

## Gestión del nitrógeno en la explotación agraria

La contaminación de las aguas superficiales y subterráneas es un aspecto de la contaminación agraria difusa. Uno de los elementos contaminantes del agua es el nitrógeno en sus diferentes formas: orgánico e inorgánico. La importancia y complejidad de la contaminación de las aguas con nitrógeno se debe a que es el resultado de la concurrencia de estos aspectos:

- El nitrógeno es contaminante del agua cuando se presenta en exceso en sus diferentes formas, materia orgánica en suspensión o disuelto, para los posibles usos de ésta: consumo, riego o industria. Una forma particularmente nociva para la salud es el exceso de nitratos en el agua de consumo.
- El nitrógeno se moviliza en forma de sales solubles difícilmente precipitables. La descontaminación natural de éstas se hace, fundamentalmente, mediante su asimilación biológica, lo que ocurre a largo plazo y en cantidades limitadas. Por otra parte, el nitrógeno disuelto, junto con otros nutrientes, favorece el desarrollo biológico en el agua (eutrofización) y aumenta la contaminación por materia orgánica.
- El nitrógeno es un factor de producción agrícola muy relacionado con las variaciones de productividad técnica y económica cuando no hay otros factores limitantes, en particular el agua. Agua y nitrógeno actúan juntos en la nutrición vegetal y en la técnica de fertilización. Muchas de las nuevas variedades de cultivos extensivos (cereales y otros) están seleccionadas o diseñadas para aprovechar esta productividad del nitrógeno.
- La ganadería intensiva, dominante en la producción agraria, produce abundantes residuos localizados en territorio reducido. Estos fiemos y purines, que se aprovechan como fertilizantes, se pueden convertir en contaminantes por nitrógeno y materia orgánica si no se emplean adecuadamente.
- La contaminación es un problema social. No siempre es posible calcular los costes sociales producidos por daños ambientales e imputarlos a quienes provocan la contaminación.

