



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



CÀTEDRA
FRUTINTER



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



FRUTINTER

METODOLOGÍA DE IMPLANTACIÓN HUELLA DE NITRATO

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	DISPOSITIVO DE MEDIDA DE NITRATO EN EL LIXIVIADO	2
3	METODOLOGÍA PARA LA IMPLANTACIÓN DE DISPOSITIVOS	5
3.1	ESTUDIO PREVIO HIDROGEOLÓGICO DE VULNERABILIDAD.....	5
3.2	VULNERABILIDAD MEDIA-ALTA. ESTUDIO “IN SITU” DE PERMEABILIDAD REAL	7
3.3	INSTALACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN DE NITRATO EN EL LIXIVIADO	7
3.4	INSTALACIÓN DE DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN DE NITRATO EN RETORNOS DE RIEGO O TRANSFERENCIA LATERAL HACIA MASAS SUPERFICIALES.	9

1 INTRODUCCIÓN

El nitrógeno a aportar a un determinado cultivo se establece como diferencia entre las necesidades del cultivo a lo largo de su ciclo vegetativo y el nitrógeno disponible en el suelo y aportado por el agua de riego, en su caso. El exceso de nitrógeno puede provocar efectos adversos sobre el cultivo y el lavado de los excedentes de nitratos no absorbidos por las plantas por el agua de drenaje del riego o de la lluvia, se convierte en lixiviado potencial contaminante del medio saturado.

El principal objetivo de la metodología propuesta para la implementación de la Huella de Nitrato es la caracterización y cuantificación de los vertidos y lixiviados de compuestos nitrogenados hacia el agua subterránea o medio saturado, con objeto de mitigar a corto plazo y eliminar a medio y largo plazo la contaminación de las masas de agua subterránea o por transferencia a las masas de agua superficial por compuestos nitrogenados.

Dado que la mayor parte de las masas de agua subterránea donde se ubican los cultivos intensivos presentan valores de nitrato superiores a 37,5 mg/l (Real Decreto 47/2022, de 18 de enero), se hace imprescindible la determinación del valor del nitrato antes de alcanzar la zona saturada, con objeto de diferenciar a quien realiza buenas prácticas agrícolas sin contaminar el medio saturado.

Para ello es fundamental el caracterizar en tiempo real la carga nitrogenada del lixiviado en la zona no saturada, antes de alcanzar la zona saturada, susceptible a la contaminación. Determinando si se produce o no la contaminación del medio saturado por sustancias nitrogenadas.

En la Càtedra Frutinter de la Universitat Politècnica de Valencia, durante un periodo de 7 años, se han estudiado diferentes técnicas de lisimetría con objeto de comprobar su eficacia en cuanto a la caracterización del contenido en nitratos del lixiviado.

A este respecto, el empleo de técnicas de lisimetría de succión pasiva es muy útil para detectar el drenaje o lavado justo por debajo de las raíces, pero las concentraciones de nutrientes, cuando se produce el lixiviado, son muy similares a las aportadas a la planta en el gotero. Por lo que alcanzar el objetivo en esa zona de una concentración inferior a la indicada en el Real Decreto 47/2022, de 18 de enero, 37,5 mg/l de NO₃⁻, es prácticamente imposible.

Sin embargo, conforme hemos profundizado en la toma de muestra del terreno, dentro de la zona no saturada, las concentraciones de nitratos en el lixiviado disminuyen considerablemente, en función del poder de retención del terreno. Terrenos con mayor contenido arcilloso o limoso retienen más el nitrato que los terrenos con mayor contenido de gravas o arenas.

Por lo que si el objetivo de las buenas prácticas de riego es que el lixiviado no alcance la zona saturada con una concentración superior a 37,5 mg/l de NO₃⁻, la profundidad a ubicar un dispositivo de captación para caracterizar un lixiviado de compuesto nitrogenado dependerá del tipo de materiales existentes por debajo de las raíces entre la superficie y la zona saturada. Una vez caracterizado dicho material se determina la profundidad de ubicación de la cámara de captación del lixiviado en el dispositivo. De la experiencia contrastada en diferentes tipos de materiales se ha establecido una profundidad mínima en la zona de captación de 2 m en terrenos de mayor retención hasta más de 20 m en terrenos de menor retención.

