

[ABONADO NITROGENADO]

EL PAPEL DEL NITRÓGENO EN AGRICULTURA: I. ZONAS VULNERABLES AL NITRATO

José M. Durán Altisent, Norma Retamal Parra, Rubén Moratíel Yugueros

Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos
Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040-MADRID
josem.duran@upm.es

En zonas vulnerables a la contaminación por nitrato, el programa de abonado pasa por la realización de un balance del nitrato en el suelo, lo que conlleva tener que analizar el contenido de nitrato.

1. Introducción.

El nitrógeno, cuyo símbolo químico es N, fue descubierto como elemento químico independiente en 1772, por el médico, químico y botánico escocés Daniel Rutherford (1749-1819). El N representa aproximadamente el 78 % del aire atmosférico que respiramos, donde se encuentra mayoritariamente en forma molecular (N_2). En la corteza terrestre se encuentra en forma de nitrato sódico ($NaNO_3$, nitrato de Chile), o nitrato potásico (KNO_3 , salitre). En su forma molecular se comporta como un gas sin color (inoloro) olor (inodoro) ni sabor (insípido) y es muy poco reactivo, lo que le convierte en un gas prácticamente inerte. En la Tabla 1 se muestran los principales compuestos minerales presentes en la Naturaleza que contienen N en su composición química; además de los compuestos minerales indicados en la Tabla 1, el N forma parte de las proteínas, de los ácidos nucleicos (ADN y ARN) y de otras muchas moléculas orgánicas que son indispensables para la vida de las plantas.

2. Orientaciones sobre abonado nitrogenado.

De acuerdo con la normativa vigente en materia de abonado nitrogenado, especialmente en las denominadas Zonas Vulnerables al Nitrógeno (Fig. 1), antes de tomar la decisión de aplicar una determinada cantidad de N a un cultivo debemos realizar un balance. Se trata de calcular las necesidades que presenta el cultivo, en función de la producción esperada y restar todas las aportaciones que van a ser realizadas, como consecuencia de: **a**, El cultivo anterior; **b**, la cantidad de estiércol u otras enmiendas orgánicas (purines) aplicadas; **c**, la materia orgánica que se mineraliza; **d**, los restos vegetales que puedan ser incorporados; **e**, el agua de riego y **f**, otras aportaciones. En la Tabla 2 presentamos un esquema del balance que podría utilizarse para este fin.

Para elaborar correctamente un programa de abonado, además de lo anteriormente expuesto acorde con la Normativa vigente, es necesario atender algunas recomendaciones prácticas. A modo de ejemplo, en la Tabla 3 presentamos algunas de ellas para el caso del maíz, el mismo cultivo que hemos utilizado para hacer el balance de N en la Tabla 2.

3. La gestión del nitrógeno en una explotación agraria.

En la *Información Técnica* 147, elaborada por D. Manuel Gil Martínez y publicada en 2004 por el Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón, aparecen enumerados los aspectos relacionados con la gestión y control del N que deben ser considerados en una explotación agraria:

- **Gestión individualizada.** Por explotación y parcelas edafológicas homogéneas.
- **Gestión de secano y regadío independiente.** En regadío se considerará la forma de riego para calcular la dosis y la frecuencia de abonado.
- **Variables de gestión.** Se debe considerar la cantidad y la frecuencia de N aplicado (mineral y orgánico) y su capacidad de liberación.
- **Materia orgánica del suelo.** Es una variable de control periódico imprescindible.
- **Nitrógeno disuelto en el agua de riego.** Puede ser relevante para parcelas de regadío, especialmente en finales de cuenca.
- **Restos de cosecha y cubiertas vegetales.** Regeneran la materia orgánica del suelo y reducen el movimiento incontrolado del N en el suelo.
- **Leguminosas.** Hay que considerar el N que fijan y la aportación que realizan por medio de la materia orgánica que permanece en el suelo.
- **Mineralización.** La mineralización del N orgánico del suelo depende de la materia orgánica aportada y una constante agroambiental.
- **Explotaciones ganaderas.** La cantidad de materia orgánica depende del censo medio de las reses y su estado de desarrollo.
- **Deyecciones ganaderas.** La contaminación por deyecciones ganaderas depende de la localización y del sistema de explotación.
- **Normativa.** La Normativa legal propia de cada Comunidad debe ser conocida y respetada.
- **Buenas prácticas.** Las buenas prácticas agrícolas o ganaderas deben ser aplicadas en todo momento.

