



Fertilización con subproductos orgánicos (Hacia una gestión sostenible de los nutrientes en la agricultura)



UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo Agrícola
de Desarrollo Rural. FEADER



**GOBIERNO
DE ARAGON**

Departamento de Agricultura,
Ganadería y Medio Ambiente

INDICE

RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	5
PARTE I: LAS BASES DE LA FERTILIZACION AGRÍCOLA	
I.1. ¿De que están hechas las plantas?	7
I.2. Conocer el suelo	8
I.3. El origen del suelo	8
I.3.1. La diferenciación de horizontes	9
I.4. Componentes del suelo	9
I.5. Propiedades del suelo. La fertilidad	10
I.5.1 Propiedades generales del conjunto del suelo	10
I.5.2 Propiedades relacionadas con los componentes minerales	11
Tamaño de las partículas minerales	11
Textura	11
Pedregosidad. Elementos gruesos	13
Agrupación de partículas. Estructura	13
Composición de los minerales del suelo	13
Minerales silicatados	13
Minerales no silicatados	14
Carbonatos	14
Caliza activa	15
Sulfatos	15
Sales solubles	15
I.6. La solución del suelo	15
I.6.1. Capacidad de intercambio de iones	15
I.6.2. Capacidad de intercambio catiónico: C.I.C.	16
I.6.3. Iones presentes. Concentración de nutrientes	16
I.6.4. Nitrógeno asimilables: Nitratos.	17
I.6.5. Fósforo asimilable	18
I.6.6. Potasio asimilable	19
I.6.7. Magnesio asimilable	20
I.6.8. Microelementos	20
I.7. Propiedades relacionadas con los componentes orgánicos del suelo	21
I.7.1. Materia Orgánica	21
I.7.2. Equilibrio entre carbono y nitrógeno en la materia orgánica: Relación C/N	22
I.7.3. Ciclo de la materia orgánica	23
I.8. Agua o solución del suelo	24
I.8.1. Capacidad de retención de humedad	24
I.8.2. Reacción del suelo: pH	24
I.8.3. Prueba previa de salinidad (C.E. (1:5))	25
I.8.4. Salinidad	25
I.8.5. Conductividad eléctrica del extracto saturado (C.E.e)	25
I.8.6. Humedad de saturación	25
I.8.7. Carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio y sodio	27
I.9. Muestreo de suelo	27
I.9.1. Información de la muestra	28
I.9.2. Momento y periodicidad del muestreo del suelo	28
I.9.3. Resumen de propiedades del suelo que deben reconocerse y periodicidad	28
I.10. Otras herramientas analíticas de interés	30
I.10.1. Precios de las analíticas	30
I.11. Los fertilizantes	31
I.11.1. Diseño de un plan de fertilización	32
I.12. Varios ejemplos de análisis de suelos (secanos y regadíos) de Aragón	34

PARTE II: LA FERTILIZACIÓN CON ORGÁNICOS y una propuesta generalizada de FERTILIZACIÓN CON CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD

II.1. Importancia de los subproductos orgánicos susceptibles de ser utilizados como fertilizantes en Aragón	39
II.2. Los nutrientes principales o macronutrientes	40
II.2.1. Nitrógeno	41
II.2.2. Fósforo	41
II.2.3. Potasio	41
II.3. Aportes indirectos de nutrientes, que deben considerarse al razonar la fertilización	41
II.3.1. Los restos del cultivo anterior	41
II.3.2. Cuando el cultivo anterior es una leguminosa	41
II.3.3. La mineralización de la materia orgánica del suelo	42
II.3.4. Posibles aportes de N por el agua de riego	42
II.4. Conocer los subproductos orgánicos fertilizantes que vamos a utilizar	43
II.4.1. Definiciones principales sobre fertilizantes	43
II.4.2. Mas detalles sobre los fertilizantes orgánicos en relación a los Subproductos animales no destinados al consumo humano (SANDACH) / Real Decreto 1429/2003 de 21 de noviembre, Reglamento (CE) N° 1069/2009, y Reglamento (UE) N° 142/2011.	44
II.4.3. Clasificación de los fertilizantes nitrogenados en las Normativas, de las Zonas Vulnerables a la contaminación por nitratos, y de la Producción Integrada.	46
II.4.4. Relación entre las distintas formas de N que contienen los fertilizantes orgánicos y la velocidad de mineralización.	46
II.4.5. Algunas referencias sobre los contenidos de N-P-K de los orgánicos	49
II.4.6. Valor fertilizante de los estiércoles en fósforo y en potasio	51
II.4.7. Valor fertilizante de los estiércoles en azufre, magnesio y oligoelementos	52
II.5. Conocer las necesidades (de macronutrientes) de los cultivos.	52
II.5.1. Algunas referencias de las utilizadas	52
II.5.2. Relación cuantitativa entre las necesidades de los tres macronutrientes y los contenidos de los mismos en los subproductos orgánicos.	54
II.6. Principios básicos para razonar "una fertilización sostenible".	55
II.7. Fertilización y cumplimiento de las normativas.	58
II.8. Dos situaciones (Secano y Regadío) y varios supuestos de cómo razonar la fertilización con unos determinados subproductos orgánicos.	59
II.8.1. Fertilización con orgánicos en secano.	60
Supuesto 1a.	61
Supuesto 1b	62
Supuesto 1c	63
Supuesto 1d	63
II.8.2. Fertilización con orgánicos en regadío.	64
Sobre una alternativa de 7 años: maíz-trigo-alfalfa.	64
Con purín de cebadero.	65
Con fiemo de pollos.	66
II.8.3. Nota final sobre estos supuestos de razonamiento de la fertilización	67
II.9. Consideraciones finales	68
II.10. Glosario de términos técnicos utilizados.	68
II.11. Referencias Bibliográficas.	70

RESUMEN

Esta Información técnica tiene dos partes bien diferenciadas:

En la primera de ellas, "**Las bases de la fertilización agrícola**", se hace un amplio recordatorio sobre el conocimiento básico del suelo y de la fertilidad, que con toda seguridad, ayudará a comprender mejor todo el proceso de evolución que deben sufrir los materiales orgánicos aportados al suelo hasta que sus nutrientes son disponibles para las plantas.

La alimentación humana ha dependido siempre del suelo y de sus nutrientes, y ahora más que nunca. Ocurre que la "globalización" de las producciones, y la continua disponibilidad de todo tipo de alimentos ha provocado que, en los países desarrollados, la población no sea consciente de esa dependencia.

Durante milenios el hombre ha adquirido un conocimiento del suelo y de las prácticas agrícolas aplicables en cada región, y en particular de la "fertilización". Ese conocimiento se ha visto revolucionado por la ciencia y la técnica, (hoy es muy sencillo por ejemplo, disponer de análisis), pero a su vez esa misma técnica cambia continua y rápidamente las prácticas agrícolas y ganaderas, y las posibilidades de actuar sobre el suelo. Podemos decir que **hoy existen mejores medios que nunca para gestionar adecuadamente los suelos y los nutrientes y sin embargo, la gestión de los nutrientes es a menudo poco afortunada.**

Esta gestión de los nutrientes es hoy crucial, a nivel global para conseguir alimentar a una población creciente, **y a nivel local**, para conseguir mayor rentabilidad y el menor impacto ambiental posible de la producción agraria. En un entorno de escasez, no hay más tierras de cultivo y los nutrientes son agotables, el exquisito aprovechamiento de todos los recursos implicados en la fertilización debería ser una prioridad absoluta.

Intentamos en esta primera parte aproximarnos a ese conocimiento del suelo que hoy podemos tener, y que nos permite explicar el comportamiento de los nutrientes. Explicarnos, en definitiva, la fertilización. Sea ésta orgánica o mineral. Aunque ciertamente hemos hecho más hincapié en el comportamiento de la materia orgánica del suelo, para dar paso a algunas explicaciones de la segunda parte.

Precisamente porque **la fertilización con subproductos orgánicos necesita "tecnificarse"** para poder ajustar los aportes y predecir su respuesta, tras el conocimiento de una serie de parámetros: contenidos en nutrientes, forma química de los mismos, relación C/N, velocidad de mineralización (en los 1-3 años que siguen a su aplicación), niveles deseables de materia orgánica en cada tipo de suelos, etc.

En la segunda parte, "**La fertilización con orgánicos. Una propuesta generalizada de fertilización con criterios de sostenibilidad**", se intenta llamar la atención en nuestra Comunidad aragonesa sobre los siguientes puntos:

- Recordar una vez más, **la gran importancia de los subproductos orgánicos**, especialmente los relacionados con la producción ganadera -los estiércoles- como fuente o yacimiento de nutrientes N-P-K (nitrógeno, fósforo y potasio) para utilizar en fertilización
- Si bien **el purín porcino** supone el primer subproducto ganadero como fuente de N y de P (P_2O_5) en Aragón (46.000 y 51.000 t, respectivamente), tampoco son desdeñables **el resto de los estiércoles** que sumarían 42.000 t de N, 34.000 t de P_2O_5 , y 54.000 t de K_2O , **y las leguminosas** -principalmente la alfalfa-, que proporcionan en nuestra Comunidad entre 27.000 y 29.000 t de N (MARM, 2008 y 2009).
- Solamente **los tres cereales más importantes de Aragón (cebada, maíz y trigo)** -cultivados en unas 750.000 has y con una producción de 2,69 millones de toneladas, en el año 2007- **requieren reponer al suelo**, a través de la fertilización, **un mínimo de 70.345 t de N, 28.765 t de P_2O_5 , y 46.431 t de K_2O . Las necesidades globales de N de todos nuestros cultivos podrían ser estimadas en 110.000 t, ó solamente 78.000 t, si se excluyen las leguminosas**
- Aunque en este momento podríamos decir que conocemos aceptablemente el uso y las aplicaciones del purín porcino como fertilizante en los cultivos extensivos, no podemos decir lo mismo de los fiemos o estiércoles sólidos, ni del resto de posibles subproductos orgánicos.
- **Una mala práctica en la fertilización puede conducir a la contaminación** de las aguas (nitratos), del suelo (excesos de P y otros nutrientes) y de la atmósfera (emisiones de gases: amoníaco, óxidos de N, etc).

Consideraciones de **pura economía** (aprovechamiento y reutilización de subproductos del modo más económico posible, el aprovechamiento de los aportes nitrogenados de las leguminosas, el mantenimiento y/o la mejora de las condiciones del suelo, otras consideraciones agronómicas...), **y de lucha contra el cambio climático** (reducción de emisiones de gases de efecto invernadero/GEIs, ahorro energético...) **nos llevan a la reflexión sobre la necesidad de intentar definir e iniciar ya, unas prácticas de fertilización más sostenibles.**

- Aún cuando no se dispone de suficientes referencias experimentales, pensamos que **el ajuste en los aportes de los 3 macronutrientes principales** -no sólo del N, sino también del P y del K-, **la reutilización de los subproductos disponibles, y la integración de cualquiera de las acciones tales como:** rotaciones de cultivos (con leguminosas, entre otras), las técnicas de laboreo de conservación, el mantenimiento de unos niveles aceptables de materia orgánica en los suelos, etc, etc, **constituyen en conjunto un esquema básico de sostenibilidad que debería asumirse ya como mínimo, a niveles experimentales.** En realidad, este esquema básico que planteamos, siempre había sido preconizado por la técnica de la fertilización, aunque casi nunca se llevaba totalmente a la práctica. Las circunstancias actuales entendemos que obligan a recuperarlo, por pura necesidad.
- Al final de la publicación **se proponen unos supuestos teóricos** de cómo razonar la fertilización con estiércoles, con los conocimientos actuales. En el caso de los estiércoles sólidos, se hace utilizando referencias francesas que sólo recogen la mineralización del N que se produce en los 12 primeros meses.
- Las dificultades y falta de precisión que como veremos presentan estos cálculos, **refuerzan la necesidad de mantener e intensificar los trabajos de investigación y experimentación en nuestras propias condiciones agroclimáticas, introduciendo ahora esa visión más amplia y nueva de la sostenibilidad.**

Introducción

Los "fertilizantes orgánicos", junto con la fijación del nitrógeno atmosférico que se consigue con el cultivo de plantas leguminosas, o el aporte de cenizas, han sido con toda probabilidad los primeros fertilizantes que se utilizaron en la agricultura.

En nuestro país, el uso generalizado de los fertilizantes minerales obtenidos industrialmente, probablemente no se haya alcanzado hasta después de las décadas de los 60 y 70, del pasado siglo, en un proceso de introducción gradual, comenzando con los cultivos más rentables (hortícolas, frutas, etc.), hasta llegar a los cultivos extensivos de las comarcas más remotas.

Hemos utilizado expresamente el concepto de "**fertilizante orgánico**" (y que retomaremos en el punto II-4, con mucho mayor detalle) a pesar de ser un término realmente moderno, que engloba en estos momentos a una larga lista de materias, pero que probablemente comenzaría, desde un punto de vista histórico, con el término de fiemo ó estiércol.

La comodidad, limpieza, rapidez de aplicación, oportunidad de aplicación, respuesta más rápida, conocimiento de su contenido en nutrientes, etc., que introdujeron los fertilizantes minerales en la práctica de la fertilización en las tres o cuatro décadas anteriores, han relegado en una parte importante de situaciones el uso de los "orgánicos". Sin embargo, la última crisis económica (2008/... /2011/...?), las sobrecargas ganaderas, la abundancia de residuos urbanos (lodos de depuradora, composts de residuos sólidos urbanos, de poda, etc.), e industriales (agroindustria, papeleras, etc.), el interés por la mejora de la fertilización en condiciones de agricultura ecológica y la necesidad de atender urgentemente la demanda medioambiental (contaminación, cambio climático...), **llevan necesariamente a considerar de nuevo, con la mayor atención, todos estos subproductos de la actividad humana.**

Esta publicación no pretende otra cosa que recordar gran parte de las consideraciones técnicas que deben tenerse en cuenta a la hora de fertilizar los cultivos agrícolas, - en este caso particular, utilizando los subproductos orgánicos más conocidos en nuestra Comunidad -, para obtener los mejores resultados, además de atender a las consideraciones medioambientales que hemos señalado.

Consta de dos partes bien diferenciadas:

Una **primera: "Las bases de la fertilización agrícola"**, en que recordaremos de forma amplia, y al mismo tiempo sencilla, los conceptos fundamentales sobre el suelo y su fertilidad. La forma de reconocer las propiedades esenciales del suelo y su significado, para conocer y predecir el posible comportamiento del éste y de los fertilizantes. Aún insistiendo en el **carácter divulgativo de esta información**, es necesario fundamentarla siempre en unos conceptos técnicos, imprescindibles para definir o cuantificar los razonamientos que hemos de desarrollar. Trataremos de hacerlos comprensibles mediante unas explicaciones sencillas a la par que dichos conceptos van apareciendo en el texto (tomadas y extractadas, incluso literalmente, de artículos o textos anteriores que ya las definieron con precisión y claridad, y en dichos casos, figurarán siempre en letra cursiva). En las páginas finales recogeremos, en un "Glosario de términos técnicos utilizados" una ampliación de los mismos.

La segunda parte, "**La fertilización con orgánicos. Una propuesta generalizada de fertilización con criterios de sostenibilidad**" abordará, en principio, "lo (poco) que conocemos de los subproductos orgánicos" que pueden ser utilizados como fertilizantes, una de las posibles referencias sobre necesidades de las cosechas que extraemos del suelo (ref. canadienses), una serie de factores que afectan o pueden afectar al éxito de la cosecha, y terminando con unos ejemplos teóricos de cómo iniciar el razonamiento de su aplicación, a partir de una referencia francesa de una serie de subproductos orgánicos (la mayoría sólidos) en los que se ha estudiado la mineralización del N en los doce meses que siguen a su aplicación.

Es evidente que hay un nexo de unión entre ambas partes (I y II), y es precisamente el hecho de que *el contenido de materia orgánica del suelo, es un indicador clave de la calidad del suelo y del sistema agrícola en su totalidad, ya que está relacionado con numerosas propiedades y procesos responsables de la productividad agrícola y la integridad medioambiental. En regiones semiáridas como es la nuestra, donde la capacidad del suelo para la producción agrícola es más limitada, la materia orgánica puede ejercer una gran influencia sobre la calidad del suelo, favoreciendo la estabilidad estructural, la porosidad, la capacidad de agua disponible y de intercambio catiónico, e incrementando finalmente la producción y los beneficios económicos del agricultor.* (López MV et al, 2009)⁽²⁴⁾.

En el uso de los subproductos orgánicos como fertilizantes, se tiene, una experiencia aceptable en el caso de los purines porcinos aplicados sobre cultivos herbáceos, de gran peso específico en nuestra Comunidad, pero en el resto de los orgánicos todavía se requiere realizar una amplia tarea de investigación y de experimentación práctica. En esta "reintroducción" de los orgánicos, **ahora con aplicaciones muy significativas respecto a las necesidades totales de los cultivos**, deberíamos estudiar siempre las referencias disponibles con una visión a medio o largo plazo, que permitirá evaluar más sosegadamente los cambios, presumiblemente positivos, que van a producirse en los suelos receptores.

Desde el punto de vista de la economía, no deja de ser llamativo, que el consumo de fertilizantes minerales nitrogenados en nuestra Comunidad tenga unas cifras de 79.279 y 61.672 toneladas de N, en 2008 y 2009, respectivamente (MARM, Balance del N en la agricultura española), frente a la importantísima disponibilidad de estiércoles. En el resumen de la página 4, ya hemos indicado cuáles eran las cuantías de la disponibilidad en N-P-K de los estiércoles, y sabemos de qué orden pueden ser las necesidades globales de todos nuestros cultivos: 110.000 Tm de N o solamente 78.000, si excluimos las leguminosas^{(28) (31)}.

El hecho de constatar las dificultades que supone no tener estudiados y analizados estos subproductos, su enorme diversidad y variabilidad, y no disponer de referencias propias (para Aragón o para suelos y climas similares de la península ibérica) de cómo evolucionan en el suelo tras su aplicación a corto, medio o largo plazo, recuerdan lo que falta por experimentar y conocer en este tema.

También incluirá esta segunda parte, como consecuencia de todas estas reflexiones, **una propuesta o intento de definir, los criterios que podrían ir perfilando una "fertilización sostenible", - como concepto y como práctica a iniciar y difundir -, que a nuestro juicio no debería demorarse más, y plantearse como una contribución ineludible a la limitación del deterioro ambiental producido por el hombre.**



Cultivo de alfalfa en regadío y explotación ganadera.

Primera Parte

Las bases de la fertilización agrícola

La fertilización es la "acción y efecto de fertilizar", según la Real Academia de la Lengua Española, que a su vez define fertilizar como "disponer la tierra para que dé más fruto", y es ésta una definición muy adecuada para los fines que persigue esta publicación.

Está claro que el objeto de la fertilización es la tierra, o más propiamente deberíamos decir el suelo. Y "disponerlo para que dé más fruto" requiere conocerlo.

Trataremos en esta parte de la composición y propiedades fundamentales del suelo que debemos conocer para ser capaces de identificar el factor o los factores que limitan la producción, y de ese modo tratar de corregir su acción limitante.