De forma previa se llevará a cabo un estudio de vulnerabilidad de la zona no saturada que comprende el análisis completo de superficie agrícola, a efectos de determinar la presencia o no de medio saturado susceptible de contaminación, la mayor o menor permeabilidad de la zona no saturada, la dirección del flujo subterráneo, etc., estableciendo espacialmente en 3D, el grado de vulnerabilidad de la superficie agrícola. Si no existe conexión entre la zona no saturada y la zona saturada por la presencia en profundidad de material impermeable no tiene sentido instalar el dispositivo. En su caso, se identificarán las zonas de mayor potencialidad de permeabilidad o vulnerabilidad a la contaminación con objeto de ubicar posteriormente los sistemas de detección y cuantificación del vertido o lixiviado de sustancias nitrogenadas al medio. De esta forma se optimiza el número de dispositivos a instalar.

Se tendrá que instalar el número de dispositivos, ya sean con determinación esporádica o en tiempo real, que marque el estudio de vulnerabilidad. Como mínimo, cada zona de mayor vulnerabilidad, ya sea acuífero o masa de agua superficial asociada debe de llevar un dispositivo independiente. De igual forma, cada tipo de cultivo debe caracterizarse de forma independiente al ser las prácticas de abonado diferentes. Por ejemplo, si solo existe un acuífero como una zona de alta vulnerabilidad y un único tipo de cultivo con un único dispositivo situado en la zona de mayor vulnerabilidad es suficiente para la caracterización de toda la superficie agrícola, independientemente de la extensión que tenga.

2 DISPOSITIVO DE MEDIDA DE NITRATO EN EL LIXIVIADO

Para controlar que no se produce este tipo de vertido contaminante al medio, existe una metodología específica implantada por la Cátedra Frutinter de la Universitat Politècnica de València, denominada **DISPOSITIVO DE MEDIDA DE NITRATO EN EL LIXIVIADO** (ver figura nº 1), que se basa en el empleo de sondas que detectan la migración del nitrógeno en la zona no saturada (dispositivo patentado). Dichas sondas se deben ubicar estratégicamente en aquellos puntos donde existe un mayor riesgo de contaminación por lixiviado.

En el dispositivo únicamente se analiza el contenido en nitrato del agua gravífica, no se capta ni el agua pelicular ni la higróscópica, ya que se trata de caracterizar únicamente el lixiviado. Dentro de la curva de retención del terreno a partir del punto de capacidad de campo. El agua gravífica de lixiviado entra en la zona de captación filtrante y se acumula en la cámara de captación de la parte inferior del dispositivo, por lo que no hay ningún tipo de interacción con la fuerza de retención del suelo. Posteriormente se bombea con bomba eléctrica de 12V o 24V con microrrodete o impulsor en la parte inferior, desde la cámara de acumulación inferior de captación que no tiene ningún contacto con el terreno.

La solución contempla la aplicación de técnicas de espectrofotometría para la medición en tiempo real de la concentración de nitratos en el lixiviado. En la Cátedra Frutinter de la Universitat Politècnica de València se ha demostrado que el margen de error de los métodos potenciométricos o de ion selectivo para el análisis de nitratos es demasiado elevado para llevar a cabo la determinación dado el escaso margen del Real Decreto 47/2022, de 18 de enero (37,5 mg/l). Ver figura nº 2.