4. Cómo cuantificar el contenido en nitrato (NO₃⁻) en la propia explotación.

Desde hace varios años, en el mercado nacional existen equipos compactos que permiten conocer con suficiente precisión y fiabilidad la concentración de nitrato (NO₃⁻) que tenemos en el suelo, en el agua de riego o incluso en el cultivo. En este artículo, el primero de una serie de tres, abordaremos el primero de estos aspectos; es decir, la medida de la concentración de NO₃⁻ en el suelo. Los resultados que mostramos proceden de las mediciones comparativas que, durante varios meses y en diferentes tipos de suelos, hemos realizado en el Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), utilizando para ello un analizador de HANNA Instruments (HI 83214).

4.1. Metodología.

La toma de muestras es fundamental para que la interpretación de resultados sea correcta; de ahí la necesidad de extremar las precauciones a la hora de tomarla.

Toma de muestras. Hay que partir de muestras que sean representativas de la parcela; para ello, conviene recordar que la concentración de nitrato del suelo varía con los horizontes naturales o con las diferentes capas que, como consecuencia del laboreo u otras prácticas culturales se hayan podido establecer. Por lo tanto, suele ser razonable tomar dos muestras: Entre 0 y 20 – 30 cm (Muestra A) y por debajo de 20 - 30 cm (Muestra B).

En el caso de que se trate de parcelas no homogéneas, se recomienda dividir la parcela en tantas subparcelas como zonas diferentes puedan ser identificadas. Para ello, la parcela debe ser recorrida en zig-zag, a lo largo y ancho de toda su superficie, tomando pequeñas fracciones de las Muestras A y B, colocándolas en recipientes separados, hasta conseguir 1 kg de muestra, aproximadamente, para cada una de ellas.

Preparación del extracto de saturación. En un recipiente de 500 mL se añaden 200 g de la muestra de suelo que queremos analizar. Lentamente y amasando con una espátula se va añadiendo agua destilada hasta alcanzar el punto de saturación, que aparece cuando la pasta brilla y fluye ligeramente cuando se inclina el recipiente. Una vez alcanzado el punto de saturación se anotan los mL de agua destilada utilizados en la operación de saturación. La muestra se deja en reposo durante una hora y se verifica el estado de saturación, añadiendo más agua destilada si fuera necesario.

La pasta saturada se transfiere con la misma espátula que ha sido utilizada para su elaboración, a un embudo Buchner, con papel de filtro ligeramente humedecido en su base y se aplica vacío (Fig. 2). El filtrado, que debe salir casi incoloro, se recoge en el recipiente de cristal denominado kitsato y constituye el extracto de saturación. Para evitar la formación de algún precipitado a base de carbonato cálcico, se puede añadir una gota de una disolución de hexametáfosfato sódico ($1 \text{ g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) por cada 25 mL de extracto.

Medida de la concentración de nitrato. Con el fotómetro multiparamétrico HANA Instruments (HI 83214), la medida de la concentración de nitrato (NO_3^-) se puede realizar directamente sobre la muestra si se encuentra entre 0 y $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. En el caso que sea superior, la muestra debe ser diluida con agua destilada y el resultado final debe ser multiplicado por el factor de dilución; por ejemplo, si a 25 mL de extracto le añadimos 75 mL de agua destilada, hasta alcanzar un volumen final de 100 mL de disolución, el factor de dilución es 4.