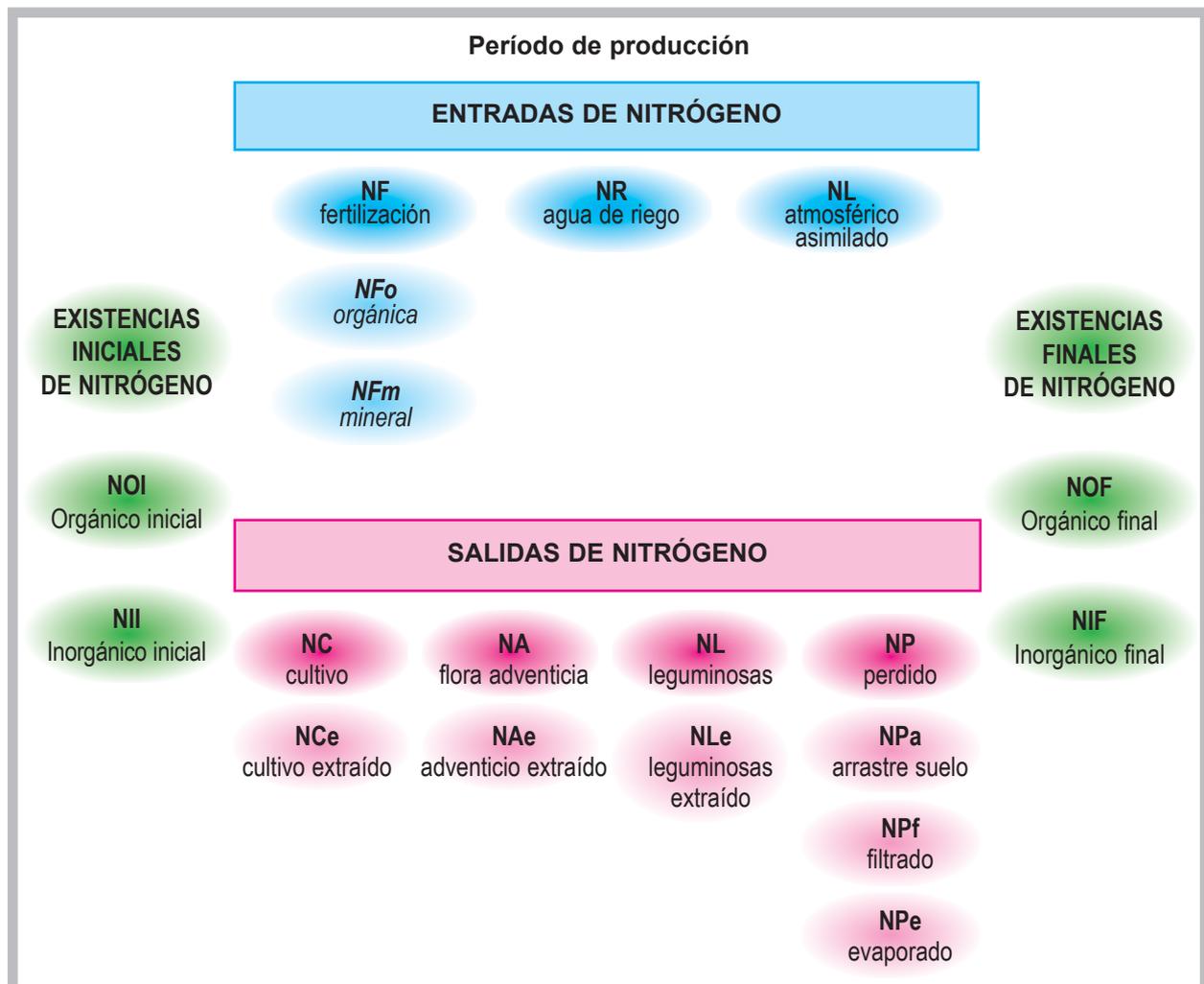


La gestión del nitrógeno en la explotación agraria se refiere a decisiones sobre fertilización mineral y orgánica y al empleo de fiemos y purines procedentes de explotaciones ganaderas. La fertilización nitrogenada es un problema complejo en el que intervienen aspectos técnicos, económicos y ambientales. Se plantea así: ¿qué dosis de nitrógeno es la más productiva en los cultivos y cómo se aplica? La respuesta es siempre aproximada y debe considerar muchas variables. Esta publicación pretende resumir los aspectos que, en las circunstancias actuales en las que el sector agrario asume responsabilidades ambientales, intervienen en la gestión del nitrógeno.

La fertilización en general, y en este caso la del nitrógeno, se plantea como un problema de gestión de entradas de elementos fertilizantes procedentes de aportes o del fondo existente en el suelo, y de salidas por extracción del cultivo en su ciclo vegetativo y otras, en una parcela determinada. El ciclo del nitrógeno en las parcelas es un aspecto del ciclo del nitrógeno en la naturaleza. Depende de la técnica de fertilización y de otros aspectos agronómicos y ambientales. Si se relacionan las variables de flujo y fondo que intervienen en el ciclo del nitrógeno en las parcelas cultivadas (**Cuadros 1 y 2**), se observa la cantidad de variables que intervienen y la complejidad del proceso. El cuadro nº 1 es un esquema de las variables que identifican las existencias iniciales y finales de nitrógeno en un período de tiempo, que normalmente es el ciclo de cultivo, y las variables que son aportes (entradas) y extracciones (salidas).

Si esas variables se codifican con símbolos, se pueden plantear diferentes situaciones del ciclo del nitrógeno en la parcela y resolverlas con ecuaciones. Estas ecuaciones nos ayudan a calcular los diferentes aspectos de la gestión del nitrógeno. No siempre es posible tener información suficiente de algunas de esas variables y otras son relevantes sólo en circunstancias muy concretas. Siempre es necesario acopiar datos del efecto de las aportaciones (flujos) de nitrógeno sobre los rendimientos de los cultivos y de los fondos (existencias) de materia orgánica en las parcelas para ajustar la fertilización.