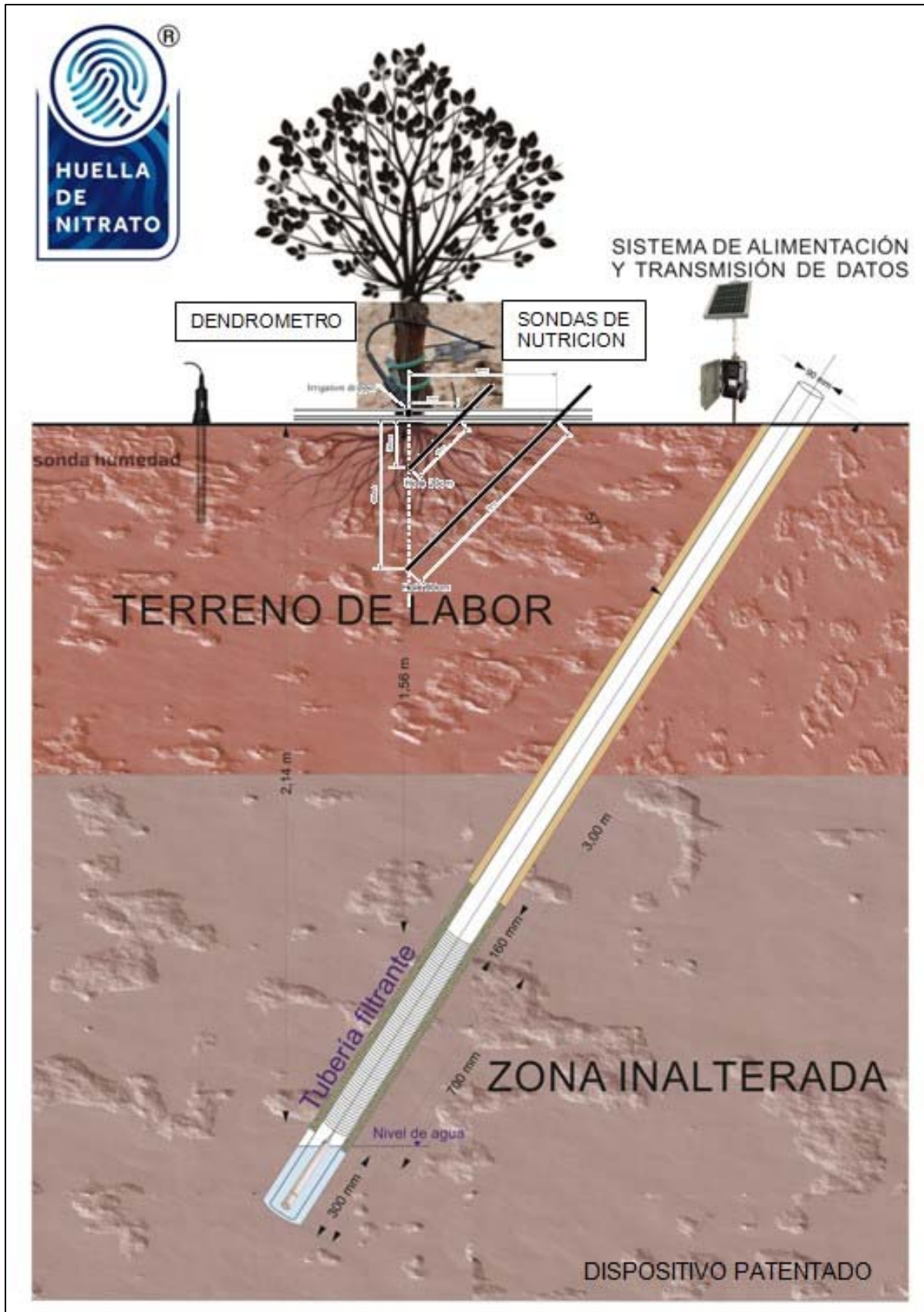


Figura nº 1. Detalle del dispositivo de control del lixiviado



Figura nº 2. Instalación de espectrofotómetro en profundidad

En las zonas de vulnerabilidad alta, la información debe ser tratada en tiempo real ya que se debe garantizar la no lixiviación en los puntos críticos en todo momento. Dicha información se deberá analizar durante todo el año, estableciendo una serie de alarmas en el caso de que se produzca un lixiviado accidental, con objeto de que pueda ser corregido de forma inmediata. Para ello, en función de la ubicación de la superficie agrícola, es necesario incorporar un sistema de comunicaciones en tiempo real eficiente, así como una aplicación informática donde se puedan gestionar en tiempo real (visualizar, almacenar, establecer consignas, etc...) los datos recopilados por cada una de las sondas. Dicha aplicación se ha desarrollado en el entorno de Microsoft para poder ser visualizada por cualquiera que tenga licencia de Office 365, con objeto de que la Administración y por su puesto la Comunidad de Usuarios de que se trate, pueda visualizar en cualquier momento que no se produce vertido al medio. Ver figura nº 3