El fotómetro multiparamétrico HI 83214 (Fig. 3) trabaja con una lámpara de tungsteno y un filtro de interferencia que deja pasar una banda estrecha de la radiación electromagnética (420 nm). Cuando la muestra contiene nitrato, la adición de los reactivos que incorpora el método genera un color amarillo característico cuya intensidad es proporcional a la cantidad de nitrato que contiene la muestra. La resolución de la medida que obtenemos es de $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Al igual que ocurre con otros métodos, la presencia de iones con una concentración superior a la que seguidamente se indica pueden producir interferencias: Bario (Ba^{+2}), $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; cloruro (Cl^-), $1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ y nitrito (NO_2^-), $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

5. Resultados y conclusiones.

La Fig. 4 muestra de forma comparativa los resultados alcanzados al comparar la concentración de nitrato que presentan los extractos de saturación de seis muestras de suelos, caracterizadas por su textura (arenosa, franca y arcillosa), con (+) o sin (-) adición previa de un fertilizante nitrogenado (nitrato potásico). Los resultados obtenidos con el fotómetro multiparamétrico HANNA Instruments HI 83214 han sido comparados con los que se obtienen cuando las mismas muestras son analizadas mediante cromatografía iónica (METROHM, IC 850) a partir de patrones correctamente calibrados. Los resultados obtenidos permiten concluir que:

- Cuando se siguen de forma cuidadosa las instrucciones de preparación de muestras, los resultados que se alcanzan al medir la concentración de nitrato (NO_3^-) en extractos de saturación obtenidos a partir de muestras de suelo, con el espectrofotómetro multiparamétrico HANNA Instruments HI 83214, son comparables con los que se obtienen al analizar las muestras en un laboratorio especializado, mediante cromatografía iónica, a partir de patrones bien calibrados.
- Las diferencias obtenidas se pueden explicar por el hecho de que el método que utiliza el equipo HI 83214 es "*technique sensitive*"; es decir, la forma de agitar el vial que contiene la muestra con los reactivos (número de agitaciones y frecuencia) debe ser realizada siempre de la misma forma y, a ser posible, por el mismo operador. La presencia de cloruro (Cl^-) en el extracto de saturación, con una concentración superior a $1000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, puede causar interferencias, lo que también puede contribuir a explicar una parte de las diferencias que a veces podemos observar.
- Con independencia de las restantes aplicaciones que puede llevar a cabo, de las que daremos cuenta en sucesivos artículos, el espectrofotómetro multiparamétrico HANNA Instruments HI 83214 resulta ser un instrumento muy recomendable para la determinación de nitrato (NO_3^-) en parcelas de cultivo, especialmente dentro de las denominadas zonas vulnerables al nitrógeno, facilitando de este modo la realización del balance de N en la propia explotación.

TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Principales compuestos minerales, presentes en la Naturaleza, que contienen nitrógeno (N) en su composición química.

COMPUESTO	FÓRMULA	ESTADO (760 mm Hg y 20 °C)	RIQUEZA (N, %)
Nitrógeno	N ₂	Gas	100
Nitrato sódico	NaNO ₃	Sólido cristalino	16.5
Nitrato potásico	KNO ₃	Sólido cristalino	13.9
Amoníaco	NH ₃	Gas	82.4
Amonio (ión)	NH ₄ ⁺	Combinado ó disuelto	77.8
Óxido nitroso	N ₂ O	Gas	63.6
Dióxido de nitrógeno	NO ₂	Gas	30.4
Nitrato (ión)	NO ₃ ⁻	Combinado ó disuelto	22.6
Nitrito (ión)	NO ₂ ⁻	Combinado ó disuelto	30.4

Tabla 2. Esquema para calcular el balance de nitrógeno en una explotación de regadío situada en una Zona Vulnerable al Nitrógeno y programa de abonado nitrogenado para un cultivo de maíz grano.

VARIABLE		CÁLCULOS	RESULTADO (kg N·ha ⁻¹)
A	Cultivo: Maíz	Rendimiento grano (14 %): 12 t·ha ⁻¹	360
		Extracciones (N): 30 kg·t ⁻¹	
B	Residuos de cultivos anteriores	Cultivo anterior: Alfalfa	100 ⁽¹⁾
		Restos de raíces: 6 – 8,000 kg·ha ⁻¹	
		Nitrógeno aportado: ≤ 200 kg·ha ⁻¹	
C	Análisis de suelo: N (NO ₃ ⁻)	Profundidad (0 - 30 cm): 20 ppm	117
		Profundidad (30 - 60 cm): 10 ppm	
		Textura: Franca	
		Densidad: 1.3 t·m ⁻³	
D	Materia orgánica: Mineralización	Análisis de suelo: 2 %	59
		Textura: Franca	
		Profundidad: 30 cm	
		Densidad: 1.3 t·ha ⁻¹	
		Nitrógeno orgánico: 5 %	
Mineralización anual: 1 – 2 %			
E	Agua de riego	Riegos: 10	30
		Dotación: 600 m ³ ·ha ⁻¹ ·riego ⁻¹	
		Nitrato: 5 mg·L ⁻¹	
F	Otras aportaciones: Agua de pozo	Riegos: 2	45
		Dotación: 500 m ³ ·ha ⁻¹ ·riego ⁻¹	
		Nitrato: 45 mg·L ⁻¹	
Necesidades del cultivo		A	360
Aportaciones		C + D + E + F	251
Aporte con fertilizantes		A – (C + D + E + F)	109
Programa de abonado		Cobertera 1: 120 kg·ha ⁻¹ urea (46 % N)	110
		Cobertera 2: 120 kg·ha ⁻¹ urea (46 % N)	