Estos factores, como más adelante veremos no son únicamente el suministro de los nutrientes necesarios, sino también, y muy a menudo algunos otros (compactación, encharcamientos...) que podemos detectar mediante la observación directa, pero que no siempre aparecerán reflejados en el análisis del suelo.

I.1. ¿De qué están hechas las plantas?

Aunque veremos más adelante que las plantas necesitan algo más que nutrientes para un adecuado desarrollo, conviene definir ahora los elementos químicos que necesitan las plantas, puesto que ellos son el objeto principal de las prácticas de fertilización. A diferencia de los animales, las plantas son capaces de tomar elementos químicos o sustancias minerales muy sencillas (iones) para transformarlos en moléculas orgánicas complejas (biomasa) utilizando para ello la energía del sol (fotosíntesis).

Hablamos de "elementos esenciales" para referirnos a los elementos que las plantas requieren para su crecimiento, a tal punto que si alguno de ellos no está disponible, las plantas mueren. **Actualmente se reconocen 17 elementos químicos que son esenciales para las plantas en general y hay algunos más que se han demostrado esenciales sólo para algunas especies vegetales, hasta un total de 20 - 21** (ver *Tabla 1*).

Con frecuencia en fertilización hablaremos de "nutriente", para referirnos a alguno de estos elementos esenciales (quizá por el hecho de que carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) están en abundancia a disposición de la planta y, aunque son esenciales, no suele hablarse de ellos como nutrientes).

Tabla 1. Elementos esenciales para las plantas, representados por su símbolo químico

Grupo	Elementos	Presencia (% sobre peso seco)	Fuente
Macroelementos	C, H, O	90 - 95 %	Aire y agua del suelo.
	N, P, K	2 al 5 %	Suelo
	Ca, Mg, S	0.5 al 2 %	Suelo
Micronutrientes	Fe, Cu, Mn, Zn, B,	Menos del 0.1 %	Suelo
	Cl, Mo, Ni	<i>Se duda que el Ni sea esencial para todas las especies.</i>	
	Co, Si, Na	Solo esenciales para algunas especies	

Elaboración propia

Según la cantidad demandada los elementos esenciales se clasifican en macronutrientes (cantidades del orden de decenas de kg/ha) y micronutrientes (cantidades del orden de decenas de g/ha).

Los elementos: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno (N), azufre (S) y fósforo (P) cumplen una función estructural, formando parte de las proteínas, hidratos de carbono o lípidos. El potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), manganeso (Mn), y cinc (Zn), son activadores enzimáticos. El hierro (Fe), cobre (Cu) y molibdeno (Mo), catalizan reacciones en la planta. Y otros elementos, como el boro (B) y el cloro (Cl) tienen una función no bien conocida.

I.2. Conocer el suelo

El suelo es el recurso que resulta esencial para el desarrollo de la agricultura. Sólo por esta razón ya es necesario su conocimiento, pero si además se pretende mejorarlo, es imprescindible tener un estrecho conocimiento de su situación actual.

El suelo es un **recurso natural básico** y elemento fundamental de los ecosistemas terrestres. Del suelo depende, directa o indirectamente, gran parte de la actividad humana, y en concreto es esencial en la producción de alimentos. Y también depende del suelo el mantenimiento de los ecosistemas naturales.

El agricultor o el técnico agrícola debe conocer con detalle cuál es el medio en el que desarrolla su trabajo. Es imprescindible conocer las características de los suelos como soporte de los cultivos que tratamos de "alimentar", por dos razones principales:

- Por limitar el deterioro que nuestra actividad pueda producir sobre el propio suelo o su entorno.
- Por la consecución del máximo aprovechamiento de los recursos disponibles, obteniendo, si fuera posible, una mejora en dicho proceso.

Es primordial efectuar un reconocimiento periódico del suelo para conocer la situación actual y la posibilidad de intervenir, adoptando aquellas actuaciones que permitan mejorar las condiciones de cara al cultivo. A menudo se piensa para ello solamente en el "Análisis de Suelos", pero hay que destacar que el análisis es sólo una herramienta más, que no debe juzgarse aisladamente o desvinculado de la observación directa de su comportamiento o su estado (exactamente igual que el médico incorpora los resultados de un análisis de sangre al conjunto del reconocimiento del paciente). Toda la información es importante.

La información que suministra un boletín de análisis de suelo es, la mayor parte de las veces, de difícil comprensión por parte de los usuarios finales de la información (agricultores, y también personal técnico en muchos casos). Es necesario por consiguiente, traducir los datos o parámetros analizados a un lenguaje que sea fácil de comprender por parte de la persona que solicita el servicio. En esta primera parte se darán unas orientaciones básicas sobre la interpretación de los resultados.

I.3. El origen del suelo

El suelo es una capa delgada situada en el límite entre la atmósfera y la zona continental de la corteza terrestre. Su espesor - entre unos pocos centímetros y unos metros - es insignificante en comparación con el de la corteza terrestre, sin embargo, la presencia del suelo es esencial porque **se trata del único lugar en tierra firme donde se almacenan temporalmente los nutrientes y el agua para la alimentación vegetal.**

Los constituyentes y propiedades del suelo son el resultado de la actuación de una serie de factores (clima, organismos, relieve y tiempo) sobre el material existente en la superficie (conocido como "roca madre").



Perfil de suelo con freático

Durante periodos de tiempo muy prolongados (varios miles de años) el clima (el factor formador generalmente más importante, va "trabajando" la roca hasta obtener fragmentos menores, y en esa tarea colaboran también los seres vivos (sobre todo la vegetación y animales que viven en el propio suelo). El material se va transformando paulatinamente, pierde su configuración y aspecto original para constituir lo que conocemos como suelo.

Finalmente, el estado del material "transformado" alcanza un equilibrio con las condiciones en que se origina. La mayoría de los suelos que hoy cultivamos alcanzaron su equilibrio con las condiciones existentes durante varios miles de años anteriores, pero la agricultura a menudo altera esas condiciones de formación (en los suelos agrícolas hay más suministro de nutrientes, suele haber laboreo, se transita sobre ellos,...), y el suelo busca un nuevo equilibrio. El resultado puede ser favorable, o no, dependiendo de los suelos y de las tecnologías aplicadas.

Que se alcance el equilibrio (o la madurez) del suelo no quiere decir que los procesos que ocurren dentro de él se detengan, sino que quedan muy atenuados y el efecto que origina cada uno de ellos queda neutralizado por el proceso contrario. El suelo está "vivo", tanto durante su formación como después de que alcance su madurez, la actividad permanece constantemente, nuevos productos son recibidos y transformados (por ejemplo la materia orgánica), otros cambian de lugar (casi todas las sales), y la fauna del suelo sigue ejerciendo su labor.

La inmediata consecuencia de este origen del suelo es que **su formación completa escapa a la escala de tiempo "humana", por lo que debemos considerarlo como un recurso "no renovable"**.

I.3.1. La diferenciación de horizontes

Durante la formación del suelo, los agentes que participan actúan de forma mucho más intensa cerca de la superficie, y poco a poco, con la profundidad, disminuyen sus efectos. Por esta razón, si reconocemos un corte de suelo veremos cómo la parte superficial aparece, en general, mucho más "elaborada" (más oscura y suelta, con más actividad de lombrices o fauna en general, etc.). También se verá, en muchos casos, que aparecen diferencias de color, de presencia de piedras, raíces, u otras, que no se producen de una forma gradual, sino en forma de "escalones" o "capas". Son los denominados "horizontes" del suelo.

Identificar los horizontes no es siempre una tarea sencilla, pero es importante para realizar un mejor reconocimiento del suelo. Téngase en cuenta que, desde el momento que tenemos esas diferencias, el comportamiento de cada capa será muy diferente.

En muchos cultivos el estudio del suelo se centra en el horizonte más superficial, y es cierto que es el más importante en plantas o cultivos herbáceos, pero la influencia de los horizontes situados debajo es siempre importante, sobre todo en cultivos de enraizamiento profundo.

I.4. Componentes del suelo

El conjunto de las propiedades del suelo que más adelante se comentarán son el resultado de la acción combinada de los componentes del suelo. Aún los suelos más pobres o incipientes tienen los siguientes componentes, íntimamente relacionados:

- **Aire**, es decir, una atmósfera con características propias.
- **Agua**, o "solución del suelo", con una funcionalidad determinante en el aprovechamiento de los nutrientes.
- **Componentes minerales**, procedentes de la roca sobre la que se forma el suelo o formados en el seno del propio suelo.
- **Componentes orgánicos (materia orgánica)**, que pueden estar presentes en distintas formas, y que comprenden todos los organismos vegetales, animales, y sus restos, que pueblan el suelo. Además, una parte de dichos organismos realizan transformaciones físicas y bioquímicas del resto de los componentes del suelo.

La composición aproximada de una capa superficial del suelo se recoge en la **Figura 1**.

En los apartados siguientes destacaremos las características de esos componentes que serán determinantes en la gestión de los nutrientes del suelo y en la nutrición de los cultivos.

I.5. Propiedades del suelo. La fertilidad.

Como consecuencia de la formación del suelo, los componentes que hemos citado (sólidos, líquidos, gases, seres vivos...) adquieren una configuración y unas características que determinan la denominada fertilidad del suelo. Este es un concepto amplio que podríamos definir como la "capacidad para mantener plantas". De este modo la fertilidad se puede descomponer en diferentes grupos de propiedades de tipo físico (fertilidad física), químico (fertilidad química), o biológico (fertilidad biológica).

En los suelos agrícolas la "fertilidad" se podría asimilar a "productividad". Y es fácil comprender que la "fertilidad"/"productividad" del suelo está determinada por el conjunto de todas sus propiedades. De este modo, el componente de la fertilidad que funcione peor o que se encuentre deteriorado (el factor más limitante) será el que limitará la producción, y esto puede ocurrir por diversas circunstancias: falta de suministro de un nutriente, compactación, encharcamiento, etc.

Desde el punto de vista físico, el suelo ha de proporcionar un medio adecuado para el buen desarrollo del sistema radicular de las plantas, ha de tener una buena aireación, capacidad de retención de agua apropiada y un régimen de circulación de agua que no produzca asfixia radicular ni provoque un lavado excesivo. También se tendrá en cuenta la resistencia del suelo frente a factores de erosión y las repercusiones que pueden tener las labores sobre su estado.

En cuanto a la que podemos denominar **fertilidad química**, es quizá más fácil de conocer, ya que las propiedades que engloba se pueden determinar mediante análisis químico. Tendremos aquí la reacción del suelo (pH), la salinidad, la presencia de carbonatos, caliza activa, la concentración de nutrientes, etc.

Y la **fertilidad biológica**, responsable de la evolución de la materia orgánica y de algunos fertilizantes, es más difícil de reconocer de forma directa, pero está muy relacionada con los aspectos anteriores, y dispone de numerosos indicadores indirectos (evolución de restos de cosecha o de estiércoles, cantidad de raíces, presencia de lombrices...).

Aunque hayamos establecido estos compartimentos en la fertilidad a efectos de abordar su explicación, lo cierto es que en el suelo existen múltiples relaciones entre los aspectos físicos, químicos y biológicos, que iremos destacando en el desarrollo de estos temas. Para mayor claridad, hemos agrupado las propiedades según los componentes del suelo con los que están más relacionadas.



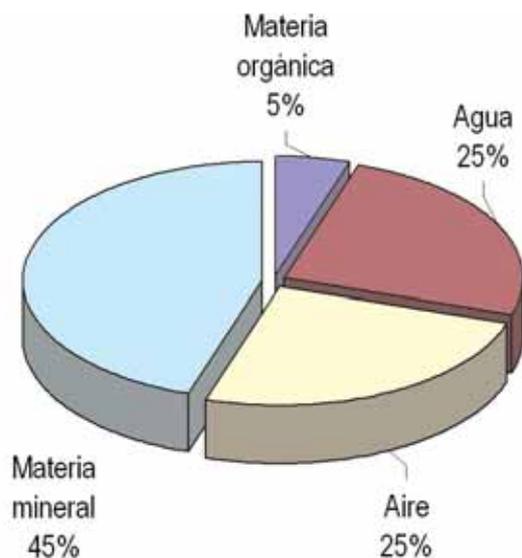
Horizontes del suelo

I.5.1. Propiedades "generales" del conjunto del suelo.

Respecto a la **profundidad de suelo** hay que distinguir entre:

- **Profundidad de suelo**. Que es la profundidad hasta el límite inferior del suelo, donde aparecen las rocas sobre las que se asienta (material geológico, que a menudo es el material que ha originado el suelo).
- **Profundidad de suelo explorable por las raíces**. Es la profundidad a la que pueden acceder las raíces. Puede estar limitada por un horizonte compacto, una capa freática, un horizonte cementado (que forman parte del propio suelo), o por el final del suelo, cuando este límite sea una roca impenetrable por las raíces.

Figura 1. Composición proporcional aproximada de una capa superficial de suelo ideal (en volumen). Las cifras son únicamente orientativas, pues el porcentaje de ciertos constituyentes como el agua y el aire está cambiando constantemente



Ambas profundidades son importantes, pero en general para los suelos cultivados tiene más importancia la profundidad explorable por las raíces. Esta profundidad una vez descontada la proporción de piedras nos determinará la "profundidad efectiva de raíces" que para una superficie considerada nos permite calcular el volumen de que disponemos para almacenar agua, nutrientes, etc.

Un suelo con muy escasa profundidad efectiva de raíces presenta un almacenamiento reducido y ello limitará la producción si no podemos realizar una dosificación de agua o de nutrientes muy cuidadosa. Sin embargo, cuando la profundidad efectiva de raíces es elevada, la dosificación no será crítica.

El drenaje es la capacidad del suelo para dejar circular y eliminar el agua sobrante en un plazo lo suficientemente breve como para que no origine problemas ni a las plantas ni al propio suelo. Los problemas de drenaje se manifiestan cuando tras las lluvias o riegos el

suelo permanece encharcado en superficie o saturado de agua a poca profundidad durante días. Al observar el perfil de suelo, los problemas de drenaje se pueden identificar por la presencia de manchas (moteados grises, o con color de herrumbre) a alguna profundidad dentro del suelo, y en casos extremos por olores desagradables, que reflejan procesos con escasez o ausencia de oxígeno.

I.5.2. Propiedades relacionadas con los componentes minerales.

La parte sólida de suelo está formada por partículas, en su mayor parte minerales, procedentes de la roca original. Esas partículas minerales tienen tamaños muy diversos, desde invisibles hasta fragmentos muy gruesos, y también su composición es diversa (según la roca de origen).

El estudio de la composición de las partículas minerales (en general la mayoría de los sólidos del suelo), su **tamaño y la forma de agruparse**, permite conocer buena parte de las propiedades de ese suelo, algunas relacionadas con la fertilidad física, otras con la química del suelo, y varias, con el comportamiento físico y químico al mismo tiempo. A continuación desarrollamos las más importantes.

Tamaño de las partículas minerales.

El estudio de los tamaños de partícula que predominan en un determinado horizonte del suelo se hace a través de la textura (para las que son menores de 2 mm de diámetro), y de la pedregosidad, o presencia de elementos gruesos (para las mayores de 2 mm).

Textura:

La textura expresa la distribución de tamaños de partículas minerales en un suelo, considerando sólo las que son menores de 2 mm. Estas partículas reciben especial atención puesto que son las más "activas" en el suelo.

El ámbito de 0 a 2 mm de diámetro se ha dividido en diferentes rangos de tamaño teniendo en cuenta las propiedades que aportan cada uno de ellos (básicamente por su superficie externa). Estos grupos de partículas son:

Arcilla: Son las partículas más finas (menores de 0,002 milímetros o 2 µm). Determinan en gran parte la fertilidad potencial del suelo por su capacidad de retener y liberar nutrientes así como la capacidad de retención de agua. Muchas veces denominados como "pesados", a los suelos en los que esta fracción es predominante, y ello se debe a que están frecuentemente húmedos.

Limo: Son las partículas de tamaño intermedio (de 2 μm a 50 μm). En ocasiones puede dificultar la infiltración del agua y formar costras. Aportan y retienen poca cantidad de nutrientes.

Arena: Son las partículas de mayor tamaño (de 0,05 a 2,00 mm). Hace al suelo más permeable, facilita el drenaje, la aireación y las labores culturales pero también hace que retenga menos cantidad de agua y aporte pocos elementos nutritivos. En sentido contrario a los arcillosos, a los suelos arenosos se les denomina comúnmente "ligeros", y lo son debido a que permanecen con mucha frecuencia secos.

Las cantidades y el equilibrio de las partículas de arena, limo y arcilla indicarán cual será el probable comportamiento del suelo. Esta determinación permite obtener mucha información sobre las propiedades del suelo.

La combinación más favorable de estas tres fracciones es la textura "franca" (F) (de hecho el término "franco" procede de la calificación utilizada tradicionalmente por los agricultores para referirse a suelos con buen comportamiento). Tanto la descripción de las fracciones como el "triángulo de textura" corresponden al criterio propuesto por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (U.S.D.A), que es el de uso más generalizado en España, y que se recoge en la **figura 2**.

Y, en la **Tabla 2** que sigue, se recogen las clases de suelo, según su textura:

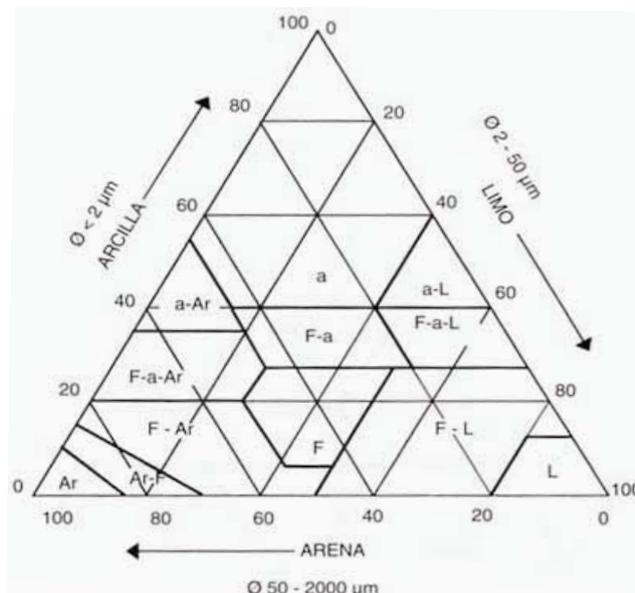


Figura 2. Diagrama triangular para la determinación de la clase textural, según criterios U.S.D.A.