Del análisis de la información en tiempo real con carácter diario, durante un periodo mínimo de un ciclo de cultivo, dependiendo del tipo de cultivo que se trate, se determinará si el área agrícola analizada, ha cumplido con el código de buenas prácticas agrícolas, referidas a la considerable reducción de vertido o lixiviado de sustancias nitrogenadas al medio, sin provocar contaminación en el medio saturado.



Figura nº 3. Determinación de episodios de lixiviado en tiempo real en el área de estudio.

3 METODOLOGÍA PARA LA IMPLANTACIÓN DE DISPOSITIVOS

La Càtedra Frutinter de la Universitat Politècnica de València ha desarrollado una metodología para la implantación de dispositivos de caracterización de nitratos en el lixiviado. En primer término, se llevará a cabo un estudio de permeabilidades y vulnerabilidad a la contaminación en la zona no saturada para evaluar la necesidad o no de utilizar dispositivos de medición de nitrato en el lixiviado y de qué tipo, así como el número de dispositivos a instalar, en función del grado de la mayor o menor vulnerabilidad del terreno a la contaminación por compuestos nitrogenados.

3.1 ESTUDIO PREVIO HIDROGEOLÓGICO DE VULNERABILIDAD

De forma previa, se recopilarán todos los datos relativos a la presencia de acuíferos en el subsuelo del área estudiada y el estado hidroquímico de las aguas subterráneas y superficiales, con objeto de establecer un estado de referencia o inicial.

En primer término, se describirá el contexto geológico del área de estudio y su entorno con objeto de conocer los materiales existentes, desde el punto de vista litológico, estructural y geométrico, tanto en superficie como en profundidad. Para ello se efectuará una cartografía litoestratigráfica del área de estudio a la escala más adecuada y se elaboraran los cortes litológico-estructurales con objeto de reflejar la disposición de materiales en el subsuelo del área estudiada.

En los lugares en los que quede imprecisa la geometría de los acuíferos tras el estudio geológico estructural, se plantearán trabajos de geofísica adecuados para investigar estos aspectos.

Sobre la base de la cartografía litoestratigráfica realizada, se elaborará una cartografía hidrogeológica, asignando un rango de permeabilidad asociado a cada una de las formaciones lito-estructurales diferenciadas. En dicha cartografía se reflejará el inventario de puntos de agua, la dirección preferente de flujo de agua subterránea y los mapas de isopiezas de las formaciones acuíferas diferenciadas en profundidad. Se elaborarán los cortes hidrogeológicos correspondientes donde se reflejará el funcionamiento hidrogeológico de cada uno de los acuíferos discretizados, existentes o no en el subsuelo del área estudiada.

Para realizar el Mapa Hidrogeológico se agruparán o dividirán, aquellas unidades litoestratigráficas del mapa geológico estructural que, siendo estratigráficamente adyacentes, presentan una similitud o clara diferencia en cuanto a sus características hidrogeológicas y comportamiento hidráulico. Se asignarán una serie de rangos de permeabilidad en los que se encuadran las unidades establecidas para el Mapa Hidrogeológico.

Se diferenciarán un total de cinco rangos de permeabilidad, permeabilidades muy alta, alta, media, baja y muy baja. Se consideran permeabilidades muy altas aquellas cuyos valores son superiores a 10^{-2} m/s; altas, aquellas cuyos valores están comprendidos entre 10^{-2} m/s y 10^{-4} m/s; permeabilidades medias aquellas cuyos valores están comprendidos entre 10^{-4} y 10^{-6} m/s; permeabilidades bajas, aquellas comprendidas entre 10^{-6} y 10^{-8} m/s; y muy bajas, con valores inferiores de 10^{-8} m/s (materiales prácticamente impermeables).