⁽¹⁾ No computa, ya que hemos analizado el contenido de N, en forma de nitrato, presente en el suelo, resultando ser 117 kg·ha⁻¹, que es la cantidad que se tomará a efectos del balance.

Tabla 3. Algunas consideraciones prácticas que deben ser contempladas a la hora de establecer el programa de abonado nitrogenado para un cultivo de maíz.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Factores limitantes	Bajo número de plantas en el momento de la recolección.
	Con 5-6 hojas no debe pasar "sed". Se forman los granos de la mazorca.
	Cuatro días con "sed" durante la floración pueden reducir la cosecha en un 50 %.
Extracciones	25 – 30 kg de N por tonelada de grano seco (Humedad: 14 %).
	El suelo y el agua de riego contienen N que debe ser contemplado en el balance.
Asimilación	Un mes antes de la floración: 20 %.
	Entre 3 semanas antes y 2 semanas después de la floración: 50 %.
	Hasta la madurez del grano: 30 %.
Aportaciones	Realizar un balance previo.
	Suelos arcillosos: 1/3 en sembrera y 2/3 en dos coberteras.
	Suelos francos o arenosos: 1/3 en sembrera y 2/3 en tres o más coberteras.
	Primera cobertera: Plantas con 40 - 50 cm. Segunda cobertera: Plantas con 90 – 100 cm.
Purines	Antes de la siembra con las labores preparatorias.
	En zonas vulnerables al nitrógeno respetar los límites autorizados.