Tabla 2. Grupos de suelos según textura

Grupo	Clases de suelo
Texturas Gruesas	Arenoso (Ar), Arenoso - franco (Ar-F) y Franco - arenoso (F-Ar)
Texturas Medias	Franco (F), Franco - limoso (F-L), Limoso (L), Franco - arcillo - arenoso (F-A-Ar) y Arcillo - arenoso (a-Ar)
Texturas Finas	Franco - arcilloso (F-a), Arcilloso (a), Arcillo - limoso (a-L) y Franco - arcillo - limoso (F-a-L)

La pertenencia de un suelo a una clase textural u otra nos indica de alguna manera su capacidad agronómica, tal como se recoge en la **Tabla 3**:

Tabla 3. Textura y probable comportamiento del suelo

Propiedad	Arenosa	Franca	Arcillosa
Permeabilidad	alta	media/baja	Baja
Compacidad	baja	media	Alta
Capacidad para almacenar nutrientes	baja	media	Alta
Dificultad de laboreo	Intermedia	más fácil	más difícil
Capacidad para almacenar agua	baja	media/alta	Alta
Energía de retención de agua	baja	media	Alta

Porta - 1.986

Es normal encontrar suelos de la misma clase textural pero que presentan propiedades físicas claramente distintas. Esto puede deberse en algunos casos a la pedregosidad y en todos, a que las partículas raramente están en el suelo de una forma individualizada (dispersas), sino que se encuentran formando unidades mayores o "agregados" que son los que realmente condicionan el comportamiento del suelo.

Pedregosidad - Elementos gruesos:

Se denominan "elementos gruesos" o piedras a las partículas minerales individuales de tamaño superior a 2 mm. Aunque estas piedras quedan fuera del análisis de textura (y también de los análisis químicos), es indudable su influencia sobre las propiedades físicas de los suelos. En los casos de elevada pedregosidad superficial interfieren con la maquinaria y dificultan el laboreo; si las piedras abundan en el interior del suelo disminuyen el volumen de suelo susceptible de ser explorado por las raíces, y debilitan la cohesión entre partículas. También incrementan o reducen el peligro de erosión según se encuentren en profundidad o superficie, y otros efectos.

De la pedregosidad debe tomarse información directamente en el campo. Puede analizarse la presencia de piedras (elementos gruesos en % del peso total) en una muestra, pero los resultados no son muy fiables debido a que la muestra no suele ser representativa.

Agrupación de partículas. "Estructura"

La "estructura" es la forma en que se disponen las diferentes partículas del suelo, unidas entre sí de forma más o menos fuerte, para formar elementos mayores llamados "agregados". Entre los agregados y dentro de ellos, hay poros (espacios huecos) de diferentes tamaños, muy importantes para la circulación y almacenamiento de agua y de aire.

La estructura es una propiedad física esencial, con múltiples relaciones con otras (aireación, drenaje, porosidad, facilidad de enraizamiento, compactación, etc.) y cuyo estudio sólo puede hacerse en el campo o en muestras especiales. La mejor forma de examinarla es directamente, intentado fragmentar una porción de suelo.

En la formación y mantenimiento de la estructura juega un papel destacado la materia orgánica del suelo, de la que se hablará más adelante. Un mayor contenido de materia orgánica favorece la formación de mejor estructura, y protege a los agregados de la destrucción por impacto de gotas de agua o por compactación. En definitiva, suelos con alto contenido de materia orgánica están mejor estructurados.

A menudo el deterioro de la estructura (por tránsito de maquinaria o por otros motivos) origina rápidas caídas de la producción, y su recuperación no es rápida ni sencilla. Por ello el mantenimiento de la estructura es esencial para mantener la fertilidad del suelo.



Oscurecimiento característico en un horizonte "A"

Composición de los minerales del suelo

De una forma global se puede decir que la mayor parte de los minerales presentes en el suelo son silicatos compuestos de oxígeno, silicio y aluminio que dominan la corteza terrestre y de ella van a parar al suelo durante su formación. Sin embargo en muchos suelos, sobre todo en regiones áridas, como Aragón en su mayor parte, se produce la presencia, a veces mayoritaria, de minerales que no contienen silicio (yesos, carbonatos).

La presencia de unos u otros minerales es de gran importancia para el comportamiento químico, y también físico y biológico, del suelo. Describimos a continuación los más importantes:

Minerales silicatados

Los más importantes minerales de este grupo son **las arcillas**, unos silicatos con disposición laminar (filosilicatos) y que tiene capacidad de intercambio de iones. Constituyen la mayor parte del grupo de tamaño de partículas que lleva este nombre, debido a que con tan pequeño tamaño tienen una gran superficie específica (cm^2/g , que proporciona una gran relación con el entorno de las partículas).

Una gran parte de las arenas y los limos son también silicatos, aunque en este caso no tienen capacidad de intercambio de iones y su superficie específica es mucho menor.

La contribución de los silicatos, especialmente de los filosilicatos, a las propiedades físicas y químicas del suelo es importantísima. Aportan capacidad de estructuración y capacidad de retención de nutrientes, conocida como capacidad de intercambio catiónico, de la que hablaremos mas adelante.

Salvo en algunas condiciones no habituales en nuestro entorno, los silicatos son prácticamente insolubles, y además son los minerales más abundantes en la naturaleza. Por ello son la base de la mayor parte de los suelos.

Habitualmente no se hace la determinación analítica de los silicatos, pero el laboratorio puede proporcionar el contenido de "arcilla", y esos son los silicatos que más nos interesan.

Minerales no silicatados

Particularmente en regiones áridas, es muy frecuente la presencia de minerales que no contienen silicio. En lugares con pluviometría más alta esos minerales han desaparecido por disolución.

Los minerales no silicatados no tienen capacidad de intercambio de cationes.

Indicamos a continuación los más importantes:

- **Carbonatos:** Son minerales compuestos por el anión carbonato (CO_3^{2-}) y un catión (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+). El más habitual es el carbonato cálcico CaCO_3 , en ocasiones combinado con el magnésico, ambos muy poco solubles.

Los carbonatos están presentes en la mayor parte de los suelos de Aragón, y en algunos se ha producido una acumulación a determinada profundidad (aunque son muy poco solubles, el agua de lluvia los va movilizandoy muy lentamente) y actúan allí como un "cemento", originando lo que en la zona/nuestra comunidad se conoce como "mallacán" y que técnicamente denominamos "petrocálcico". En los horizontes donde son muy abundantes aportan un color blanquecino característico.

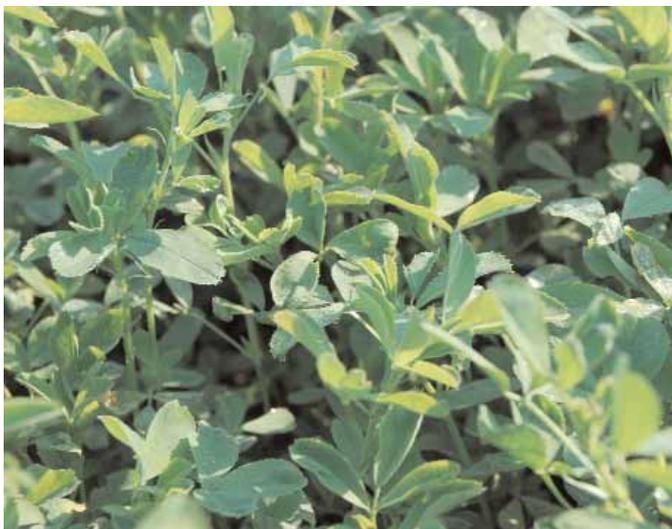
La presencia de carbonatos favorece la estructuración del suelo (propiedades físicas) y la actividad microbiana. Pero, en contrapartida, puede dificultar la asimilación de algunos nutrientes (principalmente fósforo y microelementos).

La determinación de carbonatos es especialmente importante en el caso de plantaciones frutales a la hora de elegir un patrón. El método usual para determinarlos es mediante el calcímetro de Bernard, y se expresa en % en peso sobre suelo seco.

Dado que todos los carbonatos son poco solubles no suponen ningún riesgo para el cultivo, pero hay que considerar que:

- si se ha formado un petrocálcico (mallacán) esa capa es una limitación muy importante para las raíces, que no pueden atravesarlo.
- en un medio con muchos carbonatos hay menos capacidad de retención de nutrientes. Además, el fósforo se puede retrogradar con facilidad, formando fosfatos insolubles.
- si hay un contenido de carbonatos del orden del 10 % y se pretende realizar plantación frutal, deberá analizarse la caliza activa, que es la parte de estos carbonatos especialmente activa desde el punto de vista químico.

La presencia de carbonato sódico es poco habitual, y denota una situación de sodicidad muy avanzada del suelo. Es una sal muy soluble por lo que es muy peligrosa para los cultivos.



Cultivo de alfalfa

- **Caliza activa:** Son las partículas de carbonatos que tienen menos de 0.05 mm de diámetro. Al ser de pequeño tamaño se considera que establecen más relaciones con el agua del suelo y son capaces de disolver más carbonato y más calcio que fragmentos de carbonatos más gruesos. Su presencia desarrolla un problema característico que se conoce como "clorosis" o "clorosis férrica", debido a que la presencia de carbonatos en disolución, que se transforman en bicarbonatos, origina una dificultad para absorber hierro por la raíz.

Algunos frutales son muy sensibles a la presencia de caliza activa en el suelo. Contenidos superiores al 4 % pueden causar clorosis en melocotonero sobre pie franco y en peral sobre membrillero; en estos casos deberán utilizarse pies resistentes a "clorosis".

Se determina con disolución de oxalato amónico (método Nijelson), y se expresan en % del peso de suelo seco.

- **Sulfatos:** Son minerales compuestos por el anión sulfato (SO_4^{2-}) y un catión (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+). El más habitual es el sulfato cálcico ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) más conocido por yeso.

El yeso es relativamente poco soluble (unos 2 g/l) lo que hace que no sea considerado peligroso desde el punto de vista de la salinidad. Esa solubilidad, aun siendo pequeña, es suficiente para hacer que se mueva con cierta facilidad entre los horizontes del suelo, en disolución. Es frecuente que se acumule preferentemente en algún horizonte del suelo por debajo de la superficie, adquiriendo este un color blanco, en ocasiones bastante puro.

La presencia de mucho yeso, que no es capaz de retener agua ni nutrientes, origina suelos de muy escasa fertilidad.

Otros sulfatos, como el sódico o el magnésico, aparecen con frecuencia en suelos salinos, y por su elevada solubilidad son sales peligrosas para los cultivos.

- **Sales solubles:** En este grupo de minerales no silicatados, se engloban todas las sales que son más solubles que el yeso (aproximadamente 2 g/l). Por su alta solubilidad todas ellas se consideran tóxicas para los cultivos si están presentes en concentraciones elevadas, y tienen efectos negativos también sobre el suelo.

Las más comunes de estas sales son las que aparecen en la **Tabla n° 4**

Tabla 4: Sales solubles con posible presencia en el suelo.

Nombre	Fórmula	Solubilidad (g/l)
Carbonato sódico	Na_2CO_3	
Cloruro sódico	NaCl	
Cloruro magnésico	MgCl_2	
Sulfato sódico	Na_2SO_4	
Sulfato magnésico	MgSO_4	

Las sales con presencia de sodio son especialmente negativas puesto que el sodio puede llegar a acumularse en las sedes de cambio originando un problema grave en el suelo, denominado sodicidad, por el que se deterioran seriamente las propiedades físicas del suelo.

Tanto el sodio como los cloruros son particularmente tóxicos para los cultivos por lo que las sales que los contienen resultan más peligrosas.

I.6. La solución del suelo

I.6.1. Capacidad de intercambio de iones.

La capacidad de intercambiar iones es **una propiedad que las partículas más finas (las arcillas), comparten con la materia orgánica.** Son capaces de generar cargas eléctricas y para compensarlas atraen cationes (y en menor cuantía aniones) presentes en la solución o "agua del suelo".

Diversos cationes o aniones pueden estar presentes en esas sedes de cambio, en proporciones variables. Y algunos de ellos originan efectos característicos.

I.6.2. Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.) :

El intercambio catiónico se produce cuando las partículas del suelo entran en contacto con la solución acuosa del suelo originando un proceso físico - químico muy complejo. El responsable del proceso de intercambio catiónico es el llamado “**complejo de cambio**”, que posee carga negativa lo cual permite retener en su superficie iones cargados positivamente.

Indica la facultad de un suelo para contener nutrientes, es decir su fertilidad "potencial". Un suelo con alta capacidad de intercambio catiónico es capaz de retener temporalmente mayor cantidad de nutrientes y ponerlos progresivamente a disposición de la planta y será más efectivo conservando las aportaciones de fertilizantes.

Son la arcilla y la materia orgánica los componentes que dan al suelo esta facultad, por esta razón capacidad de intercambio catiónico y textura están muy relacionadas. Los suelos arcillosos son más fértiles o potencialmente más fértiles que los arenosos.

Tabla 5. Estimación de la CIC según textura

Tipo de suelo	% arcilla	CIC (meq/100 g)
Arenoso	< 15	< 12
Franco	15 - 25	12 - 20
Arcilloso	> 25	> 20

López y Mirano - 1.978

Tabla 6. Diagnóstico de la C.I.C

CIC (meq/100 g)	Calificativo
< 6	Muy débil
6 - 10	Débil
10 - 20	Media o normal
20 - 30	Elevada
> 30	Muy elevada

Gagnard 1.988

I.6.3. Iones presentes. Concentración de nutrientes.

Muchos iones, y entre ellos gran parte de los nutrientes, se concentran en las sedes de intercambio, y en la solución del suelo situada en su entorno (de la que se hablará en el apartado siguiente).

Cualquier sal al disolverse en agua pasa a estar disociada, es decir, separada en dos partes, en dos iones:

- Una que tiene una o varias cargas negativas, el **anión**
- Otra, que tiene una o varias cargas positivas, el **catión**.

Por ejemplo, el nitrato cálcico $(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$, está disociado en dos aniones NO_3^- , y un catión Ca^{2+} , que son los iones que encontramos realmente en la solución. De modo que en un medio con nitrato cálcico y agua podemos encontrar la forma sólida de la sal y, en la solución, iones nitrato e iones calcio. Entre la forma sólida y la disociada (disuelta) hay un equilibrio de modo que si desaparecen iones (por ejemplo porque los absorbe una planta) se disuelve más sal.

Los iones presentes en la solución del suelo y en las sedes de cambio proceden de sales diversas (depende de la composición mineral de las partículas del suelo y de las sustancias que se aporten) que se han disuelto. En la **Tabla 7** se recoge una relación de los iones que más interesan desde el punto de vista de la fertilización.

Tabla 7. Relación de cationes y aniones más frecuentes en la solución del suelo y sedes de cambio

Cationes		Aniones	
Ca^{2+}	Calcio	PO_4^{3-}	Fosfato
Mg^{2+}	Magnesio	SO_4^{2-}	Sulfato
K^+	Potasio	CO_3^{2-}	Carbonato
NH_4^+	Amonio	NO_3^-	Nitrato
Na^+	Sodio	Cl^-	Cloruro
Todos los oligoelementos			
H^+	Hidrógeno		

El comportamiento de los iones presentes en la solución o en las sedes de cambio es muy similar. Entre ambas formas existe un equilibrio muy rápido, de forma que los dos pueden considerarse asimilables por las plantas. Por ello a efectos de evaluación de la fertilidad, tanto los métodos de análisis como la interpretación, consideran los elementos de cambio y los disueltos, como un conjunto, y ambos asimilables.

Todos los cationes fijados en sedes de cambio, excepto el hidrógeno y el aluminio, (los mayoritarios son calcio, magnesio y sodio) producen reacción básica, y son conocidos globalmente como "bases de cambio" (mientras que el hidrógeno y el aluminio producen acidez). Interesa para la fertilidad del suelo que las "bases" ocupen la mayor parte posible de las sedes de cambio.

Nótese que buena parte de los iones citados en la *tabla 7* son nutrientes (ver apartado I.1). La mayor parte de los fertilizantes, tienen por objeto aportar al suelo los dos cationes: NH_4^+ (amonio), y K^+ (potasio), y los dos aniones: PO_4^{3-} (fosfato), y NO_3^- (nitrato), que más frecuentemente precisan las plantas.

Esta es la base de la química del suelo, que podrá comprenderse mejor si continuamos el ejemplo del nitrato cálcico (que es un fertilizante). Al añadirlo al suelo se irá disolviendo totalmente o en parte (es una sal muy soluble) pasando a la solución como NO_3^- y Ca^{2+} , una parte de estos iones será retenida temporalmente en la sedes de cambio, en equilibrio con la disolución.

A esto hay que añadir que los iones no son retenidos todos con la misma fuerza o eficacia por las sedes de intercambio. Como regla general, los cationes son retenidos mejor que los aniones, y dentro de ambos los que tienen mas cargas se retienen más fuertemente. Esto explica porque el ión nitrato (NO_3^-) está mas expuesto al lavado que el ión amonio (NH_4^+).

En resumen, las sedes de cambio (CIC) del suelo pueden ser más o menos abundantes (lo que significa más o menos capacidad de retener nutrientes), y pueden estar ocupadas en mayor o menor medida por nutrientes (lo que significa mayor menor fertilidad).



Análisis de fertilizantes. Obtención de nutrientes solubles

Se hace a continuación un repaso de los nutrientes mas importantes que deben ser suministrados por el suelo.

I.6.4. Nitrógeno asimilable. Nitratos

Los nitratos (NO_3^-) son la forma final de evolución de las sustancias orgánicas, y también de algunas formas minerales de nitrógeno, en el suelo. Son también la forma en que las plantas absorben preferentemente el nitrógeno que requieren como constituyente esencial de las proteínas.

El nitrógeno presente en el suelo está en su mayor parte (más del 95 %) en forma orgánica, ligado al ciclo de la materia orgánica. Sólo una pequeña parte de esa forma orgánica pasa a forma mineral (o la forma mineral es aportada mediante fertilizantes) y finalmente evoluciona hasta nitratos. Otras formas de nitrógeno mineral en el suelo, como el amonio o los nitritos, son transitorias y cuantitativamente poco importantes frente al nitrato (salvo cuando hay un aporte reciente en forma uréica o amoniacal).

La ruta habitual de transformación del nitrógeno de forma esquemática es:

nitrógeno orgánico ---> amonio ---> nitrito ---> nitrato

Las plantas no toman el nitrógeno en formas orgánicas, han de tomarlo del suelo en formas minerales. Lo que unido al hecho de que la forma mineral mas abundante es el nitrato, **hace que se considere el nitrógeno presente en forma de nitratos como la única cantidad de nitrógeno realmente disponible para las plantas en el corto plazo.**

El nitrógeno, elemento químico (N), se encuentra en estado libre en la atmósfera, constituyendo casi un 80% de los gases que la componen, en forma inerte, y diluyendo el oxígeno que respiramos. Solamente ciertos microorganismos que disponen de la enzima nitrogenasa, son capaces de fijar dicho N atmosférico, y entre ellos nos resultan más familiares, el grupo de las rizobíaceas que se asocian con las plantas leguminosas (ver II.3.2.).

Como elemento fertilizante, **el N es el factor esencial del crecimiento y de los rendimientos.**

Los nitratos son fáciles de determinar sobre un extracto (suspensión de suelo en agua) de suelo y el resultado se expresa como nitrógeno en forma de nitratos ($N \cdot NO_3^-$) en mg/kg. Pasar de ese resultado a la disponibilidad para las plantas, en kg/ha de nitrógeno, es sencillo a partir del peso de una hectárea de suelo para la profundidad de donde proceda la muestra.