**Cuadro 1. Flujos y fondos de nitrógeno en parcela de regadío.**



### Identificación de las variables relacionadas con el ciclo del nitrógeno:

- NO** = Nitrógeno orgánico (en materia orgánica del suelo).  
**NI\*** = Nitrógeno inorgánico (mineral; formas solubles: nitratos, nitritos, urea, amoniacal).  
**NF** = Nitrógeno aportado por la fertilización.  
**NFo** = Nitrógeno de la fertilización orgánica (fiemo, purines, compost, etc.).  
**NFm** = Nitrógeno de la fertilización mineral (inorgánico; abonos de síntesis).  
**NR** = Nitrógeno disuelto aportado por el agua de riego.  
**NL** = Nitrógeno atmosférico (sintetizado por leguminosas, etc.).  
**NLe** = Nitrógeno de leguminosas extraído (cultivadas o adventicias).  
**NC** = Nitrógeno asimilado por cultivos (parte se extrae y parte se recupera en residuos).  
**NCe** = Nitrógeno extraído por los cultivos (en productos, pastoreo, desbroces, quemas).  
**NA** = Nitrógeno asimilado por la flora adventicia (parte se extrae y parte se recupera en residuos).  
**NAe** = Nitrógeno extraído por la flora adventicia (desbroces, pastoreo, quema).  
**NP** = Nitrógeno perdido por arrastre, filtración o evaporación.  
**NPa** = Nitrógeno perdido por arrastre (materia orgánica en suspensión, erosión, etc. Depende del clima y de la parcela).  
**NPf** = Nitrógeno perdido por filtración (nitrógeno soluble; depende de: la mineralización del nitrógeno orgánico, los aportes de fertilizantes, la lluvia y el riego).  
**NPe** = Nitrógeno perdido por evaporación (de la forma amoniacal de los fertilizantes mineral y orgánico).  
**NOm\*\*** = Nitrógeno orgánico mineralizado. Depende de la cantidad existente, temperatura, humedad, textura, pH (acidez o basicidad) del suelo, etc. Se activa con las labores.

(\*) El nitrógeno inorgánico del suelo pasa a otras formas y no se determina habitualmente en los análisis del suelo.

(\*\*) El nitrógeno orgánico mineralizado se puede resumir como una función dependiente de las existencias medias de materia orgánica por una constante de la parcela ( $NOm = k * NO$  medio existente en el suelo).

### Cuadro 2. Gestión del nitrógeno.

#### Variación del nitrógeno en el período de producción

$$(NOF + NIF - NOI - NII) = (NFo + NFm + NR + NL - NCe - NAe - NLe - NPa - NPf - NPe)$$

El nitrógeno inorgánico es soluble y pasa a otras formas. Despreciando las pérdidas por evaporación, la ecuación anterior se resume:

$$(NOF - NOI) = (NFo + NFm + NR + NL - NCe - NLe - NAe - NPa - NPf)$$

#### Variación de nitrógeno orgánico en secano.

$$(NOI - NOF) = (NFo + NFm + NL - NCe - NAe - NLe - NPa - NPf)$$

#### Mineralización del nitrógeno orgánico:

$$(NOI - NOF) = (NOm - NFo - NLr - NCr - NAr) \quad NOm = NOI - NOF + NFo + NLr + NCr + NAr$$

**NFo** = nitrógeno de fertilización orgánica.

**NLr** = nitrógeno de leguminosas recuperado (leguminosas cultivadas o adventicias).

**NCr** = nitrógeno de cultivo recuperado (rastros y residuos).

**NAr** = nitrógeno adventicio recuperado (rastros y residuos).

#### Mineralización del nitrógeno orgánico en secano (sin leguminosas)

$$(NOI - NOF) = (NOm - NFo - NCr - NAr) \quad NOm = NOI - NOF + NFo + NCr + NAr$$