La asignación a cada intervalo de permeabilidad de una determinada unidad cartografiada, se realizará en función de su composición litológica, grado de fracturación o fisuración, porosidad intergranular y de los valores de parámetros hidrogeológicos obtenidos en base a los ensayos de permeabilidad (lefranc), de cada nivel, llevados a cabo en cada uno de los sondeos de investigación a testigo continuo realizados y la recopilación de datos de ensayos de bombeo realizados durante el estudio o en estudios precedentes.

En los lugares donde quede impreciso el rango de permeabilidad establecido a priori, para establecer con mayor precisión la permeabilidad de la zona no saturada se realizarán ensayos de permeabilidad, en diferentes perfiles de terreno, excavados a tal efecto hasta la profundidad de 4 m, mediante catas con retroexcavadora.

Por último, se elaborará un mapa de vulnerabilidad donde se establece una discretización de zonas de mayor a menor vulnerabilidad, A partir de los conocimientos litológicos, edafológicos, estructurales, hidrogeológicos e hidroquímicos de la zona de estudio y su entorno se elaborará un mapa de vulnerabilidad a escala adecuada.

En el caso de que no exista vulnerabilidad o la vulnerabilidad sea muy baja, no tiene sentido la instalación de dispositivo alguno. En el caso de que exista vulnerabilidad se pasará al siguiente paso.

Una vez declarada la vulnerabilidad a la contaminación del área agrícola que se trate, se determinarán y localizarán, sobre la base de los estudios previos realizados, la presencia de niveles en la zona no saturada que permitan la permeabilidad del drenaje de riegos y lluvias con movilización de sustancias nitrogenadas. En su caso, se identificarán las zonas de mayor potencialidad de permeabilidad o vulnerabilidad a la contaminación con objeto de ubicar posteriormente los sistemas de detección y cuantificación del vertido o lixiviado de sustancias nitrogenadas al medio.

3.2 VULNERABILIDAD MEDIA-ALTA. ESTUDIO “IN SITU” DE PERMEABILIDAD REAL

En el caso de que la vulnerabilidad a la contaminación, después de llevar a cabo los ensayos “in situ” sea media o alta, se informará de la necesidad de la instalación de dispositivos de medida de nitrato en el lixiviado, con determinación periódica (coincidiendo con cada auditoría) y envío a laboratorio en los casos de vulnerabilidad media y determinación en tiempo real, en los casos de alta vulnerabilidad, con instalación de espectrofotómetro ubicado en el dispositivo, para detectar la lixiviación de compuestos nitrogenados a través de la zona no saturada. Una vez analizada la información de dichos dispositivos, se certificará la huella de Nitrato una vez que se lleven a cabo 3 ó 4 auditorías (incluida la inicial) durante el periodo de un ciclo de cultivo, certificando que no se lleva a cabo contaminación del medio saturado, por vertidos o lixiviados de sustancias nitrogenadas contaminantes.

En el dispositivo de medición esporádica, al poder llevar la muestra al laboratorio se puede determinar cualquier compuesto en el lixiviado y por tanto los fitosanitarios. Actualmente “in situ”, en tiempo real, únicamente determinamos nitrato con un error máximo del 1%. La determinación de otros parámetros mediante espectrofotometría en el dispositivo de captación de lixiviado se está terminando de desarrollar dentro de la Càtedra Frutinter.