Por ejemplo, en un suelo con una analítica de 20 mg/kg de $N \cdot NO_3^-$:

Considerando que la muestra corresponda a los primeros 30 cm de suelo, que la cantidad de piedras es despreciable, y que la textura es media, podemos atribuir una densidad aparente de 1.300 kg/m³, de donde:

$$\begin{aligned}
 10.000 \text{ m}^2/\text{ha} & * 0,30 \text{ m} & = & 3.000 \text{ m}^3/\text{ha} \\
 3.000 \text{ m}^3/\text{ha} & * 1.300,00 \text{ kg/m}^3 & = & 3.900.000 \text{ kg/ha} \\
 3.900.000 \text{ kg/ha} & * 20,00 \text{ mg/kg} & = & 78.000.000 \text{ mg/ha} \\
 78.000.000 \text{ mg/ha} & & = & 78 \text{ kg/ha de N en forma } NO_3^-
 \end{aligned}$$

I.6.5. Fósforo asimilable:

El fósforo está presente en el suelo en formas orgánicas e inorgánicas. El orgánico tiene que ser liberado por mineralización para que las plantas puedan absorberlo. El mineral está presente en diferentes formas, en general poco solubles, por lo que una pequeña parte del fósforo está en solución y retenida por las sedes de intercambio iónico.

De símbolo químico P, que en la terminología habitual en fertilizantes se expresa también por su combinación con el oxígeno (anhídrido fosfórico: P_2O_5). Para calcular las transformaciones de P a P_2O_5 y a la inversa, hay que utilizar los siguientes coeficientes:

Transformar cifras de P a P_2O_5 : Dividir por 0,4366

Transformar cifras de P_2O_5 a P: Multiplicar por 0,4366

Es también un componente esencial de los vegetales. Se encuentra combinado con otras sustancias, formando fosfatos minerales, o incluso sustancias más complejas (lecitinas, fitinas, nucleoprotéidos, etc.). El núcleo de las células está compuesto de sustancias ricas en nitrógeno y en fósforo. El fósforo abunda principalmente en los órganos jóvenes de las plantas y se almacena también en las semillas en forma de sustancias de reserva.

Las plantas toman el fósforo casi exclusivamente en forma de anión fosfato monovalente ($H_2PO_4^-$). Es esencial en la transferencia de energía en los procesos fisiológicos de la planta, y también como componente de algunos carbohidratos.

Después del nitrógeno, el fósforo es el elemento más limitante, por su escasa disponibilidad en el suelo. Particularmente en suelos de pH elevado (superior a 8) y calizos, donde puede retrogradarse a fosfatos cálcicos muy insolubles.

Hay diversos procedimientos para la determinación del fósforo asimilable, cada uno de ellos es indicado para unas condiciones de suelo determinadas. En general, los procedimientos de laboratorio persiguen "extraer" del suelo las formas de fósforo que serán asimilables por las plantas. Especialmente en este caso es necesario conocer que método se ha utilizado en la determinación para poder interpretar los resultados.

En la **Tabla 8**, se incluyen **los niveles propuestos para interpretar el análisis efectuado por el método OLSEN (adecuado para suelos calizos)**; el contenido se expresa en mg/kg de P (fósforo elemental). La interpretación del resultado depende del cultivo y de la textura del suelo.

Tabla 8 - Contenidos en fósforo, método Olsen, en (mg/kg), de^(m)

Grupos de suelos	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
	Cereales, forrajes, patatas tardías, maíz, etc.				
Text Gruesas y mediasI y II	4	5 - 14	15 - 24	25 - 34	35
Texturas finasIII	2	3 - 7	8 - 12	13 - 17	18
	Remolacha, patatas tempranas, frutales:				
Texturas gruesas y medias . . .I y II	8	9 - 18	19 - 36	37 - 72	72
Texturas finasIII	5	6 - 10	11 - 20	21 - 40	41
	Cultivos intensivos de hortalizas y ornamentales:				
Text Gruesas y mediasI y II	16	17 - 34	35 - 70	71 - 142	142
Texturas finasIII	10	11 - 20	21 - 40	41 - 80	80

Lopez Ritas^(m)

I.6.6. Potasio asimilable:

El potasio es un mineral relativamente abundante en la corteza terrestre (el séptimo elemento más abundante) y por tanto, en general, también abunda en los suelos (en diferentes minerales como los feldespatos, las micas, y también en algunas arcillas).

Aunque la materia orgánica (presente en el suelo o aportada) contiene potasio en cantidad importante, en este caso la forma mineral es muchos más abundante. Las formas que se consideran asimilables de forma inmediata son la disuelta y la "de cambio", retenida en las sedes de cambio, que no suponen en total más del 1 a 2 % del potasio total presente en el suelo. Algunas formas de bloqueo en las arcillas contienen hasta un 10 % del potasio total, y pueden liberarlo a medio plazo. Y las formas minerales (que contienen la mayor parte del elemento) son una reserva de potasio a largo plazo.

Es un elemento indispensable para la vida, y en la planta realiza funciones de activación enzimática, transporte a través de membranas, neutralización de aniones y regulador osmótico. Junto con el nitrógeno y el fósforo es uno de los nutrientes absorbidos por las plantas en mayor cantidad.



Siembra directa

Parte del potasio aportado mediante fertilizantes puede ser "retrogradado", es decir convertido en formas no directamente asimilables que son las más abundantes en el suelo, y esto ocurre principalmente en suelos arcillosos; por ello resulta difícil conocer que parte del potasio asimilable puede ser convertido en formas no directamente asimilables, que son las más abundantes en el suelo. **Por tal motivo, resulta difícil estimar, qué parte del potasio aportado mediante fertilizantes, será utilizado por las plantas.**

Existen diversos métodos de determinación de potasio asimilable. Uno de los más generalizados es la extracción por medio de una solución de acetato amónico (a pH = 7). El amonio contenido en esa sal "desplaza" al ión potasio de las sedes de cambio, y de ese modo puede ser determinado junto con el que ya estaba en disolución. **La interpretación de los resultados analíticos tiene en cuenta el grado de exigencia del cultivo y el tipo de textura del suelo.**

Nota: Para transformar cifras de K a K₂O: Dividir por 0,83

Transformar cifras de K₂O a K: Multiplicar por 0,83

Es importante también considerar su relación con la capacidad total de intercambio catiónico, ya que el grado de ocupación de las sedes de cambio es un buen indicador de si la presencia relativa es adecuada (Tabla 9).

Tabla 9. Contenidos en potasio, método del acetato amónico (mg/kg).

Grupos de suelos	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
	Pastos, cereales, cultivos de secano:				
Texturas gruesasI	20	21 - 40	41 - 80	81 - 160	161
Texturas mediasII	30	31 - 60	61 - 120	121 - 240	241
Texturas finasIII	40	41 - 80	81 - 160	161 - 320	321
	Remolacha forrajera, patatas tardías, maíz regadío				
Texturas gruesasI	30	31 - 60	61 - 120	121 - 240	241
Texturas mediasII	45	46 - 90	91 - 180	181 - 360	361
Texturas finasIII	60	61 - 120	121 - 240	241 - 480	481
	Remolacha azucarera, patatas tempranas, frutales				
Texturas gruesasI	40	41 - 80	81 - 160	161 - 320	321
Texturas mediasII	60	61 - 120	121 - 240	241 - 480	481
Texturas finasIII	80	81 - 160	161 - 320	321 - 640	641
	Cultivos intensivos de hortalizas y ornamentales				
Texturas gruesasI	50	51 - 100	101 - 200	201 - 400	400
Texturas mediasII	75	76 - 150	151 - 300	301 - 600	600
Texturas finasIII	100	101 - 200	201 - 400	401 - 800	800

López Ritas^(m)

Tabla 10. Potasio intercambiable - CIC total

% de la C.I.C	Contenido
< 2	Bajo e inadecuado
2 - 12	Adecuado
> 12	Excesivo

Tabla 11. Magnesio intercambiable - CIC total

% de la C.I.C	Contenido
< 10	Bajo e inadecuado
10 - 20	Adecuado
20 - 30	Para cultivos muy exigentes
> 50	Excesivo

I.6.7. Magnesio asimilable.

Expresa el contenido en magnesio "asimilable" del suelo. Se considera que niveles por encima de 1 meq/100 g suelo son adecuados; debe tenerse en cuenta también la relación con la capacidad total de intercambio y con el potasio.

Contenidos altos de calcio, potasio y nitrógeno amoniacal propician o agravan la carencia de magnesio (ver **tabla 11**).



Elaboración de pasta saturada en análisis de suelo.

I.6.8. Microelementos :

Este concepto comprende a todos los nutrientes que son demandados por las plantas en muy pequeñas cantidades (del orden de algunas decenas de gramos por hectárea). Los más importantes son el Hierro, Cobre, Manganeso y Cinc.

Se extraen con DTPA (ácido dietileno triamina penta acético) y se expresan en mg/kg sobre suelo seco. (A pesar de que los seres vivos los necesitan en pequeñas cantidades, los contenidos de oligoelementos en suelo deben de estar en unos niveles que garanticen su absorción por las plantas pero sin excederse para que no se produzca fitotoxicidad.)

Tabla 12. Microelementos (mg/kg)

Elemento	Nivel deseable	Nivel de toxicidad
Hierro (Fe)	> 5	Sin definir
Manganeso (Mn)	> 1	Sin definir
Cobre (Cu)	> 0,2	Sin definir
Cinc (Zn)	> 0,8	Sin definir

I.7. Propiedades relacionadas con los componentes orgánicos del suelo.

La materia orgánica del suelo es un concepto amplio que agrupa tanto a la materia viva como a la materia muerta fresca, y la materia orgánica “estable” o “humus” del suelo. Dado que esta última es mayoritaria se suele usar el término “materia orgánica” como sinónimo de humus. La materia orgánica es el otro constituyente de los sólidos del suelo, junto con la materia mineral, y aunque en general su presencia es muy inferior a la materia mineral (de un 1 a un 6 % en peso, salvo en suelos específicos denominados "orgánicos") su participación en las propiedades del suelo es esencial.

I.7.1. Materia orgánica

El componente esencial de la materia orgánica es el carbono (C), **por lo que es muy común hablar también de carbono orgánico para referirse a la materia orgánica.** Y de hecho cuando se determina la materia orgánica lo que se mide en muchos casos es el carbono orgánico.

Como la materia orgánica del suelo contiene, como media, un 58 % de carbono orgánico, la transformación de uno a otro valor se hace mediante el factor 1.72, de forma que:

$$\text{materia orgánica} = 1,72 * \text{C orgánico}$$

La materia orgánica favorece las propiedades físicas del suelo y supone un almacén de nutrientes que se liberan lenta y gradualmente. Tanto la destrucción como la acumulación de materia orgánica en el suelo son procesos muy lentos.

No existe un criterio objetivo para interpretación del nivel de materia orgánica. **Proponemos como niveles medios aceptables entre 1,5 y 2,5 % para secano y de 2 a 3 % para regadío.** En la *tabla 13* se proponen algunos niveles orientativos para interpretar el nivel de materia orgánica de los suelos de regadío.

Las aportaciones de materia orgánica tienen un efecto muy positivo sobre las propiedades del suelo y la nutrición vegetal. Su descomposición da lugar al "humus" o materia orgánica estable del suelo; estas sustancias incrementan la capacidad de retención de agua y de nutrientes del suelo y favorecen su estructuración, que es la responsable de una correcta aireación y circulación de agua en el suelo; y, por otra parte, el humus constituye un almacén de nutrientes de liberación lenta y favorece la asimilación de nutrientes presentes en el suelo o aportados con los abonos.

Tabla 13. Niveles de materia orgánica en regadío

Riqueza en materia orgánica	Calificación del suelo
< 1,0 %	Muy Pobre
1,0 - 2,0 %	Pobre
2,0 - 2,5 %	Normal
2,5 - 3,5 %	Rico
> 3,5 %	Muy Rico

La composición química del humus es muy compleja y puede dividirse en diferentes fracciones (huminas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos) ; todas esas sustancias se caracterizan por su coloración oscura que transmiten a los horizontes del suelo en que están presentes en mayor concentración (generalmente los más superficiales).

Toda la materia orgánica presente en el suelo y sobre el suelo (incluida la biomasa viva) forma parte de un mismo ciclo que evoluciona lentamente, sobre todo en la parte que ocurre dentro del suelo, y que asegura el reciclaje de todos los nutrientes implicados. Cuando aportamos sustancias orgánicas al suelo, las incorporamos a ese mismo ciclo.

La materia orgánica madura (humus) junto con la arcilla del suelo (ambas, sustancias coloidales, es decir que tienen cargas libres) se asocian para formar el complejo arcillo - húmico. Este complejo, conocido también como "complejo de cambio" domina la capacidad de intercambio de iones en el suelo (ver apartado I.6.2.), fundamento de la fertilidad, tanto química como física, del suelo.

Además de contribuir a la fertilidad química como "captador de iones", la materia orgánica al mineralizarse, libera paulatinamente los elementos nutritivos necesarios para las plantas.



Volteo para aireación en compostaje de estiércoles.

I.7.2. Equilibrio entre carbono y nitrógeno en la materia orgánica. Relación C/N.

Ya hemos comentado que **la materia orgánica del suelo contiene aproximadamente un 58 % de carbono orgánico**. Ese es el principal componente de la materia orgánica, el segundo es el nitrógeno, del que contiene aproximadamente un 5 %. **La relación entre ambos elementos, tanto en la materia orgánica existente como en la que se aporta al suelo, es muy importante, pues determina su velocidad de mineralización, y en consecuencia, si esos aportes de materia orgánica "cederán" (mineralizarán) inicialmente nitrógeno, o por el contrario requerirá nitrógeno (del propio suelo, o externo) en las primeras etapas de su descomposición** (Ver el punto II.4.4. y las referencias francesas).

La materia orgánica de los suelos cultivados tiene normalmente una relación carbono/nitrógeno en torno a 10. En estas condiciones se produce liberación de nitrógeno por mineralización de la materia orgánica, la cantidad de nitrógeno puesto anualmente a disposición de la planta dependerá del contenido de materia orgánica en el suelo.

Como se ha comentado en el apartado sobre la materia orgánica, **el carbono orgánico se puede calcular dividiendo la materia orgánica por 1,72, y el nitrógeno debe analizarse aparte (nitrógeno total). Dividiendo el primero por el segundo se obtiene la relación carbono/nitrógeno (C/N) que puede interpretarse en la *tabla 14*.**

Tabla 14. Interpretación de la relación Carbono/Nitrógeno de los suelos

Relación C/N	Calificativo
<10	Correcta
10 - 12	Ligeramente alta
12 - 15	Alta
> 15	Muy alta

Guigou - 1.989

I.7.3. Ciclo de la materia orgánica

La materia orgánica es verdaderamente la base de la vida microbiana en el suelo. Es a la vez, el soporte y el alimento de la mayor parte de los organismos del suelo, que la hacen evolucionar, en sucesivas etapas, del estado de materia orgánica fresca (muerta sin descomponer), al estado mineral, forma en que servirá nuevamente de alimento a la planta.

Este es el ciclo de la materia orgánica, que tiene algunas de las etapas más importantes dentro del suelo. Se pueden distinguir varias fases, las esenciales son:

- La mineralización rápida.
- La humificación (humus fresco y humus estable)
- La mineralización lenta (nitrificación).

La **mineralización rápida**, o **primera mineralización**, es la primera oxidación de compuestos orgánicos, ocurre con más o menos rapidez dependiendo de las condiciones del medio (presencia de oxígeno, humedad y temperatura) y de la relación C/N de la materia orgánica de que se trate. Afecta a toda la materia orgánica que se incorpora al suelo, y origina dos productos:

- moléculas minerales sencillas (NH_4 , NO_3 , K, Mg.....)
- moléculas orgánicas que han soportado esta primera oxidación. Es el llamado "humus joven" o precursores del humus.



Restos vegetales en descomposición.

La **humificación** genera el humus propiamente dicho, o materia orgánica estable. Ocurre por maduración del humus joven en la que se incorporan también algunas sustancias minerales.

En esta fase tienen gran importancia los microorganismos del suelo, sobre todo las bacterias y hongos, pero también las lombrices y otra fauna del suelo.

La **segunda mineralización**, o **mineralización lenta**, es similar a la primera pero, al producirse a partir de moléculas mucho más resistentes, ocurre a un ritmo mucho más lento, y sólo afecta a la materia orgánica estable, o humus. El resultado son moléculas minerales sencillas que se incorporan a la solución del suelo o a las sedes de cambio. El ritmo de esta mineralización es del orden de entre el 1 y el 2 % anual.

Las reservas de humus estabilizado se deben de conservar por aportaciones regulares de materias orgánicas que pasarán por la forma transitoria de humus fresco. Este último desempeña un papel muy útil en el suelo en unión del humus estabilizado; es muy favorable a la actividad microbiana del suelo.

El estudio de la evolución de la **relación Carbono/Nitrógeno (C/N)** de un suelo permite seguir el estado de descomposición de las materias vegetales. Es igual a 50 ó más, en las pajas de cereales sin descomponer; en el estiércol hecho, no pasa de 25, y tiende, según el grado de humificación, a un valor constante, que en los suelos de la zona templado - húmeda, está próximo a 10. Entonces nos encontramos en presencia de humus estable o estabilizado. En esta situación, el humus contiene aproximadamente un 5% de nitrógeno, y en la práctica, multiplicando por 20, el contenido de nitrógeno total del suelo, se tiene una buena aproximación de su contenido en humus.

Prácticamente se confunde a menudo los dos términos: mineralización y nitrificación, cuando la nitrificación propiamente dicha no es en realidad más que el último escalón de la mineralización, después de la amonización. Efectivamente, se pueden distinguir perfectamente dos etapas en la mineralización:

1. **Amonización:** transformación del nitrógeno orgánico en nitrógeno amoniacal

Esta fermentación amoniacal se debe a la actividad de mohos, y sobre todo de bacterias aerobias que necesitan un medio neutro o básico. En un medio demasiado básico (alcalino), o demasiado ácido, la amonización se hace considerablemente más lenta.

2. **Nitrificación:** transformación del nitrógeno amoniacal en nitrógeno nítrico

Es la etapa final de la descomposición de la materia orgánica. Se sabe que las plantas pueden absorber directamente el nitrógeno amoniacal, pero en la mayoría de los casos, este amoníaco se transforma rápidamente en ácido nítrico. El ácido nítrico, combinándose con las bases del suelo, y principalmente con calcio, da nitratos.

Este fenómeno, de capital importancia para la agricultura, se llama nitrificación, y también a su vez, tendría dos etapas: una primera de oxidación, donde el amoníaco pasa a ácido nitroso (y las sales amoniacales, pasarían a nitritos). Y una segunda, donde los nitritos o el ácido nitroso, pasan a nitratos o a ácido nítrico, respectivamente.

I.8. Agua, o "solución del suelo".

Propiedades que más tienen que ver con la solución del suelo

Se conoce como "solución del suelo" la humedad contenida entre las partículas del suelo (en los poros) y que es indispensable para la vida vegetal. El agua es necesaria como "alimento" (**para producir 1 kg de grano de trigo la planta requiere unos 700 l de agua**) y como vehículo para los nutrientes. Algunas propiedades relacionadas son las siguientes:

I.8.1. Capacidad de Retención de Humedad:

La determinación de la retención de agua a diferentes potenciales (energías con que es retenida) se utiliza con el fin de conocer la disponibilidad que tienen las plantas y en consecuencia la que un determinado material (suelo, turba, sustrato...) es capaz de absorber.