#### Variables significativas para gestión del nitrógeno en los cultivos.

**Variables significativas de control periódico** = Nitrógeno orgánico y nitrógeno en agua de riego.

**Variables técnicas para fertilización** = **NCe** = Nitrógeno extraído por cultivo y

**NOm** = Nitrógeno orgánico mineralizado. (Ambas se obtienen por experimentación).

**Otras variables significativas e inciertas** = Nitrógeno perdido por arrastres y filtración.

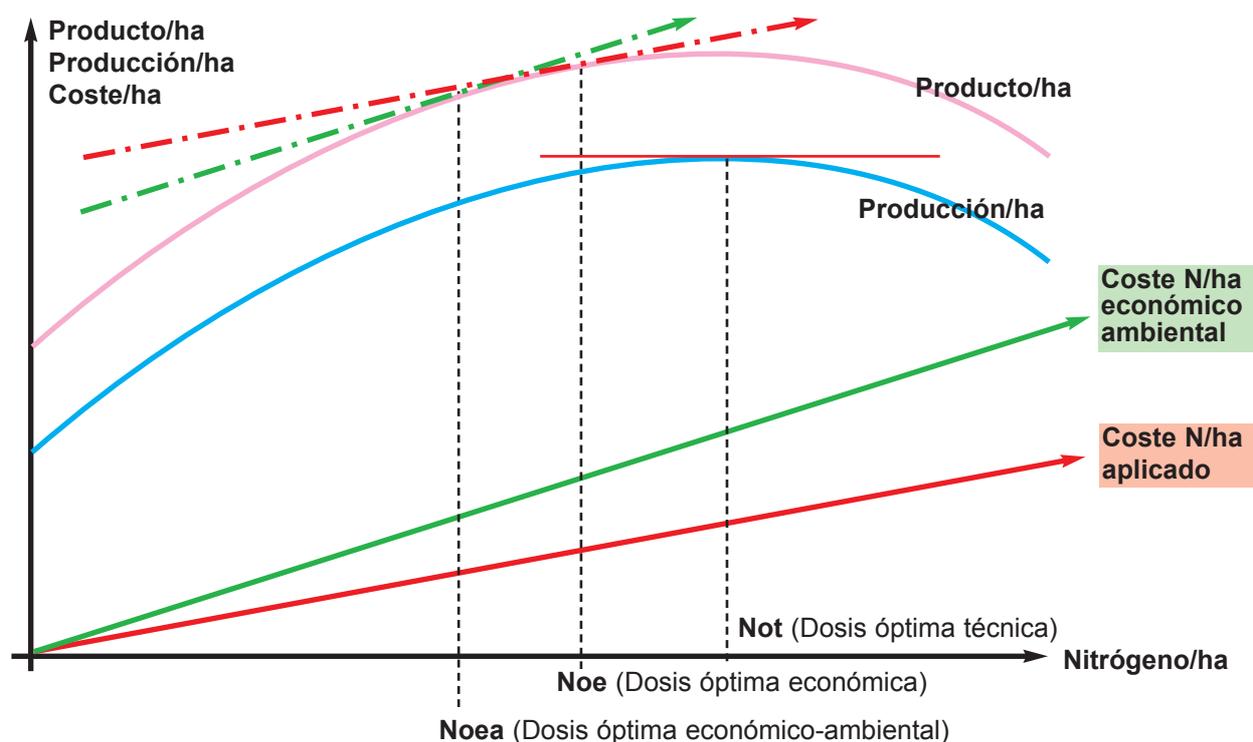
**Nitrógeno contaminante en el agua** = **NPa** + **NPf** = Nitrógeno perdido por arrastre de suelo y por filtración.

