muestreo. Esto es particularmente importante, ya que en ocasiones la estanqueidad puede fallar y provocar la pérdida de la solución extraída previamente, impidiendo la obtención de datos útiles.

Imagen 1. Preparando la pasta para aplicar a la cápsula de succión.

Imagen 2. Embarrando la cápsula de succión con la pasta.

Imagen 3. Inserción del lisímetro en el agujero hecho con barrena previamente.



Imagen 4. Lisímetros instalados en parcela.

TOMA DE MUESTRAS Y MEDICIÓN

Para obtener muestras de agua representativas de la solución del suelo deben observarse las siguientes recomendaciones:

- Descartar las dos primeras extracciones realizadas tras la instalación del lisímetro, ya que no son representativas.
- Abrir el tubo fino de acceso liberando la pinza de cierre o dejando en posición abierta la válvula.
- Usar una bomba de vacío o una jeringuilla para recoger toda la solución acumulada y guardarla en un recipiente limpio.
- A continuación, con la ayuda de una pipeta Pasteur o tubo cuentagotas, tomar unas gotas de la solución extraída y colocarlas en la celda de medición de un electrodo selectivo portátil previamente calibrado con las soluciones patrón suministradas por el propio fabricante, o mojar las tiras en el dispositivo reflectométrico.
- Anotar en un estadillo la concentración de nitrato obtenida, junto con el volumen de líquido extraído, la fecha y la ubicación del lisímetro.
- Aplicar nuevamente un vacío de aproximadamente 0,6 bar al lisímetro, utilizando la bomba o la jeringuilla (menos preciso) y cerrar el sistema.



Extracción de la solución del suelo, con bomba de succión o jeringuilla.



INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

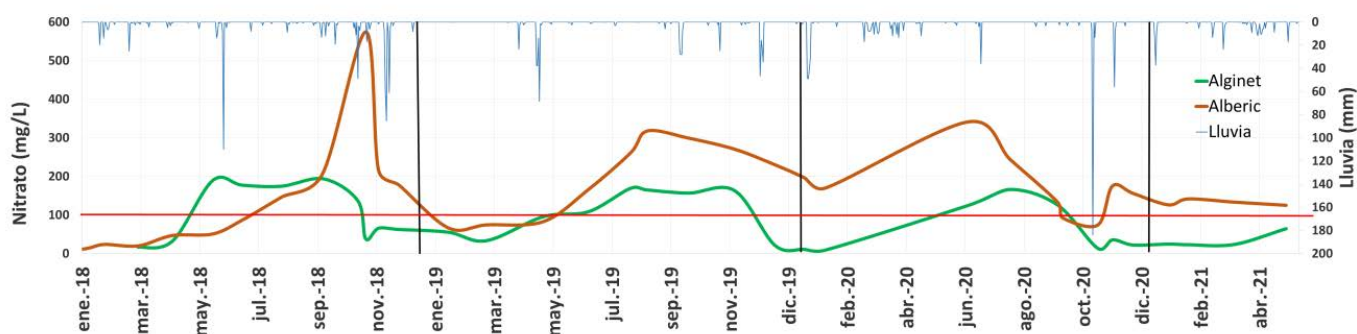
La interpretación adecuada de la concentración de nitrato en la solución del suelo es clave para optimizar el abonado nitrogenado, reducir pérdidas de nitrógeno y minimizar el impacto ambiental. No existen rangos universales para determinar si un abonado es correcto, por lo que es necesario establecerlos para cada parcela o comunidad de regantes mediante un análisis detallado de la evolución temporal del nitrato, representada gráficamente. Esta gráfica permite definir una línea base de concentración de nitrato en periodos sin fertilización, como en invierno, cuando el suelo ha sido lavado por las lluvias. Mantener la concentración de nitrato por debajo de esta línea base durante todo el año es fundamental para evitar aportes excesivos de nitrógeno, que aumentan la lixiviación y contaminan las aguas subterráneas. Los lisímetros de succión son útiles para ajustar las dosis de fertilización según las pérdidas observadas. La línea base varía según factores como el tipo de cultivo, la textura del suelo y el régimen de lluvias, por lo que debe establecerse específicamente para cada parcela. Un ejemplo práctico muestra cómo en suelos franco-arenosos (**Figura 3, línea verde**) la concentración de nitrato se mantiene estable superando la línea base ligeramente (**línea roja**) en los periodos de abonado, mientras que en suelos arcillo-limosos (**línea marrón**) oscila significativamente, indicando un exceso importante de fertilización.

FIGURA 3
EVOLUCIÓN A LO LARGO DE TRES AÑOS DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRATO EN LA SOLUCIÓN DEL SUELO A 70 CM DE PROFUNDIDAD EN DOS PARCELAS DE CÍTRICOS.

Línea verde: parcela en el término de Alginet con suelo de textura franco-arenosa.

Línea marrón: parcela en el término de Alberic con suelo de textura franco-arcillosa.

Azul: Los eventos de lluvia se muestran en el eje secundario con valor creciente de arriba abajo.



BIBLIOGRAFÍA

DOGV. 2022. DECRETO 81/2022, de 10 de junio, del Consell, por el que se amplían, en el ámbito de la Comunidad Valenciana, los municipios designados como zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes agrarias. Diari Oficial de la Generalitat Valenciana Núm. 9366, pp. 31957 – 31960 (21/06/2022).

Fernández MM, Fernández GC, Expósito EM. 2013. Manejo de Sondas de extracción de solución de suelo y métodos rápidos de determinación de nitratos. Junta de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural.

Granados MR, Thompson RB, Fernández MD, Gázquez JC, Gallardo ML, Martínez-Gaitán C. 2007. Reducción de la lixiviación de nitratos y manejo mejorado de nitrógeno con sondas de succión en cultivos hortícolas. Colección agricultura, Fundación Cajamar.

CONCLUSIONES

En este artículo se ha mostrado cómo se puede establecer un sistema de control de la lixiviación de nitrato en suelos agrícolas. Con este sistema, basado en la instalación de lisímetros de succión por debajo de la zona radicular, además de evaluar las pérdidas de nitrógeno por lixiviación, también se ayudaría a dosificar el abonado nitrogenado. Finalmente se han mostrado dos dinámicas de concentración de nitrato en el agua de drenaje en las que se ha fijado una línea base de concentración de nitrato con la que poder recomendar un manejo de abonado nitrogenado sostenible en el tiempo, y evitar así el riesgo de contaminación.

>Autores del artículo:

José Miguel de Paz, E. Peiró y Fernando Visconti.
Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible (CEDAS). Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA).
depaz_jos@gva.es