Como límite "superior" de disponibilidad se considera el potencial 1/3 de atmósfera (asimilable a la "Capacidad de Campo"); se considera que el agua retenida con ésta energía está en equilibrio con la fuerza de la gravedad y permanece retenida en forma estable, a disposición de la planta. El agua retenida con una energía menor (en términos absolutos), aún siendo en realidad asimilable por la planta, será desalojada por drenaje antes de ser absorbida.

La desaparición de esa parte del agua poco retenida, por drenaje, es además favorable para una adecuada aireación del suelo o sustrato, que de otro modo llegaría a producir asfixia. Este volumen suele corresponder a la macroporosidad del suelo, es decir a los poros de mayor tamaño.

Como límite "inferior" de disponibilidad se considera el potencial de 15 atmósferas (asimilable al "Punto de Marchitez"), que es la máxima energía de succión que las raíces de las plantas son capaces de desarrollar. Aunque existen importantes diferencias entre especies respecto a éste potencial máximo; de una forma general, se considera que para energías de retención superiores (en valor absoluto) el agua no será tomada por las plantas, aún menos si la solución es salina; y por tanto ese agua no es "útil".

La diferencia entre ambos puntos es lo que consideramos "agua útil", y es la que está a disposición de las plantas. Dentro del volumen total el agua es tanto más disponible cuanto menor sea el potencial a que está retenida.

I.8.2. Reacción del suelo (pH):

Se determina en extracto acuoso de relación 1:2,5 (una parte suelo y dos partes y media de agua). **Mide el grado de acidez o basicidad de un suelo.** Un suelo con pH = 7 es neutro, por encima de este valor es básico, y por debajo es ácido. En el entorno geográfico del Valle del Ebro, prácticamente todos los suelos son básicos.

En presencia de carbonatos, el pH se sitúa siempre en torno a valores de 8 ó superiores. Un pH alto (superior a 8) dificulta la asimilación de algunos nutrientes por la planta, en particular de la mayoría de microelementos pudiendo inducir carencias, y por otra parte, frena la actividad biológica. **Cifras superiores a 8,5 puede indicar problemas graves de sodicidad. A partir de pH 8.5 el suelo comienza a considerarse "alcalino" que es un estado extremo de reacción básica.**

Tabla 15. Interpretación del pH según criterios USDA

Valor del pH	Calificativo
6,0 - 6,6	Ligeramente ácido
6,6 - 7,3	Neutro
7,3 - 7,8	Medianamente básico
7,8 - 8,5	Moderadamente básico
8,5 - 9,0	Ligeramente alcalino

Porta - 1.986

Tabla 16. Prueba previa de salinidad

Cond. Eléc. 1:5	Comentario
< 0,20	Dentro de niveles correctos
0,20 - 0,30	Conductividad alta
> 0,30 solubles	Realizar estudio de sal

I.8.3. Prueba previa de salinidad (C.E. (1/5)):

La prueba previa de salinidad es una determinación sencilla y rápida para obtener una aproximación sobre la presencia de sales en el suelo. Como en otras determinaciones relacionadas con la salinidad lo que se mide es la "Conductividad" eléctrica, es decir la mayor o menor facilidad con que la electricidad atraviesa un extracto acuoso de ese suelo (el agua es buena conductora de la electricidad en la medida que contiene iones).

Se determina en extracto acuoso de relación 1:5 (una parte de suelo, cinco partes de agua, en peso), y se expresa en dS/m (decisiemens/metro, que es equivalente a la unidad antigua milimoho/cm). Indica si el contenido de sales solubles en el suelo es excesivamente alto y puede llegar a afectar al cultivo. En caso de que el resultado sea alto hay que proceder a un análisis detallado de salinidad.

Por encima de 0,2 dS/m se considera que la conductividad es elevada, y si el resultado es superior a 0,3 dS/m, es aconsejable realizar el estudio de sales solubles para confirmar posibles problemas de salinidad. Por sí misma, esta prueba no tiene valor definitivo, ya que un resultado alto, o incluso muy alto, no es únicamente indicativo de problemas de salinidad (por ejemplo, un suelo con mucho yeso otorgará un valor de 1 dS/m o más, sin necesidad de que haya sales solubles). Por ello requiere el complemento del estudio de salinidad.



Muestras de suelo preparadas para su análisis

I.8.4. Salinidad:

El estudio de salinidad incluye una serie de determinaciones que se realizan cuando existen indicios de que este problema pueda afectar al cultivo (cuando se obtienen resultados altos en la prueba previa de salinidad), y que permiten conocer qué sales, y en qué cantidad se presentan en el suelo en condiciones de cultivo.

1.8.5. Conductividad eléctrica del extracto saturado (C.E.e):

Es el indicador del grado de salinidad, de la cantidad total de sales solubles presentes en la solución del suelo estando éste, saturado de agua. Permite conocer el efecto que producirá la salinidad sobre el cultivo.

Se expresa, como en el caso de la prueba previa de salinidad, en dS/m a 25° C. En las *tablas 17, 18 y 19*, se presentan la interpretación de resultados:

Tabla 17. Clasificación de suelos según su salinidad

Conductividad eléctrica 1:5 (prueba previa de salinidad)	C.E.e (dS/m)	Calificativo
< 0,35	< 2	No salino
0,35 - 0,65	2 - 4	Ligeramente salino
0,65 - 1,15	4 - 8	Salino
> 1,15	8 - 16	Muy salino

Cros 1983

Tabla 18. Conductividad eléctrica del extracto de pasta saturada

C.E.e (dS/m)	Interpretación - calificación
< 2	No hay problemas de salinidad
2 - 4	La salinidad comienza a reducir los rendimientos de cultivos sensibles. Necesario adoptar medidas
> 4	El suelo se considera SALINO
4 - 8	Reducción generalizada de cosechas más ó menos acusada según cultivo, algunos pueden morir
8 - 16	Solo cultivos tolerantes consiguen desarrollarse
> 16	Pocas plantas sobreviven. Desalinización muy difícil.

Tabla 19. Tolerancia de los cultivos a la salinidad del suelo (dS/m)

Cultivos	Disminución rendimiento				Muerte
	0%	10%	25%	50%	
Maíz	1,7	2,5	3,8	5,9	10,0
Trigo	6,0	7,4	9,5	13,0	20,0
Cebada	8,0	10,0	13,0	13,0	28,0
Alfalfa	2,0	3,4	5,4	8,8	15,5
Sorgo	4,0	5,1	7,2	11,0	18,0
Veza	3,0	3,9	5,3	7,6	12,0
Manzano	1,7	2,3	3,3	4,8	8,0
Melocotonero	1,7	2,2	2,9	4,1	6,5
Albaricoquero	1,6	2,0	2,6	3,7	6,0
Peral	1,7	2,3	3,3	4,8	8,0
Ciruelo	1,5	2,1	2,9	4,3	7,0
Viña	1,5	2,5	4,1	6,7	12,0
Pepino	2,5	3,3	4,4	6,3	10,0
Lechuga	1,3	2,1	3,2	5,2	9,0
Patata	1,7	2,5	3,8	5,9	10,0
Pimiento	1,5	2,2	3,3	5,1	8,5
Cebolla	1,2	1,8	2,8	4,3	7,5
Judía	1,0	1,5	2,3	3,6	6,5

Ayers - 1976

I.8.6. Humedad de saturación:

Es la cantidad de agua que ha admitido el suelo para alcanzar su saturación; se expresa en porcentaje en peso. Esta muy relacionada con la textura; de una forma aproximada, un suelo arenoso retendrá menos del 30 % de agua, las texturas intermedias entre un 30 y un 50 %, y más del 50 % las texturas arcillosas.

I.8.7. Carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio y sodio:

La determinación de estos elementos en la solución extraída del suelo saturado permite conocer el tipo de sales presentes. La más frecuente en suelos salinos es el cloruro sódico (sal común).

Especial importancia tiene la presencia de sales de sodio y su relación frente a las de calcio y magnesio denominada **S.A.R. (relación de adsorción de sodio)**. Un contenido alto de sodio resulta muy desfavorable para las propiedades físicas del suelo propiciando el encharcamiento y el apelmazamiento del suelo lo que dificulta enormemente la recuperación de los suelos salinos.

El S.A.R. se calcula a partir de los contenidos en la solución del suelo, de calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na) expresado en meq/l, según la fórmula:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})/2}}$$

Los niveles para interpretación del S.A.R. están recogidos en la **tabla 20**.

Tabla 20. Conductividad eléctrica del extracto de pasta saturada

S.A.R	Interpretación - calificación
< 8	No hay problemas de sodicidad
8 - 13	Inicio de los problemas de sodicidad
> 13	Suelo SODICO. Si la Cond.Eléctrica del extracto de pasta saturada es >4 dS/m es un suelo SALINO - SODICO
13 - 23	La sodicidad afecta a la permeabilidad del suelo
> 23	Propiedades físicas deterioradas. Recuperación muy costosa

I.9. Muestreo de suelo

Al muestrear una superficie de terreno intentamos representar un gran volumen de suelo con una muestra de tamaño muy reducido. Una correcta metodología de muestreo hará que los resultados del análisis sean realmente extensibles a la totalidad del terreno representado. Cualquier error en la toma de la muestra condiciona o invalida completamente todos los trabajos posteriores realizados sobre la misma y la interpretación de los resultados obtenidos. El muestreo es la principal causa de error en los análisis de suelo.

La "**unidad o área de muestreo**" es la superficie de terreno que queremos representar con cada conjunto de muestras de diferentes profundidades. Será lo más uniforme posible en cuanto a suelo y cultivo.

La superficie a muestrear deberá dividirse en zonas homogéneas en cuanto a su relieve, su aspecto general, el tipo de cultivo y la evolución del mismo (por ejemplo se separaran las zonas de ladera de las llanas, las pedregosas de las que no lo son, las que muestren un desarrollo deficiente del cultivo de las que manifiesten un desarrollo normal y, por supuesto, el secano del regadío. Cada una de estas zonas será un área de muestreo cuya extensión máxima, en cualquier caso, no superará las 4 ha.

La forma en que han de tomarse las muestras depende de la información que se pretenda obtener con los análisis. Básicamente debemos diferenciar las muestras "simples" o "puntuales", tomadas en un solo punto, y las muestras "compuestas" que recogen suelo de varios puntos. Esta última es preferible cuando se quiere obtener una caracterización media de la parcela o "unidad de muestreo".

Es muy importante realizar un croquis con las áreas de muestreo dentro de la superficie total y la referencia o nombre asignado a cada una de ellas que conviene que sea alusivo a su situación.



Extracción de una muestra de suelo.

I.9.1. Información de la muestra

Es muy importante, para una adecuada interpretación y aprovechamiento de los resultados, proporcionar al laboratorio toda la información posible sobre las muestras y el lugar en que fueron tomadas. Para ello se rellenará una ficha de datos (proporcionada por el Laboratorio) por cada unidad de muestreo o perfil muestreado puesto que la información que se solicita es común para todas las muestras tomadas en un mismo punto a diferentes profundidades.

Recomendamos además, registrar la relación de muestras tomadas con los lugares a que corresponden. La referencia de la muestra que se haga constar en la ficha será idéntica a la que figure en la bolsa de la muestra correspondiente. En la profundidad de muestreo se indicaran el nivel superior y el nivel inferior desde la superficie entre los cuales se tomó la muestra.

I.9.2. Momento y periodicidad del muestreo de suelo.

El momento de la toma de muestra depende de la finalidad del análisis a realizar. **Si el objetivo es el reconocimiento general previo al abonado debe preverse el tiempo necesario para disponer de los resultados, teniendo en cuenta un tiempo medio de análisis de unos 30 días.**

Si se quiere para ajustar el aporte nitrogenado en cobertera, y la determinación fundamental, por tanto, es el nitrógeno en forma de nitratos, **la muestra debe tomarse poco antes de la cobertera** (los nitratos son muy móviles y su contenido podría cambiar), advirtiéndolo al laboratorio de la urgencia en disponer de esa determinación concreta.

El muestreo previo a una plantación frutal debe hacerse con un año de antelación. Esto permitirá la toma de decisiones tan importantes como a la selección del patrón o las correcciones a efectuar sobre el suelo, preparación del sistema de riego, etc.

Para un seguimiento de la fertilidad es suficiente con repetir el análisis de suelo cada tres años conservando un historial del abonado practicado durante este tiempo. Es recomendable realizar siempre el muestreo hacia la misma época y, en todo caso separarlo un mínimo de 2 meses del último abonado.

I.9.3. Resumen de propiedades del suelo que deben reconocerse y periodicidad

Deben diferenciarse previamente las "unidades de suelo" involucradas. Salvo que se justifique adecuadamente (por homogeneidad del suelo de toda la parcela), se aceptará un máximo de 4 has en una misma "unidad de suelo". En cada una de estas unidades se realizarán las operaciones indicadas en las tablas nº 21 y nº 22, según se trate de cultivos herbáceos o leñosos respectivamente, con la periodicidad que se propone.

En algunos casos el muestreo de todas las parcelas de la explotación puede resultar demasiado laborioso, y en muchos casos innecesario. Si la explotación tiene numerosas parcelas, lo más práctico es elegir algunas de ellas que sean representativas de las demás, y efectuar sólo en éstas el seguimiento.



Aplicación de purines con máquina de "tubos colgantes"

Tabla 21. Operaciones de reconocimiento del suelo a realizar en cada "unidad de muestreo".

Cultivos HERBACEOS

Reconocimiento inicial	Periódicamente (Cada 3-4 años)	Casos específicos
<p>Muestreo para fertilidad del suelo: Muestreo de 0 a 30 cm. de profundidad. Muestra compuesta, procedente de un mínimo de 5 puntos de la "unidad de muestreo".</p> <p>Si hay algún problema específico puede ser necesario estudiar todo el perfil de suelo.</p>	<p>Muestreo para fertilidad del suelo: Muestreo de 0 a 30 cm. de profundidad. Muestra compuesta, procedente de un mínimo de 5 puntos de la "unidad de muestreo".</p>	<p>Para el abonado nitrogenado se recomienda el muestreo específico de la zona de raíces (bulbo mojado, 0 - 30 cm, y 30 - 60 cm) en varios puntos, poco antes de las máximas demandas de nitrógeno (salida de invierno):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analizar nitrógeno presente en forma de nitratos.
<p>Determinación de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Textura. - Retención de humedad, a capacidad de campo y a punto de marchitez (si es para regadío). - Carbonatos. - Materia orgánica. - pH. - Prueba previa de salinidad y, en caso necesario, estudio de sales solubles. - Fósforo, potasio y magnesio asimilables. 	<p>Determinación de los siguientes parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prueba previa de salinidad, y en caso necesario análisis de sales solubles (según el manejo). - Fósforo asimilable. - Potasio y magnesio asimilables. - Materia orgánica (cada dos muestreos, 6 - 8 años). 	<p>En caso de detectarse problemas se realizará muestreo específico de esa zona afectada. El análisis indicado dependerá de la sintomatología observada. Seguir la evolución del nivel de la capa freática si existe (profundidad).</p>

Tabla 22. Operaciones de reconocimiento del suelo a realizar en cada "unidad de muestreo".

Cultivos LEÑOSOS

Reconocimiento inicial antes de una plantación (Preferentemente año anterior)	Periódicamente (Cada 3 - 4 años en el inicio del invierno)	Casos específicos
<p>Estudio completo del perfil de suelo, constatando al menos las siguientes propiedades:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Profundidad de suelo - Drenaje general del perfil. - Existencia de capa freática 	<p>Muestreo para fertilidad del suelo: Se requiere muestreo de 0 a 30 cm. y de 30 a 60 cm. de profundidad, en dos muestras separadas, procedentes de un mínimo de 5 puntos de la "unidad de muestreo".</p> <p>Si se practica fertirrigación, muestrear solo el interior de "bulbos mojados".</p>	<p>Para el abonado nitrogenado se recomienda el muestreo específico de la zona de raíces (bulbo mojado, 0 - 30 cm, y 30 - 60 cm) en varios puntos, poco antes de las máximas demandas de nitrógeno (salida de invierno):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analizar nitrógeno presente en forma de nitratos.
<p>Muestreo del perfil, preferentemente una muestra por horizonte o capa diferenciada, o al menos cada 30 cm. hasta los 90 cm. y efectuar las determinaciones de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Textura. - Retención de humedad, a capacidad de campo y a punto de marchitez. - Carbonatos y caliza activa. - Materia orgánica. - pH. - Prueba previa de salinidad y, en caso necesario, estudio de sales solubles. - Fósforo, potasio y magnesio asimilables. 	<p>Determinaciones en ambas muestras de los siguientes parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prueba previa de salinidad, y en caso necesario análisis de sales solubles. - Materia orgánica. - Fósforo asimilable. - Potasio y magnesio asimilables. 	<p>En caso de detectarse problemas en una parte de la plantación, se realizará muestreo específico de esa zona afectada. El análisis indicado dependerá de la sintomatología observada. Complementar con análisis de material vegetal.</p>
<p>Si en el perfil aparece capa freática a una profundidad menor de 150 cm:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Medir la profundidad "estabilizada", profundidad a la superficie del agua después de 24 horas. - Muestrearla y realizar análisis, comprendiendo salinidad total y sales solubles, y el contenido de nutrientes. 		<p>Seguir la evolución del nivel de la capa freática (profundidad).</p>

I.10. Otras herramientas analíticas de interés.

Aunque la publicación se ha centrado en el conocimiento del suelo puesto que es el actor principal en el suministro de la mayor parte de nutrientes a las plantas, hay otras herramientas analíticas que pueden resultar muy interesantes, incluso esenciales, en la planificación del abonado:

- **Análisis de planta.** Comúnmente denominado análisis foliar tiene especial aplicación en el caso de cultivos leñosos, pero también es utilizable en herbáceos. Proporciona una valiosa información sobre los nutrientes que realmente llegan a la planta y permite diagnosticar o confirmar carencias o toxicidad por algún elemento. En algunos casos la información no permite ajustar el abonado de la campaña en curso, pero siempre es útil para confirmar o modificar el plan de abonado a medio plazo.
- **Análisis de agua de riego.**
- **Análisis de sustancias fertilizantes.**



Síntomas de carencia nutricional (P en la vid)

I.10.1. Precios de analíticas

Como orientación sobre el coste que pueden representar los análisis involucrados en la fertilización incluimos en la **tabla 23** los precios públicos de las determinaciones más habituales. Estos precios pueden sufrir actualizaciones anuales.