**Nitrógeno perdido** = **NPa** + **NPf** = **NFo** + **NFm** + **NR** + **NL** - **NAe** - **NCe** - **NLe** + **NOI** - **NOF**

**Nitrógeno perdido en secano sin leguminosas**: **NPa** + **NPf** = **NFo** + **NFm** - **NAe** - **NCe** + **NOI** - **NOF**

La fertilización nitrogenada debe adecuarse a cada parcela y cultivo, pero no se trata sólo de un problema técnico para ajustar las necesidades de los cultivos y los aportes fertilizantes. Suponiendo que existieran datos experimentales que permitieran conocer las dosis técnicas óptimas, éstas no coinciden con las dosis óptimas económicas, ni éstas con las ambientales. Las recomendaciones técnicas (agronómicas) sobre fertilización se basan en trabajos experimentales y son válidos para cultivos y comarcas concretos. Observando la variación de la producción, medida en unidades técnicas (kg/ha, etc.), cuando varía la cantidad de fertilizante aplicada se llega a determinar una dosis técnica óptima cuando la curva de producción deja de crecer. Comparando la variación de producto y coste de fertilización (euros/ha) se determina un óptimo económico en la tangente de la curva del producto y la recta de coste. Si se pudieran calcular y añadir a los costes<sup>(1)</sup> de fertilización los costes sociales ambientales que ésta produce se determinaría un óptimo económico-ambiental de la fertilización. En el **Gráfico 1** se observa que las dosis óptimas ambientales serían inferiores a las óptimas técnicas y económicas.

**Gráfico 1. Análisis de las dosis óptimas, técnico económica y económico-ambiental.**



Hacen falta observaciones para aproximarnos a los óptimos económico-ambientales de la fertilización en diferentes comarcas agroclimáticas. En una investigación sobre la contaminación por nitratos en el regadío Flumen-Monegros, mediante simulación de rendimientos de cultivos y optimización del margen económico agrícola, se concluye que, con la técnica actual, las productividades técnica y económica de los cultivos más frecuentes: maíz, trigo, cebada, alfalfa, girasol y arroz están cerca del óptimo y, por esto, si se redujera la fertilización nitrogenada la disminución del margen neto agrario de la comarca sería relativamente pequeña pero alta la reducción de la contaminación<sup>(2)</sup>.

Para analizar los efectos ambientales de la contaminación y diseñar políticas adecuadas se recurre a valorar e introducir los costes ambientales en la función de producción y estimar el efecto de un sistema de incentivos y penalizaciones sobre el empleo de factores de producción contaminantes. En el caso del nitrógeno disuelto en el agua no es fácil identificar el origen de la contaminación. En las cuencas hidrográficas pequeñas y cerradas se puede conocer la relación entre fertilización nitrogenada y contaminación producida por las explotaciones de la cuenca, pero en las cuencas abiertas esto no es posible.

(1) *Los cultivos producen también beneficios sociales ambientales.*

(2) *El control de la contaminación por nitratos en regadío. Y. Martínez, S. Uku y J. Albiac. "Economía Agraria y Recursos Naturales", Vol. 2, Nº 2, Año 2002.*

La minoración del problema sólo puede hacerse si las explotaciones agrícolas y ganaderas conocen el problema y además actúan ajustando la fertilización y gestionando correctamente los residuos ganaderos. Como no es posible la imputación de los costes sociales a los agentes que provocan la contaminación se impone la emisión de normas recomendables u obligatorias para la gestión del nitrógeno agrario (*Anejo I*). Pero la emisión de normas exige diseñar y aplicar un sistema de control de la contaminación. El control administrativo de la gestión individualizada del nitrógeno en las explotaciones agrarias es costoso.