3.3 INSTALACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN DE NITRATO EN EL LIXIVIADO

Una vez identificadas las zonas de mayor vulnerabilidad a la contaminación se instalarán los **DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN DE NITRATO EN EL LIXIVIADO**, en el número y ubicación anteriormente marcados, ya sea de medición con carácter periódico (en zonas de media vulnerabilidad) **CON ENVÍO DE MUESTRA AL LABORATORIO HOMOLOGADO** o medición en tiempo real (en zonas de alta vulnerabilidad), con espectrofotómetro ubicado en el dispositivo y sistema de adquisición y transmisión de datos de concentración de nitrato (con un error inferior al 0,5%) en tiempo real. Dicho dispositivo está integrado en una plataforma de Microsoft, pudiendo tener acceso con licencia de OFFICE 365. En el software se establecen las consignas para la activación de alarmas, actualmente fijadas en 37,5 mg/l de NO₃⁻, estando el dato en continuo a disposición del cliente, la certificadora y la administración competente.

El dispositivo para la medición de Nitratos en lixiviado se trata de un sistema patentado de captación de lixiviado para su caracterización química bien de forma esporádica, bien en tiempo real, ubicado en la zona no saturada del subsuelo, por debajo de la zona alterada del suelo de labor. Dicho dispositivo tiene tres objetivos fundamentales.

- Detectar que se produce lixiviado drenaje por lavado, por debajo de la zona alterada del suelo de labor que se trate.
- Caracterizar bien esporádicamente, bien en tiempo real la concentración de NO₃⁻ en el lixiviado.
- El método de captación de muestra de agua de lixiviado no debe alterar las condiciones fisicoquímicas del suelo (únicamente se capta el lavado del terreno por gravedad). No deben llevarse a cabo procesos de succión.

Para proceder a la detección y caracterización del lixiviado en tiempo real en la zona no saturada, debido a la circulación vertical del flujo de lixiviado en la zona no saturada, el dispositivo de detección debe situarse de forma inclinada con respecto a la horizontal del terreno. Ver figura nº 4. La inclinación del dispositivo con respecto a la horizontal facilita la captación del flujo vertical depende del grado de permeabilidad del terreno.

Con objeto de captar exclusivamente el agua de lixiviado por debajo de la zona de alteración del suelo, en la parte inferior de detección y caracterización, se procederá al aislamiento del tramo superficial mediante cementación del anular del dispositivo hasta la superficie, con objeto de evitar contaminaciones superficiales.



Figura nº 4. Detalle de instalación del dispositivo de control del lixiviado

La cámara de captación tiene una longitud total de 1 m, de los cuales los 300 mm inferiores corresponden a la cámara de acumulación para la caracterización de la muestra y los 700 mm superiores corresponden al tramo de tubería filtrante de paso de luz de 1 mm (pudiendo ser menor en función de la curva granulométrica, con permeabilidad de 0,7 l/s en toda su extensión, con una velocidad de flujo de infiltración de 3 cm/s.

La cámara de acumulación y muestreo que se encuentra en la parte inferior de la tubería tiene un orificio de desagüe, con objeto de que se produzca la renovación de la muestra en la cámara cada 15 minutos (tiempo necesario para la determinación de la concentración de NO₃ inorgánico). Dicho orificio presenta un mayor o menor diámetro en función de la permeabilidad del terreno en la base del dispositivo.

En el caso de que no sea necesario que el dispositivo tome el registro en tiempo real, la cámara de acumulación será ciega, sin orificio de desagüe, procediéndose a la toma de

muestra mediante extracción del agua de la cámara de acumulación y efectuando la determinación "in situ" o enviando dicha muestra a laboratorio para su determinación.

Toda la cámara de captación entre la pared de perforación y la tubería filtrante está recubierta por grava sílicea homométrica, calibrada de tamaño 2 – 4 mm. Que cubre el "ánulus" de la cámara de captación hasta un mínimo de 160 mm por encima de la tubería filtrante. Ver figura nº 5.



Figura nº 5. Detalle de empaque de tubería filtrante del dispositivo de control del lixiviado

3.4 INSTALACIÓN DE DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN DE NITRATO EN RETORNOS DE RIEGO O TRANSFERENCIA LATERAL HACIA MASAS SUPERFICIALES.

En los puntos donde el nivel freático impida la instalación del dispositivo de medición de nitratos en el lixiviado, por cercanía a la superficie (zonas de retorno de riego, zonas de transferencia lateral hacia masas de agua superficial, entrada o salida de filtros verdes etc.), se instalará una estructura de drenaje llevada a cabo con retroexcavadora y relleno de grava sílicea, homométrica, redondeada de tamaño 2-4 mm.