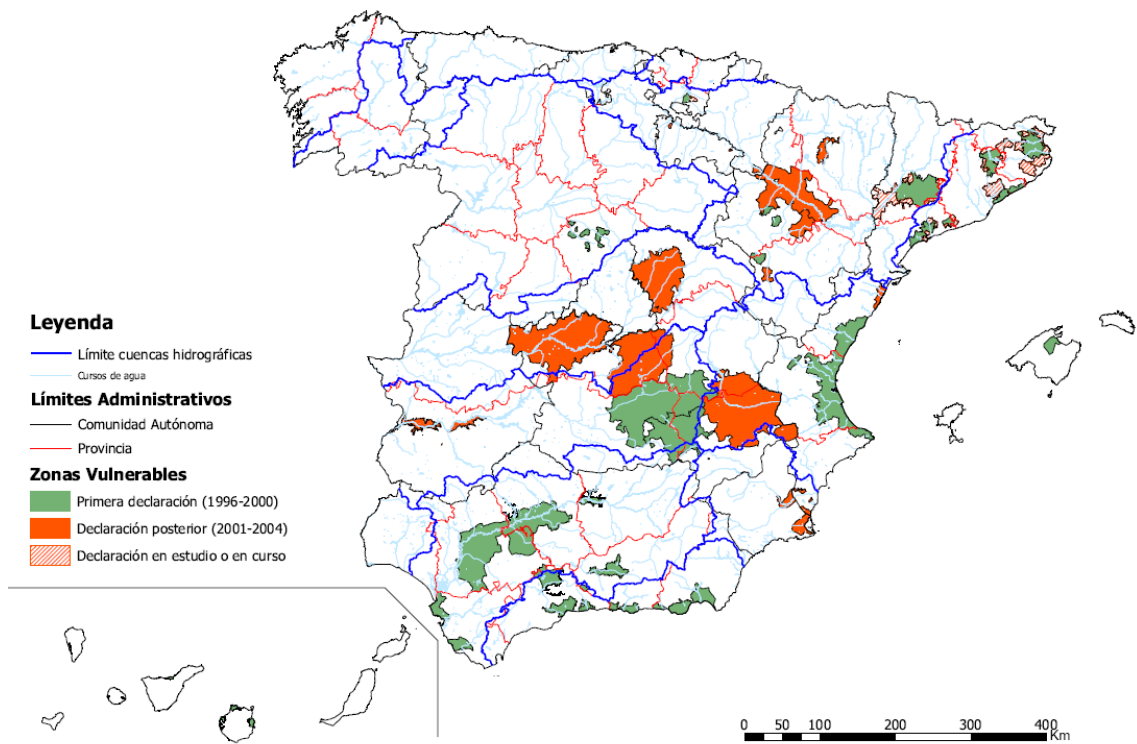


Fig. 1. Zonas vulnerables a la contaminación por nitrato como consecuencia de la actividad agrícola y ganadera en España. Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2004).