Los aspectos de gestión y control del nitrógeno que debe considerar la explotación agraria se pueden resumir así:

- La gestión debe ser individualizada para cada explotación y, en las agrícolas, llegar al control de parcelas homogéneas edafológicamente.
- Hay que separar la gestión de las parcelas de secano y de regadío; en éstas, considerar la forma de riego para calcular dosis y frecuencia de fertilización.
- Las variables de gestión decisivas son la cantidad y frecuencia del nitrógeno aplicado en sus diferentes formas (mineral y orgánico), con diferente capacidad de liberación del nitrógeno.
- La materia orgánica del suelo es una variable de control periódico imprescindible. El nitrógeno disuelto en agua de riego también puede ser relevante para calcular aportes en los regadíos medios o de fin de cuenca.
- Los restos de cosechas y la cubierta vegetal son amortiguadores del movimiento indeseado de nitrógeno y regeneran la materia orgánica del suelo.
- Si en la rotación de cultivos intervienen leguminosas hay que considerar el nitrógeno que aportan en la materia orgánica que dejan en el suelo.
- La mineralización del nitrógeno orgánico es dependiente de las aportaciones de materia orgánica y de una constante agroambiental.
- En las explotaciones ganaderas la variable decisiva de producción de materia orgánica es el censo medio de animales.
- La contaminación por deyecciones ganaderas depende de la intensidad, localización, sistema de explotación y de la forma de emplearlas para fertilización agrícola.
- Siempre será necesario tener la referencia de normas técnicas sobre empleo del nitrógeno y aplicar buenas prácticas agrícolas.

No puede haber gestión y control sin un sistema contable, manual o informático, que no tiene por qué ser complicado. A efectos de contabilidad y control del nitrógeno en la explotación es necesario conocer:

- Las existencias iniciales y finales de elementos fertilizantes minerales y orgánicos en la explotación y su riqueza en unidades fertilizantes.
- Las entradas y salidas de fertilizantes minerales y orgánicos comprados y reemplazados, detallando la riqueza en unidades fertilizantes y su empleo en cultivos.
- La cantidad de materia orgánica del suelo mediante análisis periódicos, y en algunos regadíos el nitrógeno disuelto en el agua de riego.
- El censo medio de ganado existente en las explotaciones. Con el dato anterior se puede calcular la producción de fiemo y purín aplicando índices medios de producción para cada especie y sistema de producción. (Véase el cuadro del libro-registro de estiércoles del Departamento de Agricultura y Alimentación).

Un esquema del empleo y control de nitrógeno se tiene en el *Cuadro nº 3*. Las aplicaciones informáticas de contabilidad y gestión agraria, que no se limiten a la contabilidad general, deben considerar esa utilidad para el control interno de la explotación.

**Cuadro 3. Control del nitrógeno en la explotación.**



Para medir la eficacia y productividad del nitrógeno y establecer objetivos de gestión es necesario disponer de indicadores o índices económico-ambientales. Por ejemplo:

- Unidades fertilizantes empleadas por hectárea cultivada.
- Unidades fertilizantes empleadas por cantidad de producto.
- Coste de la unidad fertilizante empleada.
- Unidades fertilizantes extraídas por los cultivos.
- Coeficientes de mineralización en parcelas.

## **ANEJO 1. Resumen de normas ambientales de la Comunidad Autónoma de Aragón sobre gestión del nitrógeno.**

**Decreto 77/1997 del Gobierno de Aragón** (BOA nº 66 de 11 de junio de 1997), por el que se aprueba el Código de buenas prácticas agrarias de la Comunidad Autónoma de Aragón y se designan determinadas Zonas Vulnerables a la contaminación de las aguas por los nitratos procedentes de fuentes agrarias: "Jalón-Huerva" y "Gallicantá"

El decreto contiene, referente al Código de buenas prácticas agrarias:

- 1.- Definiciones.
- 2.- Tipos de fertilizantes nitrogenados.
- 3.- Ciclo del nitrógeno en los suelos agrícolas.
- 4.- Recomendaciones generales sobre la aplicación de fertilizantes a los suelos. (Dosis recomendables y forma de aplicación en cultivos).
- 5.- Aplicación de fertilizantes a terrenos inclinados y escarpados.
- 6.- Aplicación de fertilizantes a terrenos hidromorfos o inundados.
- 7.- Condiciones de aplicación de fertilizantes en tierras cercanas a cursos de agua.
- 8.- Capacidad y diseño de los depósitos de almacenamiento de estiércol y medidas para evitar la contaminación del agua por escorrentía y filtración de aguas superficiales o subterráneas de líquidos que contengan estiércoles y residuos procedentes de ensilados.
- 9.- Aplicación de fertilizantes químicos y estiércoles a las tierras para controlar la llegada de nutrientes a las aguas.
- 10.- Gestión del uso de la tierra con referencia a los sistemas de rotación de cultivos y la proporción de la superficie de tierras dedicadas a cultivos permanentes en relación con cultivos anuales.
- 11.- Establecimiento de planes de fertilización acordes con la situación particular de cada explotación y la consignación en registro del uso de fertilizantes.

12.-Prevención de la contaminación de las aguas debido a la escorrentía y a la lixiviación (lavado) en los sistemas de riego.

- **Cuadro nº 1 de la norma.** Deyecciones y composición (N; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; K<sub>2</sub>O) de especies ganaderas. (vacuno, equino, porcino, ovino, aves)
- **Cuadro nº 2 de la norma.** Carga ganadera máxima por hectárea.
- **Zonas vulnerables:** Subpolígonos: Jalón-Huerta y Gallocanta.

**Orden de 28 de diciembre de 2000** (B.O.A. nº 1, de 3 de enero de 2001)

**Orden de 9 de mayo de 2003** (B.O.A. nº 62, de 23 de mayo), por la que se modifica la anterior, añadiendo nuevas precisiones

**Orden del Gobierno de Aragón, de 19 de julio de 2004** (B.O.A. nº 91 de 4 de agosto de 2004) del Departamento de Agricultura y Alimentación, por la que se designan nuevas zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias en la Comunidad Autónoma de Aragón y se aprueba el Programa de Actuación sobre las mismas.

La Orden contiene:

**Designación de nuevas zonas vulnerables.**

- Ebro-III, bajo Arba, bajo Gállego y bajo Jalón.
- Singra-Alto Jiloca.
- Zona oeste y centro del acuífero de Apiés (Hoya de Huesca).
- Acuífero de Muel-Belchite.

**Aprobación del programa de actuación para reducir la contaminación por nitratos de origen agrario en las zonas vulnerables.**

**Principios básicos.** Están contenidos en los epígrafes del anexo 1 de la Orden:

1-1, 2, 3, 4. Aportación de fertilizantes.

1-5. Todas explotaciones agrícolas establecerán planes generales de abonado para cada parcela y llevarán un libro-registro de aplicación de fertilizantes. Las instalaciones ganaderas dispondrán también de un libro-registro de entradas y salidas de estiércoles.

**Medidas de aplicación general.**

2-1. Cantidades máximas de fertilizantes nitrogenados.

2-2. Medidas de seguimiento y control.

2-3. Medidas de divulgación.

2-4. Capacidad de almacenamiento de estiércol.

**Normas de carácter agronómico.**

- **Cuadro nº 1 de la norma.** Épocas en que no se pueden aplicar fertilizantes que aporten nitrógeno al suelo.
- **Cuadro nº 2 de la norma.** Cantidades máximas de nitrógeno por hectárea que se pueden aportar. (Según cultivos y forma de aplicación).
- **Cuadro nº 3 de la norma.** Cantidades máximas de nitrógeno por hectárea que se pueden aportar en frutales.

**De lo anterior se deduce que los elementos de control que exige la orden son:**

<b>Contaminante:</b>			
Nitrógeno. (Unidad de medida, kg)			
<b>Portadores de contaminante:</b> (Factores de producción, materias primas)			
- Fertilizantes	Clases	Grupos	Fertilizante
	- Orgánico residual de mineralización lenta	I	Ejemplo: Fieemo de ovino.
	- Orgánico residual de mineralización rápida	II	Ejemplo: Lodo depuradora.
	- Otros fertilizantes	III	Ejemplo: Sulfato amónico.
- Agua de riego.			