La longitud de la zanja será mayor cuanto menor sea la permeabilidad del terreno y la profundidad se establecerá en función del nivel freático. El espectrofotómetro de medición en tiempo real patentado se situará en el extremo más próximo a la masa superficial susceptible de contaminación o a la entrada y salida de los filtros verdes para evaluar su eficacia y se ubicará en el interior del alojamiento diseñado a tal efecto, insertado verticalmente en el macizo de grava con el área filtrante estratégicamente colocada en la dirección del flujo.

En zonas de drenaje lateral de retornos de riego hacia masas de agua tipo río, laguna o lago, por presencia de niveles impermeables en niveles superficiales, donde el flujo se aprecie directamente en superficie, los dispositivos de medición de nitrato en tiempo real se podrán disponer en diferentes infraestructuras de canalización diseñadas a tal efecto con medida del contenido de nitrato en lámina libre de agua, no siendo necesaria la instalación de zanjas de drenaje rellenas de material filtrante. Ver figura nº 6.

La ubicación de la estructura de drenaje coincidirá topográficamente con el punto de menor cota del área objeto de caracterización del contenido en nitratos.

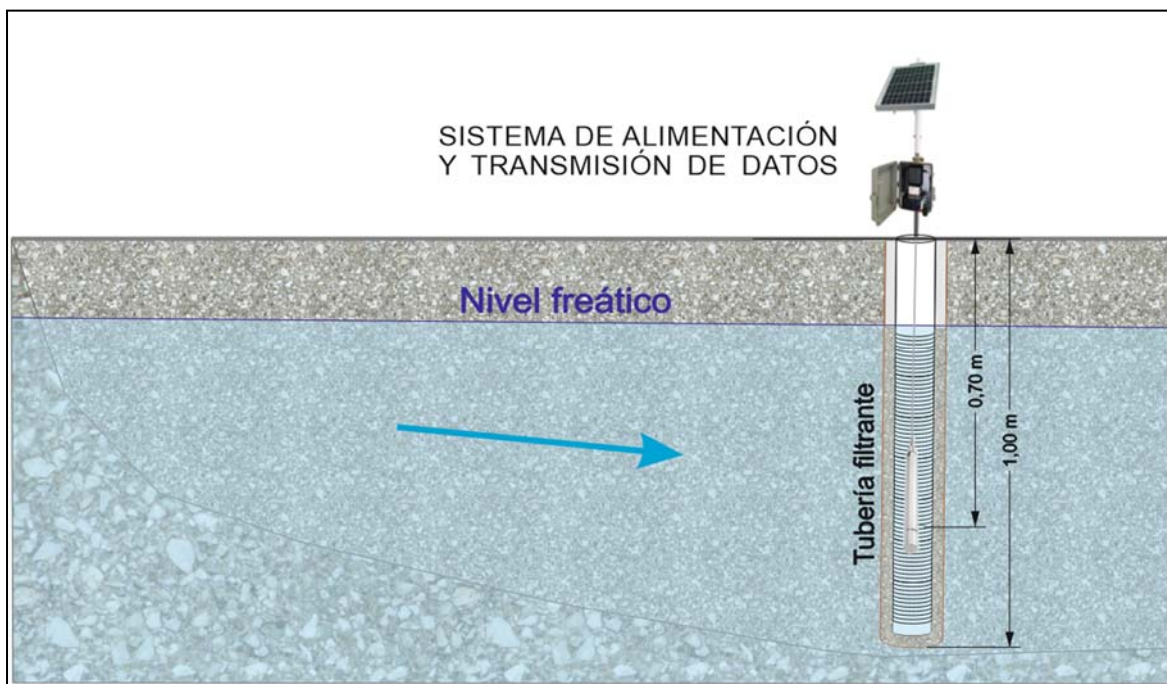


Figura nº 6. Detalle de instalación de dispositivo de control de retornos de riego