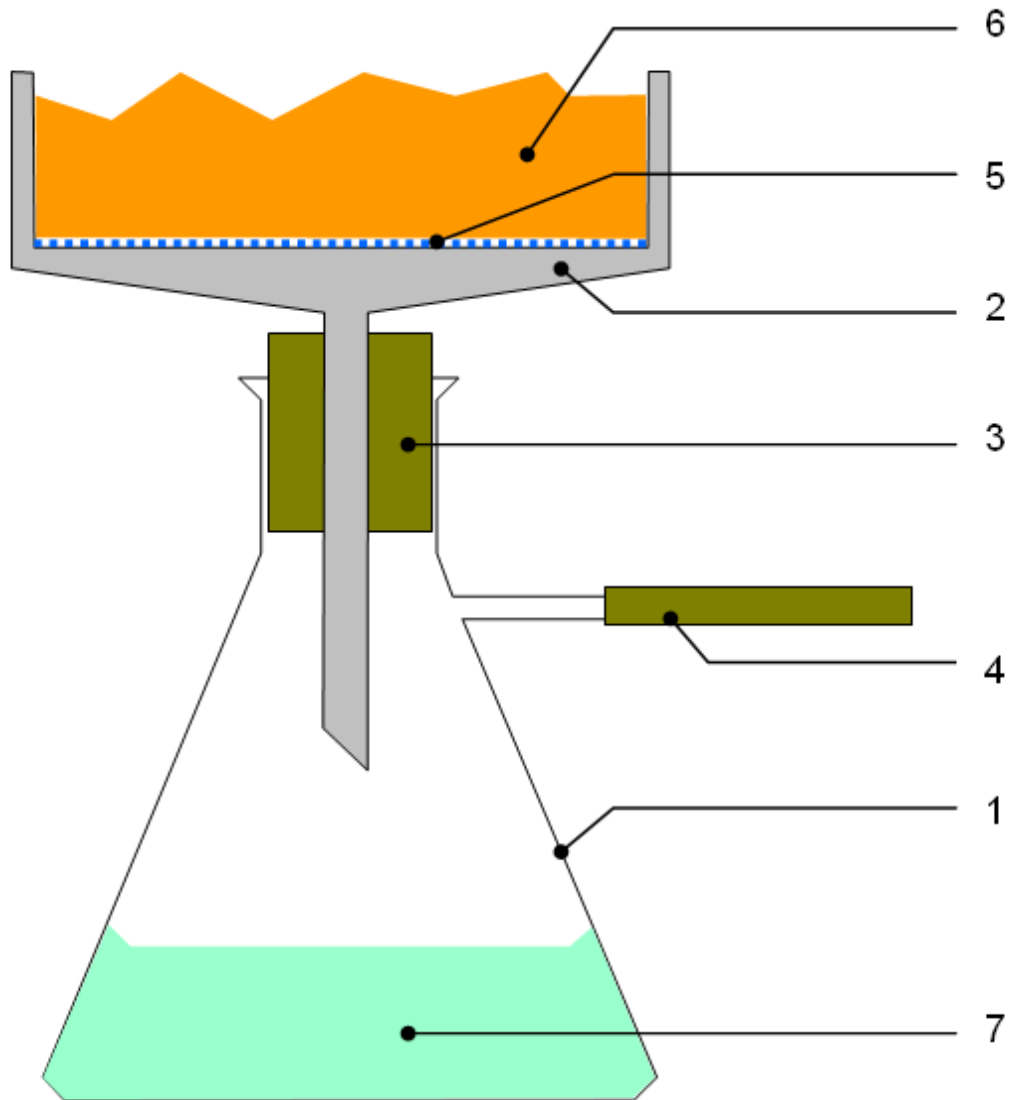
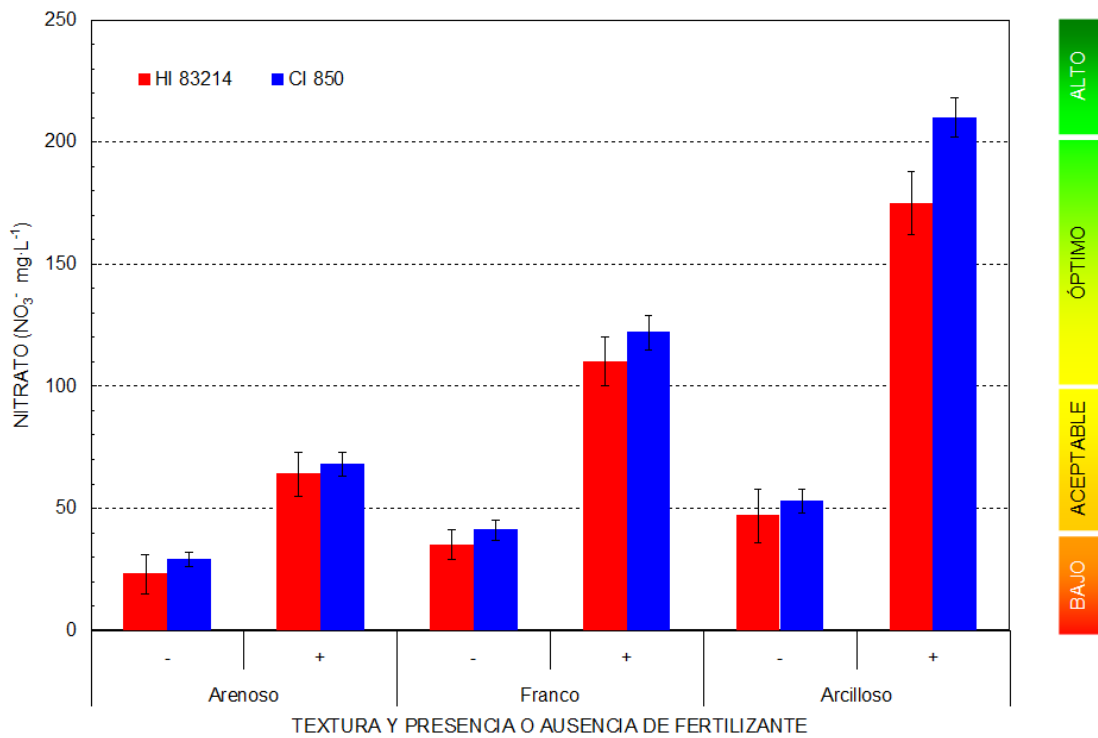


Fig. 2. Dispositivo utilizado para obtener el extracto de saturación del suelo: 1, Erlenmeyer de 250 mL; 2, embudo Buchner; 3, tapón de goma perforado; 4, tubo de goma para vacío; 5, papel de filtro; 6, pasta de suelo saturada con agua destilada y 7, extracto de saturación.



Fig. 3. Fotómetro multiparamétrico HANNA Instruments (HI 83214) utilizado para la determinación de nitrato (NO_3^-) en los extractos de saturación obtenidos a partir de muestras de suelo. Análisis comparativos realizados en el Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).



toma de la muestra, según diferentes técnicas analíticas. HI 83214, Fotómetro multiparamétrico HANNA Instruments y CI 850, cromatografía iónica. Las barras verticales indican el intervalo de confianza para un nivel de significación del 5 %.