Tabla 23 Precios de las determinaciones analíticas más habituales en el Laboratorio Agroalimentario (Gobierno de Aragón, Dpto Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente), sujetos a modificaciones anuales

Grupo	Determinaciones incluidas	Precio (€)
Textura	Arena, Limo grueso, Limo fino, arcilla	12.50
Fertilidad	pH, Prueba previa de salinidad, materia orgánica, fósforo, potasio y magnesio asimilables	37.50
Carbonatos y caliza activa		21.20
Nitratos		12.50
Microelementos	Hierro, cobre, manganeso y cinc	12.50
Abono mineral tipo	Nitrógeno total, fósforo y potasio asimilables	33.70
Abono orgánico tipo	Humedad, Materia orgánica, Nitrógeno, fósforo y potasio totales	58.70
Agua de riego	Conductividad eléctrica, Bicarbonatos, Cloruros, Sulfatos, Nitratos, Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, pH, SAR,	
Micronutrientes en aguas	Hierro, cobre, manganeso y cinc	12.50
Material Vegetal	Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Sodio, hierro, cobre, manganeo, cinc.	53.50

Nota: En todos los casos debe añadirse el IVA (19%). Precios públicos establecidos por Orden del 3 de marzo de 2011 del Gobierno de Aragón, por la que se establecen y regulan los precios públicos relativos a la prestación de determinados servicios del Laboratorio Agroalimentario en materia de tecnología agrícola, ganadera y agroalimentaria.

Así por ejemplo, un análisis como el que proponemos por primera vez (si no se ha hecho nunca anteriormente) para conocer en qué situación se encuentra una determinada parcela: textura+fertilidad+carbonatos y caliza activa+nitratos, costaría, en el momento presente (2011):

$$12,5 + 37,50 + 21,20 + 12,50 = 83,70 \text{ €} + \text{IVA} = 99,60 \text{ €}$$

Los segundos análisis, 3 ó 4 años después, para comprobar la evolución de los nutrientes, ya podríamos reducirlo a fertilidad+nitratos= 37,50 + 12,50 = 50 €+ IVA = 59,50 €

I.11. Los fertilizantes

Puede definirse como **fertilizante**, también conocido como “abono”, cualquier producto utilizable en la agricultura para aportar uno o varios elementos requeridos como nutrientes por las plantas (alguno de los 16 elementos que requieren todas las especies vegetales, o alguno de los requeridos sólo por algunas, hasta 21 en total). El R.D. 824/2005, norma fundamental para los fertilizantes nacionales (no CE), define fertilizante como "**Producto cuya función principal es proporcionar elementos nutrientes a las plantas**".

Existe una gran diversidad de sustancias que pueden conseguir el propósito de fertilizar. Diversidad que se amplía aún más al considerar los productos "afines", a los que se refiere el R.D. 824/2005, entre los que cabe diferenciar dos grandes grupos:

- **Productos especiales:** que son capaces de mejorar el comportamiento de las plantas (a menudo formas especiales de nutrientes) al aplicarlos sobre las plantas o al suelo, como ácidos húmicos, quelatos (suelo), aminoácidos, inhibidores de la nitrificación (suelo), etc.,
- **Enmiendas:** productos que aplicados al suelo pueden mejorar su fertilidad (y no por su contenido en nutrientes, o no sólo por eso), como las enmiendas calizas (para neutralizar suelos ácidos), las enmiendas orgánicas (para mejorar suelos pobres, muy arenosos, muy arcillosos, salinizados... etc.), o el yeso (para corregir químicamente suelos sódicos).

Todos ellos se agrupan como "**fertilizantes y afines**", en el sentido de que todos persiguen mejorar el rendimiento de los cultivos o la calidad de las cosechas, directa o indirectamente, a través de la nutrición. Y es común utilizar una definición de fertilizante más amplia, para abarcarlos a todos.

Clasificación:

Dentro de los fertilizantes propiamente dichos puede establecerse una clasificación según sea el origen y la forma en que se encuentran los nutrientes que contienen:

- Fertilizante **mineral:** abono obtenido mediante extracción o mediante procedimientos industriales de carácter físico o químico, cuyos nutrientes declarados se presentan en forma mineral.

Atendiendo a los nutrientes que suministran se subdividen (la subdivisión es la que hace el RD 824/2005, pero también es bastante lógica)

- * Fertilizante o abono mineral **simple:** producto con un contenido declarable en uno solo de los macroelementos siguientes: nitrógeno, fósforo o potasio.

Nitrogenados

Fosfatados

Potásicos

- * Fertilizante o abono mineral **compuesto:** producto con un contenido declarable de más de uno de los macroelementos siguientes: nitrógeno, fósforo o potasio.

Tradicionalmente se han diferenciado fertilizantes **compuestos**, que proceden de mezcla física, sin reacción química entre los componentes,

y los fertilizantes **complejos:** obtenidos mediante reacción química entre las materias primas utilizadas. (Cada grano es igual que el compañero).

- * Adicionalmente tenemos otros subgrupos para:

Fertilizantes inorgánicos que aportan uno o varios nutrientes secundarios

Fertilizantes inorgánicos que aportan uno o varios micronutrientes

- Fertilizante o abono **orgánico:** el que procediendo de residuos animales o vegetales, contenga los porcentajes mínimos de materia orgánica y nutrientes, que para ellos se determinen en las listas de productos que sean publicadas por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Por ejemplo, aminoácidos obtenidos por hidrólisis de proteínas.

- * Se agrupan también según los macronutrientes principales que aportan (uno solo: nitrogenados, fosfatados o potásicos, binarios o ternarios)
- Fertilizante o abono **órgano - mineral**: producto obtenido por mezcla o combinación de abonos minerales y orgánicos.
- * Nuevamente se subdividen en función del nutriente principal que aportan (uno o varios)

Fertilizantes minerales. Son fertilizantes procedentes de la explotación de depósitos geológicos o de yacimientos que son explotados de formas diversas, y los minerales obtenidos tratados física y a menudo químicamente

La expresión de resultados en etiqueta o en análisis se hace en forma de

- Fertilizantes orgánicos u órgano-minerales. Son los que tienen, al menos en parte componentes orgánicos. Proceden del tratamiento de diferentes fuentes orgánicas (a menudo subproductos), en ocasiones con adición de minerales

I. 11.1. Diseño de un Plan de Fertilización.

La fertilización de los cultivos debe entenderse más bien como una gestión de nutrientes a medio y largo plazo, en el conjunto de la explotación, que como una intervención puntual sobre un cultivo concreto. El que podemos denominar "Plan de Fertilización" contempla el conjunto de los suelos de la explotación y el conjunto de fuentes de nutrientes de que dispone, internas (restos de cosechas, estiércoles, purines, el propio suelo, etc.) o externas (fertilizantes adquiridos fuera de la explotación).

Para conseguir el máximo aprovechamiento de los nutrientes disponibles, es necesario disponer de un "Plan" preestablecido, aunque luego, lógicamente, se establezcan sobre él las modificaciones que resulten necesarias en función de la marcha del cultivo, la meteorología, el mercado, u otras circunstancias.

Tratando de sistematizar los pasos a seguir para elaborar el "Plan de Fertilización", válido para cualquier situación de cultivo, y cualquier tipo de fertilizante, los resumimos en la siguiente guía:

1. Análisis de suelo

Disponer de análisis de suelo de parcelas tipo de la explotación. Utilizar un análisis reciente, como máximo, de cuatro años atrás, de alguna parcela de suelo similar a la que se pretende fertilizar y con un historial de cultivo similar. Nos servirá para racionalizar los aportes de fósforo, potasio, y la disponibilidad de N a corto plazo.

Si no se dispone de un **análisis de suelo** (realizado en los 3 ó 4 años anteriores), encargar un análisis que contemple como mínimo:

- Granulometría (% de arena, limo y arcilla)
- pH
- prueba previa de salinidad (CE: 1:5)
- contenido de materia orgánica
- Fósforo Olsen, ppm
- Potasio (extracto acetato amónico), ppm
- Carbonatos totales

2. Cálculo de necesidades

Conocido el **cultivo** que vamos a establecer, los **rendimientos esperados**, y los **aportes indirectos** (restos de cosechas anteriores - si se incorporan al suelo o no -, y especialmente si fueron leguminosas, aportes posibles por el agua de riego, y por la mineralización de la m.o. del suelo.



Trabajos de laboratorio: pesada de muestras de suelo.

Un caso particular, de necesidades se presenta cuando se plantea una enmienda de materia orgánica (por ejemplo, previa a la instalación de cultivos leñosos, o de subir unos niveles muy bajos de m.o.), o de otros problemas como sales en los suelos, mejorar los niveles de P ó K, etc.

a) Descartados problemas de salinidad (con valores CE 1: 5 ds/m, a 25 °C, inferiores a 0,3) :

- . Clasificar el suelo por su textura (con el diagrama triangular USDA, del punto 1.5.2., si no se indica en el análisis..)
- . Conocer en la **tabla 8**, en función de la textura y tipo de cultivo al que vamos a abonar, **los niveles de referencia del fósforo**, y en consecuencia, **la cuantía razonable de las necesidades de este macronutriente**.
- . Conocer en la **tabla 9**, en función de la textura y tipo de cultivo que vamos a abonar, **los niveles de referencia del potasio**, y en consecuencia **la cuantía razonable de las necesidades de este macronutriente**.
- . Conocer la disponibilidad de N (NO_3^-) contenido en los 30 primeros cm del suelo, supuesta una densidad media de $1,3 \text{ kg/dm}^3$, si no se especifica en el análisis.

b) Definir los niveles razonables de cosecha

Para nuestro nivel medio de cosecha esperada: en el caso del regadío, las medias productivas pueden ser más estables; pero en los secanos, ante una mayor variabilidad, podemos definir nuestros aportes para una producción media (la de los últimos 6 - 7 años), y si fuera posible, ajustar esos aportes con aplicaciones en las coberteras (caso de los cereales de invierno),.

3. Aportes indirectos

Considerar los residuos de nutrientes dejados en el suelo por el cultivo anterior.

- Si fue una leguminosa, es importante el residuo de N (ver II.3.2.).
- Si el cultivo anterior tuvo un rendimiento, inferior al esperado, calcular la parte proporcional de nutrientes no utilizados.
- Agua de riego:

Si la parcela está en riego, es necesario conocer la cantidad de agua de riego a aportar, y la concentración de nutrientes en la misma, especialmente en el caso de nitratos (**Tabla 28**). También el de otras sales por su incidencia en las necesidades de lavado.

- Materia orgánica del suelo:

Puede ser un aporte muy importante de nitrógeno. Para tener una orientación hay que partir del análisis de suelo reciente. Ver **tablas 26 y 27**.

4. Parcelas de regadío. Riesgos de lavado

Si la parcela está en riego, resulta más expuesta al lavado de nutrientes. Si el riego es "a manta" ó por inundación, el lavado de nutrientes puede ser máximo (eficiencias de riego del 70% o menores), y si es "por goteo", sería mínimo (eficiencia superior al 90%). Tener esto en cuenta al calcular el aporte de nutrientes.

5. Procedencia de los nutrientes. ¿Qué fertilizante o fertilizantes vamos a utilizar?

Examinar la disponibilidad de diferentes fuentes de nutrientes en la explotación (estiércol, purín, otros subproductos orgánicos), y/o fertilizantes minerales. Conocer la riqueza en nutrientes y las propiedades de cada uno de ellos (ver parte II, para los subproductos orgánicos).

Hacer un análisis de coste/beneficio, en términos de nutrientes y costes de aplicación, que representa la utilización de cada uno de ellos.

6. Cálculo de dosis de productos fertilizantes

Calcular cómo pueden cubrirse las necesidades de nutrientes con las fuentes disponibles. Utilizar primero el máximo posible de las fuentes más económicas, que probablemente serán las fuentes orgánicas próximas a la explotación.

Completar las necesidades y ajustar los aportes, con fertilizantes minerales, sólo cuando sea necesario.

7. Prever los fraccionamientos, momentos y forma de aplicación

Dependiendo del cultivo, los fertilizantes, el riego, y el tipo de suelo, puede ser más interesante aplicar los nutrientes en fondo ó en cobertera. Es importante tener previsto el mejor momento de cada aplicación, y cómo se hará la distribución.

8. Validar o corregir el plan de abonado

El "Plan de abonado" se hace con carácter de previsión y debe estar sujeto a ajustes continuos:

- Según la marcha del cultivo, disponibilidad de fertilizantes, previsión de riego (disponibilidad de agua).
- Según los resultados analíticos (suelo, planta,...)

I.12. Varios ejemplos de análisis de suelos (secanos y regadíos) de Aragón.

Recogemos a título informativo, un análisis completo, que muestra un boletín emitido por el Laboratorio Agroambiental de nuestra Comunidad, con una hoja de los datos obtenidos en las determinaciones solicitadas, y otra/s con la interpretación y valoración de dichos datos.

Se incluyen además, dos cuadros, uno con tres ejemplos de análisis de suelos de secano (a dos profundidades: de 0 a 30 cm y de 30 a 60 cm) y otro con análisis de suelos de regadío



Esparceta o pipirigallo en floración.

Los ensayos marcados no están amparados por la acreditación de ENAC

BOLETIN DE ANALISIS

Muestra de (según declaración del cliente) Suelo.

Suelo.

Remitida por

Contendida en BOLSA DE PLÁSTICO CON PRECINTO

Observaciones

Fecha de inicio de los análisis: 15/06/2011

Fecha de finalización de los análisis: 11/07/2011

<u>DETERMINACIONES REALIZADAS</u>	<u>Método</u>	<u>Unidad</u>	<u>Resultado</u>
TEXTURA (CRITERIO U.S.D.A.) (Resultados sobre masa seca al aire)			
* Arena total (0,05 - 2 mm.)	SEDTCN. DIS.	% p/p	37,28
* Limo grueso (0,02 - 0,05 mm.)	SEDTCN. DIS.	% p/p	11,15
* Limo fino (0,002 - 0,02 mm.)	SEDTCN. DIS.	% p/p	30,53
* Arcilla (< 0,002 mm.)	SEDTCN. DIS.	% p/p	21,04
FERTILIDAD (Resultados expresados sobre masa seca al aire)			
pH al agua 1:2,5 por potenciometría	MT-SUE-007		9,2 ± 0,3 *
Prueba previa de salinidad (C.E. 1:5 a 25°C) por electrometría	Orden 05/12/75	dS/m	0,4 ± 0,06
Materia orgánica oxidable por espectrofotometría	MT-SUE-002	g/100g	1,08 ± 0,14
Fósforo soluble en bicarbonato sódico (Olsen) por espectrofot.	MT-SUE-003	mg/kg	12 ± 2
* Potasio (extracto acetato amónico)	ABS. ATÓMICA	mg/kg	70
CARBONATOS (Resultados sobre masa seca al aire)			
Carbonato cálcico equivalente por volumetría	MT-SUE-004	g/100g	45 ± 7
Caliza activa por volumetría	MT-SUE-006	g/100g	Superior a 12
CACIONES DE CAMBIO (Resultados sobre masa seca al aire)			
* Magnesio (extracto acetato amónico)	ABS. ATÓMICA	meq/100g	1,18
SALINIDAD (En extracto de pasta saturada sobre masa seca al aire)			
* C.E. extracto saturado, a 25 °C	CONDUCTIMETRÍA	dS/m	2,89 ± 0,04
* Porcentaje de saturación	CÁLCULO	% p/p	32,30
CACIONES SOLUBLES (En extracto de pasta saturada)			
* Calcio	ELECT. CAPILAR	meq/L	5,66 ± 0,26
* Magnesio	ELECT. CAPILAR	meq/L	1,31 ± 0,08
* Sodio	ELECT. CAPILAR	meq/L	26,61 ± 1,39

OBSERVACIONES SOBRE RESULTADOS

El resultado de la caliza activa es 12.43 g/100g

La prueba previa de salinidad indica concentraciones de sales solubles en el suelo superiores a la normal. Para conocer el efecto que tendrán sobre las plantas es necesario realizar el análisis de sales solubles que determine la concentración total de sales y el tipo de las mismas.

Las aportaciones de materia orgánica tienen un efecto muy positivo sobre las "propiedades" del suelo y la nutrición vegetal. Su descomposición da lugar al "humus" o materia orgánica estable de suelo; estas sustancias incrementan la capacidad de retención de agua y de nutrientes del suelo y favorecen su estructuración, que es la responsable de una correcta aireación y circulación de agua en el suelo; y, por otra parte, el humus constituye un almacén de nutrientes de liberación lenta y favorece la asimilación de otros nutrientes presentes en el suelo o aportados con los abonos.

La relación potasio/magnesio es "baja". En estas condiciones el "magnesio" puede inducir, por antagonismo, carencias de potasio. Para corregir esta relación será necesario incrementar las aportaciones anuales de potasio durante varias campañas y realizar nuevo análisis al cabo de tres años; las aportaciones de magnesio son contraproducentes.

El contenido de carbonatos alto y el de caliza activa unido al pH elevado puede producir clorosis férrica en la vid que mostrará hojas amarillentas y necróticas en las partes jóvenes (parte final de los brotes). Deberá utilizarse pies resistentes a la clorosis, del tipo 41-Berlandieri, 333-East Malling, 140-Ruggieri, 161-49 Coudec, 1.103-Paulsen, Richter110, Rupestris de Lot, S04.99 R...

El estudio de sales solubles revela contenidos ligeramente altos; el suelo no puede calificarse de salino, pero la concentración de sales puede afectar a cultivos sensibles; el tipo de sales, con un incipiente incremento de las de sodio, podría llegar a deteriorar las condiciones físicas del suelo favoreciendo el encharcamiento / apelmazamiento del terreno.

El desarrollo y rendimiento de los cultivos disminuye cuando el contenido de sales en la solución del suelo es tal que no permite que las plantas extraigan suficiente agua de la zona de raíces, provocando así un estado de estrés hídrico con síntomas similares a los de sequía (marchitamiento, coloración...) éste problema se acentúa en las primeras etapas de crecimiento siendo más o menos acusado según la sensibilidad de la especie vegetal.

La salinidad del suelo se caracteriza por una irregular distribución en el espacio y en el tiempo que da lugar a importantes variaciones entre diferentes épocas o entre puntos concretos dentro de una misma parcela. La ascensión de sales hacia la zona de raíces se produce con mucha intensidad en épocas de fuerte evaporación; por el contrario, una lluvia intensa o un riego hacen que las sales desciendan a zonas más o menos profundas; estos dos procesos de ascenso y descenso de sales se repiten continuamente en el suelo y por esta razón el valor concreto de concentración de sales en una muestra superficial depende notablemente de las condiciones en que se encontraba el suelo en el momento del muestreo. La variabilidad espacial es muy aparente en el cultivo, que se verá afectado de forma muy irregular; la formación de rodales de cultivo muy afectado junto a zonas de cultivo prácticamente normal constituye uno de los síntomas más típicos y fáciles de reconocer de la salinidad.

Tres ejemplos de análisis de SUELOS DE REGADÍO

Ref. REGADIOS	EJEMPLO 1 (Movera)		EJEMPLO 2 (Caspe)		EJEMPLO 3 (Borja)	
Cultivo:	HUERTO	Calificación	CEREAL	Calificación	VIÑA	Calificación
Granulometría: Arena total (%)	15,01	--	8,80	--	20,47	--
Limo grueso	8,61	--	7,41	--	8,15	--
Limo fino	39,44	--	47,25	--	34,10	--
Limo total	48,05	--	54,66	--	42,25	--
Arcilla	36,94	--	36,54	--	37,28	--
Clase textural:	Arcillo-limosa (a-L)	FINA	Franco-arcillo-limosa (F-a-L)	FINA	Franco-arcillosa (F-a)	FINA
pH del agua	8,1	Moderadamente básico	8,2	Moderadamente básico	8,4	Moderadamente básico
Prueba previa de salinidad (CE 1:5)	0,7	Alta	0,3	Ligeramente alta	0,8	Alta
Materia orgánica (%)	6,34	Muy Alta	2,2	medio	3,28	Alta
Fósforo asimilable (Olsen) mg/kg	> 125	Muy Alto	18	Medio	66	Muy alto
Potasio (extracto acetato amonico) mg/kg	662	Muy Alto	220	Medio	960	Muy alto
Nitrógeno mineral NO ₃ -N mg/kg	63	245,7 kg/ha	28	109,2 kg/ha	--	--
Carbonatos totales %	--	--	--	--	--	--
Caliza activa	--	--	--	--	--	--
Magnesio (mg/kg)	--	--	--	--	--	--
Observaciones: Referido a la capa (vgr 0-30 cm,...)						

Tres ejemplos de análisis de SUELOS DE SECANO

Ref. SECANO	EJEMPLO 1 (Salas Altas)		EJEMPLO 2 (Ferreruela)		EJEMPLO 3 (Langa Castillo)	
Cultivo:	VIÑA	Calificación	CEREAL	Calificación	CEREAL (s.d.)	Calificación
Granulometría: Arena total (%)	59,74	--	44,28	--	16,36	--
Limo grueso	12,22	--	10,49	--	6,51	--
Limo fino	13,97	--	21,62	--	34,74	--
Limo total	26,19	--	32,11	--	41,25	--
Arcilla	14,07	--	23,61	--	42,39	--
Clase textural	Franco -arenosa F-Ar	GRUESA	Franco F	MEDIA	Arcillo-limosa a-L	FINA
pH del agua	8,2	Moderadamente básico	8,2	Moderadamente básico	8,2	Moderadamente básico
Prueba previa de salinidad (CE 1:5)	0,08	Normal	0,15	Normal	0,24	Liger. alta
Materia orgánica (%)	1,80	Medio	1,90	Medio	2,1	Medio
Fósforo asimilable (Olsen) mg/kg	1,40	Muy bajo	12,7	Bajo	19,9	Medio
Potasio (extracto acetato amonico) mg/kg	178	Muy alto	134	Alto	588	Muy Alto
Nitrógeno mineral NO ₃ -N mg/kg	--	--	--	--	13,2	51,48 kg/ha
Carbonatos totales %	33	Calizo	--	--	3,6	No calizo
Caliza activa	3,28	--	--	--	--	--
Mg (mg/kg)	56,96	Bajo	44,84	Muy bajo	166,46	Medio
Observaciones: Referido a la capa (vgr 0-30 cm,...)						

Segunda Parte:

La fertilización con orgánicos. Una propuesta generalizada de fertilización con criterios de sostenibilidad

II.1. Importancia de los subproductos orgánicos susceptibles de utilizarse como fertilizantes en Aragón.

Si quisiéramos conocer cuál es la **importancia de la fertilización en la agricultura moderna**, podríamos ver en primer lugar, y desde el punto de vista de los consumos energéticos, que los principales consumidores son: la mecanización, los fertilizantes inorgánicos, y en menor medida, el riego y los pesticidas. *En los años 70, y a nivel de la agricultura mundial, la mecanización fue el mayor consumidor de energía, con el 51% del total, y los fertilizantes fueron los segundos responsables del consumo de energía, con una media del 45%*⁽⁶⁾.

Si nos referimos a los costes (monetarios) específicos de la fertilización, en nuestros cultivos herbáceos (Aragón, 2004), podemos ver que en cereal seco, los costes de la fertilización respecto a los costes totales pagados suponían entre el 23 y el 42% de los mismos. En el regadío, y cereales de invierno, ese mismo porcentaje se situaba entre el 31 y 40%, y en el caso del maíz, suponía también un 30%, de dichos costes totales⁽⁷⁾. También, referidos al maíz, los costes de fertilización mineral (N-P-K, y niveles de N de 240 kg/ha) en las campañas 2007, 2008 y 2009, suponían una cuantía de 436 €/ha⁽⁸⁾.

En 2007⁽¹⁰⁾ hicimos una estimación de las fuentes de nitrógeno de nuestra Comunidad, en las que los subproductos orgánicos (estiércoles, materia orgánica, residuos sólidos urbanos (rsu), y lodos de depuradoras) alcanzaban un equivalente de 102.000 t de nitrógeno.

Si nos centrásemos únicamente en los estiércoles - como subproductos más directos de la producción agraria, a partir de los censos ganaderos más recientes (2008 - 2009), y tomando como contenidos de N los de⁽²⁶⁾ y los de P - K para ese tipo de estiércoles, de la tabla de Ziegler y Heduit (1991), obtendríamos la estimación de contenidos N-P-K de la **tabla 24**.

Tabla - 24 - Estimación del contenido de nutrientes principales N-P-K de los estiércoles de Aragón, obtenidos de los censos de 2008 - 2009

Especie ganadera	Num. de plazas (2008-2009)	N - P ₂ O ₅ - K ₂ O del estiércol kg/t	Equilibrio N - P ₂ O ₅ - K ₂ O en relación al N	Contenidos en N (t)	Contenidos estimados P ₂ O ₅ (t)	Peso específico por especie (% P ₂ O ₅)	Contenidos estimados K ₂ O (t)	Peso específico por especie (% K ₂ O)
Cerdas madres	502.907	5,5 - 6,5 - 2,4	1 - 1,18 - 0,44	9.505	11.215		4.182	
Porcino cebo	5.039.342	5,5 - 6,0 - 3,0	1 - 1,09 - 0,55	36.535	39.823		20.094	
PORCINO	-	-	-	46.040	51.039	59,90	24.277	30,64
Vacas ordeño	15.267	5,1 - 3,3 - 6,2	1 - 0,65 - 1,22	1.114	724		1.360	
Vacas no ordeño	47.558	5,5 - 3,5 - 8,0	1 - 0,64 - 1,45	3.472	2.222		5.034	
Vacuno cebo	309.433	3,9 - 3,7 - 4,0	1 - 0,95 - 1,03	13.553	12.876		13.960	
VACUNO	-	-	-	18.139	15.822	18,57	20.353	25,69
Ovejas	1.907.723	6,7 - 4,2 - 11,2	1 - 0,63 - 1,67	17.152	10.805		28.643	
Cabras	38.895	6,1 - 5,2 - 5,7	1 - 0,85 - 0,93	350	298		326	
OVINO - CAPRINO	-	-	-	17.502	11.103	13,03	28.969	36,56
Conejas reproduct.	205.221	8,5 - 13,5 - 7,5	1 - 1,59 - 0,88	1.560	2.480	2,91	1.373	1,73
Pollos carne	17.486.584	25,5 - 21,5 - 21,0	1 - 0,84 - 0,82	3.497	2.938		2.868	
Gallinas puesta	4.052.892	10,5 - 10,4 - 7,2	1 - 0,90 - 0,69	2.026	1.823		1.398	
AVES	-	-	-	5.524	4.762	5,59	4.266	5,38
TOTALES	-	-	-	88.765	85.205	100,00	79.237	100,00

En esta estimación, puede verse que en el potasio ("potasa", K₂O) prácticamente se alcanzan las 80.000 toneladas, y se superan las 85.000 en el nitrógeno y fósforo ("anhidrido fosfórico", P₂O₅).

Es difícil valorar económicamente todos estos recursos fertilizantes comparándolo con los valores equivalentes que tienen los fertilizantes minerales. Primero porque desconocemos las cantidades de cada tipo de fertilizante mineral que se utiliza en nuestra Comunidad (únicamente, en los nitrogenados, y según el MARM 2007 - 2008 : un 3,95 % corresponde al sulfato amónico, un 34,80% a la urea, y un resto de "varios"), y también, porque cada explotación agraria lo valoraría respecto a los que ella consume específicamente. De cualquier manera, supondría un altísimo valor.

Respecto a la importancia de cada especie ganadera como fuente de recursos fertilizantes, el porcino sigue en primera posición reteniendo en los "purines", el 52% del N, el 60% del P (P₂O₅) y casi el 31% de la potasa, de todos los estiércoles de la comunidad.

Y paralelamente, en la **tabla 25**, vamos a ver cuáles son las necesidades de N, P y K de los tres principales cereales cultivados en Aragón (2007) y su relación con los contenidos de dichos nutrientes en los estiércoles (2008) :

Tabla 25. Estimación de las necesidades de N, P y K de los tres cereales principales de Aragón (2007), y su relación con los contenidos de dichos nutrientes en los estiércoles de Aragón (2008)

(Datos de secano y regadío, agrupados en un único conjunto), Necesidades estimadas a partir de valores medios (total, export) de la tabla del Canadian Fertilizer Institut 1998, sobre hipótesis de 14% de contenido de humedad, y un coeficiente de aplicación de fertilizantes de 1,2 sobre las extracciones (=0,83 de eficiencia)

Grupo	CULTIVOS	Superficie total (ha)	Rendto. medio (kg/ha)	Producción x 1.000 t	Necesidades N (t)	Necesidades P ₂ O ₅ (t)	Necesidades K ₂ O (t)
Cereales	Trigo blando	94.456	3.771	356,25			
	Trigo duro	164.506	1.461	240,36			
	1. Trigo total	258.971	2.304	596,60	18.717	7.203	11.390
	Cebada 6 C	46.854	3.149	147,56			
	Cebada 2C	376.151	3.421	1.286,66			
	2. Cebada Total	423.005	3.390	1.437,17	36.337	14.979	25.510
	3. Maíz	67.593	9.831	664,47	15.291	6.583	9.531
	Suma 1, 2, 3	749.569	-	2.698,24	70.345	28.765	46.431
	Unidades fertilizantes promedio (kg/ha)				93,8	38,4	61,9
	% sobre el contenido global (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O) de los estiércoles de Aragón				79,25	33,76	58,60

Relación entre las necesidades conjuntas N-P-K de estos 3 cereales, respecto al N:

$$70.345 - 28.765 - 46.431 \text{ ----- } 1 - 0,41 - 0,66$$

Con esta simple estimación puede apreciarse, que estos tres cereales, que suponían en 2007, casi 750.000 has de cultivo, absorberían casi el 80% del N contenido en los estiércoles, casi un 60% de la potasa, y solamente un 33 - 34%, del fósforo que contienen, lo que vuelve a recalcar el desequilibrio entre necesidades y disponibilidades de nutrientes.

II.2. Los Nutrientes principales o macronutrientes

Que vamos a considerar en un primer razonamiento de la fertilización: Nitrógeno, Fósforo y Potasio (ver más adelante, en el punto II.6), **de forma que mediante unos aportes regulares anuales o en periodos de dos o tres años, proporcionásemos lo más aproximadamente posible, las extracciones realizadas por las cosechas.**

En el caso del nitrógeno, habría que ver en primer lugar, la disponibilidad inmediata en el suelo (nitratos). En el caso del fósforo y del potasio, los aportes vendrían condicionados por los niveles del suelo ya vistos en la *tabla 8* y *tabla 9* del punto I.6, y también por la textura y el tipo de cultivo a implantar.

En el caso del fósforo, **la recomendación de aportes en función de los contenidos del suelo**, se recogen a continuación:

Contenidos:	Recomendación de aportes (P):
Muy bajos	El valor de las extracciones x 2
Bajos	El valor de las extracciones x 1,5
Medios	Sólamete, el equivalente a las extracciones
Altos	Sólamete las extracciones, o un 50% de éstas.
Muy Alto	Un % muy pequeño de las extracciones, o nada.

Y en el caso del potasio:

Contenidos:	Recomendación de aportes (K):
Muy bajo	El valor de extracciones x 2
Bajo	Las extracciones x 1,5
Medio	Sólamete las extracciones
Alto	Un 50% de las extracciones
Muy alto	Ninguna aportación.



Plántula de guisante mostrando los nódulos donde se encuentran los rizobium

II.3. Aportes indirectos de nutrientes, que deben considerarse al razonar la fertilización

Es muy probable, hace unos pocos años, - al inicio del tercer milenio, cuando comenzamos a conocer los programas de actuación en las “zonas vulnerables” a la contaminación por nitratos - que la gran mayoría de los técnicos volviésemos a recordar, que existían unos aportes indirectos de nutrientes a tener en cuenta, a la hora de formular el razonamiento del aporte de fertilizantes. Anteriormente, sí se tuvieron en cuenta, especialmente, cuando la planificación de los cultivos se organizaba en unas "alternativas" donde la secuencia de dichos cultivos, y el papel de las leguminosas, eran determinantes, pues los fertilizantes minerales tenían menor importancia (por su menor disponibilidad, o elevado precio), y no era tan grande como ahora, la influencia del mercado sobre la rentabilidad de los cultivos que vamos a plantear.

II.3.1. Los restos del cultivo anterior

Los agricultores y los técnicos en agronomía conocen el interés de incorporar, - sistemáticamente, o al menos con cierta frecuencia -, los restos de cosecha, para mantener un adecuado nivel de materia orgánica del suelo, que ya vimos va a ser un factor importante de la fertilidad del mismo. Y más recientemente, hemos comprobado como las prácticas de mínimo laboreo y siembra directa, mejoran los contenidos de dicha materia orgánica, la estructura del suelo, y minimizan la erosión. También veremos más adelante, como las cantidades de nutrientes a reponer con la fertilización no son las mismas si dejamos los restos de cosecha en el terreno o si los exportamos (como cuando empacamos la paja de los cereales).

II.3.2. Cuando el cultivo anterior es una leguminosa

Ya hemos visto en la primera parte, y es conocido ampliamente que las leguminosas tienen la capacidad de fijar el N atmosférico, a través de su asociación con los rizobium que se ubican en sus raíces.

Además de dicha familia de las leguminosas, hay también unas pocas plantas, arbustos ó árboles (géneros: *Alnus*, *Casuarina*, *Coriaria*, *Eleagnus*, etc.) que también pueden fijar nitrógeno, y pueden alimentarse de él; los animales y los vegetales no pueden utilizarlo directamente.

Las leguminosas en consecuencia, no precisan de aportes nitrogenados para la elaboración de su cosecha, además de dejarnos en el suelo - cuando levantamos el cultivo - toda la masa de sus raíces conteniendo notables cantidades de nitrógeno para el cultivo o cultivos siguientes.

No conocemos con precisión, salvo en el caso más estudiado de la alfalfa, cuál es el resto nitrogenado que deja cada especie leguminosa, en secano y/o en regadío, pero sí es apreciable en la experiencia de cada cual, la mejoría que se observa en el cultivo que sigue a una leguminosa. En el caso de Aragón, en la normativa de las Zonas Vulnerables (III Plan de Actuación, 2009), se atribuye un resto nitrogenado mínimo, equivalente a 100 kg de N/ha en el cultivo que sigue a la alfalfa en regadío, y de 30 kg de N/ha, para el segundo año.

II.3.3. La mineralización de la materia orgánica del suelo

Tal como hemos indicado en el punto sobre la descomposición de la materia orgánica del suelo, cada año, cuando se producen las condiciones idóneas de temperatura y humedad del suelo, comienza la mineralización, que va a poner a lo largo de la primavera, verano y comienzo del otoño, a disposición del suelo y paralelamente, al cultivo que esté instalado en el mismo, unas determinadas cantidades de N. Recogemos en los dos cuadros que siguen unas evaluaciones aproximadas, que dependen de la textura del suelo y, en el caso del segundo cuadro, también del clima:

Tabla. 26. Nitrógeno que proporciona la materia orgánica del suelo

Contenido de materia orgánica (%)	Nitrógeno anual disponible N (kg/ha)		
	Suelos arenosos	Suelos francos	Suelos arcillosos
0,5	10 - 15	7 - 12	5 - 10
1,0	20 - 30	15 - 25	10 - 20
1,5	30 - 45	22 - 37	15 - 30
2,0	40 - 60	30 - 50	20 - 40
2,5	-	37 - 62	25 - 50
3,0	-	-	30 - 60

(recogido en el programa de actuación en las ZZ vulnerables, Aragón. 2009) (6)

Tabla. 27. Aportación anual al suelo de N procedente de la materia orgánica N (kg/ha)

Materia orgánica del suelo %	Suelos arenosos Climas cálidos	Suelos francos Climas templados	Suelos arcillosos Climas fríos
1	30	22	15
1,5	45	33	22
2	60	45	30
3	90	65	45

(Fertiberia 2000)⁽⁷⁾

Otras referencias, como las de Teira MR y Ubach N⁽¹⁴⁾ dan cifras del orden de 50 kg de N/ha y año en zonas áridas de secano, y de 80 kg en el caso de secanos frescos. En las zonas de regadíos pueden superarse los 100 kg de N/ha y año.

II.3.4. Posibles aportes de nitrógeno por el agua de riego

Cuando las aguas de riego utilizadas, contienen nitratos en cifras medias o elevadas, el riego se convierte en otro aporte nitrogenado más, como puede verse en la **tabla 28** que sigue⁽¹²⁾, los significativos aportes que pueden suponer con unos volúmenes de riego (m³/ ha y año) medios o altos:

Se resalta, por curiosidad, los aportes que suponen los riegos con agua de una concentración en nitratos de 50 mg/l, por ser la referencia que se utiliza para determinar el contenido de las aguas subterráneas, para su inclusión como zonas vulnerables.

Tabla. 28. Aportes de N por el agua de riego en función de los volúmenes de agua aplicados y su concentración en nitratos. Cantidad de nitrógeno aportado N (kg/ha)

Volumen de riego usado (m ³ /ha)	Concentración del agua en nitratos: mg/litro								
	5	10	20	30	40	50	60	70	100
2.000	2,3	4,5	9,0	13,5	18,0	22,6	27,0	31,6	45,2
3.000	3,4	6,8	13,5	20,3	27,0	33,9	40,5	47,4	67,7
4.000	4,5	9,0	18,0	27,0	36,0	45,2	54,0	63,2	90,3
5.000	5,6	11,3	22,5	33,5	45,0	56,5	67,5	79,0	112,9
6.000	6,8	13,5	27,0	40,5	54,0	67,7	81,0	94,8	135,5
7.000	7,9	15,8	31,5	47,3	63,0	79,0	94,5	110,6	158,1
8.000	9,0	18,1	36,1	54,2	72,3	90,3	108,4	126,4	180,6
9.000	10,2	20,3	40,6	61,0	81,3	101,6	121,9	142,3	203,2

II.4. Conocer los subproductos orgánicos fertilizantes que vamos a utilizar

II.4.1. Definiciones principales oficiales sobre productos fertilizantes (Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, BOE, nº 171, de 19 de julio de 2005):

(El nº que figura entre paréntesis a la izda de la definición, es el mismo que tiene en el citado R.D.)

- (1) Nutriente:
 - (2) Nutriente principal
 - (3) Nutriente secundario
 - (4) Micronutriente

Estos cuatro conceptos ya fueron contemplados en el punto I.1. y añadimos ahora algunos más, resaltando con "negrita" los más relacionados con el tema de esta publicación:



Pila longitudinal de estiércol

- (7) **Producto fertilizante:** producto utilizado en agricultura o jardinería que, por su contenido en nutrientes, facilita el crecimiento de las plantas, aumenta su rendimiento y mejora la calidad de las cosechas o que, por su acción específica, modifica, según convenga, la fertilidad del suelo o sus características físicas, químicas o biológicas, y que debe especificarse como tal en el anexo I de este real decreto. Se incluyen en esta definición, los abonos, los productos especiales y las enmiendas.
- (8) **Abono o fertilizante:** producto cuya función principal es proporcionar elementos nutrientes a las plantas.
- (9) **Abono inorgánico o abono mineral:** abono obtenido mediante extracción o mediante procedimientos industriales de carácter físico o químico, cuyos nutrientes declarados se presentan en forma mineral. Por convenio, la cianamida cálcica, la urea y sus productos de condensación y asociación y los abonos que contienen nutrientes quelados o complejados, se clasifican como abonos inorgánicos.
- (10) **Abono orgánico:** producto cuya función principal es aportar nutrientes para las plantas, los cuales proceden de materiales carbonados de origen animal o vegetal, cuya relación se incluye en el grupo 2 del anexo I.
- (24) **Enmienda:** materia orgánica o inorgánica, capaz de modificar o mejorar las propiedades y características físicas, químicas o biológicas del suelo, cuyos tipos se incluyen en los grupos 5, 6 y 7 del anexo I.

- (26) **Enmienda orgánica:** enmienda procedente de materiales carbonados de origen vegetal o animal, utilizada fundamentalmente para mantener o aumentar el contenido en materia orgánica del suelo, mejorar sus propiedades físicas y mejorar también sus propiedades o actividad química o biológica, cuyos tipos se incluyen en el grupo 6 del anexo I.
- (30) **Estiércol:** todo excremento u orina de animales de granja o aves, con o sin cama, transformado o sin transformar, de acuerdo con los procesos previstos en el Reglamento (CE) nº 1774 / 2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 3 de octubre de 2002, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales no destinados al consumo humano. **En el citado Reglamento, los estiércoles se incluyen en los "materiales de Categoría 2"**, y se indica, que en el caso del estiércol - para su eliminación y uso - se aplicará a la tierra sin procesamiento previo (si la autoridad competente considera que no presenta ningún riesgo de propagación de ninguna enfermedad transmisible grave)
- (31) **Compostaje:** proceso controlado de transformación biológica aeróbica y termófila de materiales orgánicos biodegradables que da lugar a los tipos de enmiendas orgánicas, cuyas características se detallan en el grupo 6 del anexo I.
- (36) **Relación C/N (Relación Carbono/nitrógeno):** Cociente, entre el carbono orgánico y el nitrógeno orgánico

Queda claro, que las materias a las que nos vamos a referir en esta segunda parte de la publicación, quedarían dentro de uno o varios de los siguientes epígrafes (**abono o fertilizante, abono orgánico y enmienda orgánica**). Por orden de "proximidad" a la actividad agropecuaria estarían: los estiércoles (fiemos y purines), los composts fabricados básicamente con estiércoles, y luego ya, una variada lista de residuos de industrias agrarias, otros composts, residuos sólidos urbanos (RSU), lodos de papeleras, lodos de depuradoras (que tienen normativa específica sobre su uso), etc. Todos ellos tendrían una doble finalidad: **por una parte, como aportes de nutrientes (en un nivel notable respecto a todas las necesidades del cultivo), y por otra, en muchos casos - como valor añadido - de enmienda orgánica que se aporta, para mantener en un nivel adecuado o incluso, incrementar, el nivel de la materia orgánica del suelo.**

II.4.2. Más detalles sobre los fertilizantes orgánicos en relación a los "Subproductos animales no destinados al consumo humano" (SANDACH)

En el Real Decreto 1429/2003, de 21 de noviembre, Reglamento (CE) N° 1069/ 2009, y Reglamento (CE) nº 142 / 2011, están clasificados como "Material de categoría 2" en la normativa de los SANDACH:

a) el estiércol, el guano no mineralizado y el contenido del tubo digestivo (R CE N° 1069/2009), también, referente al uso y eliminación del material de categoría 2, referente a los que "se compostarán o se transformarán en biogás", se indica:

"en el caso del estiércol, el tubo digestivo y su contenido, la leche los productos a base de leche, el calostro, los huevos y los ovoproductos, si la autoridad competente considera que no presentan ningún riesgo de propagación de ninguna enfermedad transmisible grave, con o sin procesamiento previo"

Se aplicará a la tierra, sin procesamiento previo en el caso del estiércol, del contenido del tubo digestivo separado del tubo digestivo, de la leche, de los productos a base de leche y del calostro, si la autoridad competente considera que no presentan ningún riesgo de propagación de ninguna enfermedad transmisible grave.

El resto de materiales Sandach de categoría 2, deben ser transformados en una planta de transformación de la misma categoría que con el material de categoría 1; el material resultante puede utilizarse (Libro Blanco s/ Subproductos de origen animal no destinados a consumo humano, 2007. MARM) :

- En una planta técnica para elaborar abonos y enmiendas del suelo, orgánicos
- En una instalación de biogás o de compostaje, como materia prima.

y estos mismos destinos son señalados por el Real Decreto para los materiales Sandach de categoría 3.

Como aproximación previa (dado que está pendiente de publicarse un REAL DECRETO, **por el que se establecerán las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano**), podríamos indicar y resumir que:

El estiércol [así como los contenidos de tubos digestivos, leche, productos a base de leche (cat 2) + leche cruda, calostro y sus productos derivados (cat 3)], **pueden aplicarse directamente a las tierras, sin procesamiento previo**, salvo que las autoridades competentes establecieran temporalmente lo contrario, por riesgo de propagación de enfermedades para los seres humanos o los animales, en las correspondientes zonas de exclusión.

No está definido en el borrador del proyecto del R.D., pero parece razonable que la posibilidad de la aplicación directa de los estiércoles, se hiciera también extensiva a los composts que se confeccionan exclusivamente con estiércoles.

Respecto a los **abonos y enmiendas del suelo de origen orgánico, que son transformados en plantas de transformación (según el último borrador de RD, disponible)** :

Los abonos y enmiendas del suelo de origen orgánico que vayan a ser utilizados en España y que consistan en, o hayan sido producidos a partir de harinas de carne y huesos, derivadas de materiales de categoría 2, o a partir de proteínas animales procesadas, deberán ser mezcladas con un componente autorizado por la autoridad competente, en una proporción mínima, que excluya todo uso posterior de la mezcla con fines de alimentación animal.

La mezcla deberá realizarse en establecimientos o plantas autorizadas, y los abonos y enmiendas del suelo finales, deberán ajustarse a las disposiciones del RD 824/2005I, que incluyen en el Registro de productos fertilizantes previa a su comercialización.

Necesidad de unas referencias tipificadas de los fertilizantes orgánicos, que faciliten su uso como fertilizante:

En el Programa de actuación en las Zonas Vulnerables de Aragón (2009), se recoge la obligación de que el proveedor o el aplicador de esos subproductos orgánicos deberá proporcionar a los agricultores un análisis fehaciente de la riqueza fertilizante del producto así como la referencia del origen de los materiales que lo componen, e informar de cualquier limitación que la utilización de esos subproductos pudiera tener.

Esta obligación entendemos, - si no está definido ya - debería ser igualmente generalizada a todas las situaciones, y no sólo a las zonas vulnerables.



Aplicación de purines con máquina de tubos colgantes.

II.4.3. Clasificación de los fertilizantes nitrogenados en las Normativas de Aragón de "Zonas Vulnerables a la contaminación por nitratos" y de "Producción integrada".

A efectos de los periodos de prohibición de aplicación de los fertilizantes nitrogenados, y en relación con las características respecto a la velocidad de liberación de nitrógeno, los fertilizantes que aportan este nutriente (N) se clasifican en los siguientes grupos o tipos:

Grupo o Tipo I: Fertilizantes orgánicos con relación C/N elevada, igual o mayor que 10, tales como las deyecciones ganaderas con cama (fiemos o estiércoles sólidos) y materiales compostados. La mayor parte del N que contienen está en forma orgánica, por lo que sólo liberan una parte del mismo (entre un 20 y un 40%, según tipos) en el año de su aplicación.

Grupo o Tipo II: Fertilizantes orgánicos con relación C/N baja, inferior a 10, tales como las deyecciones animales sin cama (estiércoles líquidos). Una parte importante del N que contienen está en forma mineral (amoniacal), por lo que pueden ponerlo a disposición del cultivo en el mismo año de su aplicación.

También se incluyen en este grupo II, las deyecciones asociadas a materias carbonadas difícilmente degradables (serrín, virutas, etc.) que aunque tienen una relación C/N elevada, disponen de un elevado contenido de N amoniacal, como el fiemo o estiércol de pollos de engorde.

Grupo o Tipo III: Fertilizantes minerales y ureicos de síntesis.

II.4.4. Relación entre las distintas formas de N que contienen los fertilizantes orgánicos y la velocidad de su mineralización.

Como vimos anteriormente al estudiar la materia orgánica del suelo, los fertilizantes orgánicos/subproductos que vamos a aportar al suelo, contienen su nitrógeno en dos formas⁽²⁰⁾:

- Como **nitrógeno mineral**: en forma amoniacal y en proporciones que varían entre 0 y el 70%, y que en el caso de los estiércoles dependen de la especie animal, el tipo de alimentación, el tipo de cama, su almacenamiento y su manejo. Este N mineral de los estiércoles tiene el mismo efecto que el que podría tener el nitrato amónico mineral.
- Como **nitrógeno orgánico**: esta fracción, - y en proporciones entre el 10 y el 80%, según los tipos de estiércoles - proviene de los microorganismos muertos o vivos del tubo digestivo del ganado, de proteínas no digeribles, de las camas (pajas, copos, serrín, cascarilla de arroz, etc.).

En realidad, estos "compartimentos nitrogenados" realizan intercambios permanentemente. En condiciones favorables, una parte del nitrógeno orgánico se mineraliza en tres o cinco semanas, tras la aplicación del estiércol. Pero también, este intervalo de tiempo puede ser de varios meses cuando las aplicaciones de estiércoles (fiemos) se ha realizado al comienzo del invierno. El resto, se une al conjunto de materias orgánicas humificadas del suelo.

Las dos fracciones del nitrógeno: la mineral, y la "fracción orgánica más fácilmente mineralizable", se ponen rápidamente a disposición de los cultivos. Ese conjunto corresponde al denominado "efecto directo nitrógeno" de los estiércoles.



Instalación ganadera de pollos de engorde (broilers).

El resto de la fracción orgánica, se mineraliza muy lentamente a partir del segundo año tras su aplicación, al mismo tiempo o al mismo ritmo, que las materias orgánicas estables del suelo. Es lo que constituye el "efecto residual del nitrógeno" (o, el "arriere effet" en su denominación francesa) de los estiércoles.

En la **tabla 29** tomada de ⁽²⁰⁾ que sigue, puede verse claramente la importancia de cada una de estas fracciones, y cada fracción representada de un color distinto, en cinco tipos de estiércoles y en dos tipos de composts, representadas en pequeños bloques que suponen cada uno de ellos un 10% del total:

Tabla 29. Porcentajes de fracciones nitrogenadas en diferentes estiércoles y composts, obtenidos de explotaciones de vacuno, porcino o avícolas⁽²⁰⁾

Tipo de fertilizante orgánico	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Gallinaza de puesta							(70)		(90%)	
Fie mo de aves (pollos engorde)							(70)		(90%)	
Purín porcino (lisier)						(60)		(80%)		
Purin de vacuno (lisier)				(40)			(70%)			
Compost de fie mo de aves (pollos engorde)			(30)		(50%)					
Fie mos de vacuno y de cerdos	(10)			(40%)						
Compost de fie mos de vacuno y de ovino		(20%)								

*Siendo: La porción, coloreada en verde, el % en total, del Nitrógeno en forma mineral (que está disponible en el mismo año de su aplicación)
La porción coloreada en naranja, el % del Nitrógeno orgánico, (que también se mineraliza en el año de su aplicación)
La porción coloreada en granate oscuro, el % del Nitrógeno orgánico, que se mineraliza en años sucesivos*

De acuerdo con esta tabla, las gallinazas de puesta y el fie mo de los pollos de engorde, pueden mineralizar en el año de su aplicación hasta un 90% de su contenido inicial de nitrógeno (como suma del N que contiene en forma mineral (70%), más la parte del N orgánico que puede mineralizarse en el mismo año de su aplicación (20%). El purín porcino, puede llegar hasta el 80% (60+20), y el purín de vacuno hasta el 70% (40+30).

En cambio, un compost confeccionado a partir de fie mo de pollos de engorde, no pasaría del 50 %, y los fie mos clásicos de vacuno y de cerdos (este último, poco frecuente hoy en día en nuestro país), no pasarían del 40%. En caso del compost de fie mos de vacuno y de ovino, no se pasaría del 20% mineralizado en el año de aplicación, y quedaría un 80 % para mineralizar en años sucesivos.

En el interesante artículo de Cohan J.P. y Bouthier A., 2009 ⁽¹⁶⁾ se recoge la importancia actual de lo que denominan "**productos residuales orgánicos**" (**pro**), bien de tipo agrario (efluentes de las explotaciones ganaderas), bien de tipo urbano (lodos de depuradoras, residuos sólidos urbanos/rsu), o bien agroindustriales, **porque constituyen un importantísimo yacimiento de elementos fertilizantes**. Respecto al nitrógeno, insiste en la importancia entre las proporciones de nitrógeno mineral y de nitrógeno orgánico, *recordando que en el caso de las formas minerales, aunque tengan la misma eficiencia que los fertilizantes minerales, tienen por el contrario el riesgo de perder por volatilización en los 5 - 10 días siguientes a su aplicación, una gran porción de ese N mineral inicial.*

En condiciones de suelo y clima favorables: ausencia de lluvia, temperaturas elevadas, ausencia de viento, pH elevado del suelo y una vegetación del cultivo con poco "cobrimiento del suelo", las pérdidas del N amoniacal pueden sobrepasar el 60%, tanto para productos líquidos (purines) como para sólidos. El enterrado de dichos productos es una técnica a recomendar en los caso de aportes previos a la implantación de un cultivo de primavera. En el caso de los cereales de invierno, como aportes de cobertera, debe ser realizado preferentemente, con el cultivo bien desarrollado (pleno encañado) para limitar el riesgo de pérdidas.

Y precisamente en la **tabla 30** - de la misma fuente ⁽¹⁶⁾ - se recoge el comportamiento de seis tipos de "Productos residuales orgánicos", respecto a la mineralización del nitrógeno orgánico de dichos productos, aplicados en primavera, y estudiando los intervalos tras su aplicación (Arvalis - INRA, 2008). Interpretamos por nuestra parte, que los porcentajes de mineralización que figuran en dicha tabla, se refieren, y se aplican en la 3ª y 4ª columnas, no sobre el nitrógeno inicial del subproducto aplicado, sino del que queda disponible, después del mineralizado en el intervalo anterior.



Distribución mecanizada de estiércol sólido (fie mos)

Tabla 30 - Seis tipos de mineralización del nitrógeno orgánico de "Productos orgánicos residuales" (PRO, en su denominación original francesa), en el curso de la campaña que sigue a una aplicación de primavera ⁽¹⁶⁾

TIPO DE COMPOR-TAMIENTO	% DEL N ORGÁNICO APORTADO MINERALIZADO			TIPO DE SUBPRODUCTO
	En los 2 meses siguientes al aporte	En los 6 meses siguientes al aporte	En los 12 meses siguientes al aporte	
1	- 10 a -20 %	0 a -10 %	0 a -10 %	Compost de desechos verdes Compost de fieno de vacuno
2	0 %	0 a 10 %	0 a 10 %	Compost de desechos verdes+ lodos urbanos; Compost de fieno de vacuno, Compost de desechos verdes
3	5 a 15 %	10-20 %	20-30 %	Fieno de vacuno
4	15 a 25 %	25 a 35 %	30 a 40 %	Fieno de aves Lodos urbanos deshidratados
5	20 a 30 %	40 a 50 %	50 a 60 %	Vinazas concentradas
6	40 a 50 %	40 a 50 %	40 a 50 %	Gallinaza de puesta, Efuentes de destilerías, Efuentes de feculería, Lodos urbanos pastosos

Para facilitar la interpretación de dicha tabla, y poder compararla con la anterior ⁽¹⁶⁾, recalculamos (con los valores medios de los intervalos) las referencias, de forma que quede reflejado el porcentaje del N orgánico inicial aportado, en cada uno de los tres intervalos observados, y el total del N mineralizado en el año (12 meses), en la columna sexta añadida (**Tabla 30-bis**).

En la columna "tipo de subproducto" se han significado en **negrita**, alguno de los estiércoles clásicos o derivados directos como compost, para caracterizar mejor, el tipo de comportamiento de cada uno de ellos, comparándolo con los tipos más conocidos de la actividad agropecuaria.

Tanto en la tabla original, como en esta segunda, modificada, hay que reseñar, que los subproductos agrupados en el *tipo de comportamiento 1*, el aporte de dichos subproductos orgánicos, no genera ninguna mineralización del N contenido en los mismos en los 12 meses que siguen a su aplicación, sino que por el contrario, precisan tomar N del suelo para poder continuar con su evolución, presumiblemente por tratarse de productos con una elevada relación C/N. Por tal motivo, se ha coloreado en naranja para señalar una situación negativa, respecto a las aportaciones nitrogenadas que presumiblemente se desearían a corto plazo.

También, en el *tipo de comportamiento 2*, no se produce mineralización de N en el primer intervalo, pero sí se inicia a partir del intervalo 2 - 6 meses.

Tabla 30 - Bis. Seis tipos de mineralización del nitrógeno orgánico de Productos orgánicos residuales, en el curso de la campaña que sigue a una aplicación de primavera.

TIPO DE COMPORTAMIENTO	% DEL N ORGÁNICO APORTADO MINERALIZADO			TIPO DE SUBPRODUCTO	% total de N mineralizado en 12 meses
	En los 2 meses siguientes al aporte	En los 6 meses siguientes al aporte	En los 12 meses siguientes al aporte		
1	- 10 a - 20 %	0 a - 10 %	0 a - 10 %	Compost de desechos verdes Compost de fiemo de vacuno	-
2	0 %	0 a 10 % 5% (valor medio)	0 a 10% $0,05 \times (100 - 5) = 4,75 \%$	Compost desechos verdes+lodos urbanos; Compost de fiemo de vacuno, Compost de desechos verdes	9,75
3	5 a 15 % 10% (v medio)	10 - 20 % $0,15 (100 - 10) = 13,5$	20 - 30 % $0,25 (90 - 13,5) = 19,12$	Fiemo de vacuno	42,62
4	15 a 25 % 20 % (v. medio)	25 a 35 % $0,30 (100 - 20) = 24$	30 a 40 % $0,35 (80 - 24) = 19,6$	Fiemo de aves Lodos urbanos deshidratados	63,60
5	20 a 30 % 25 % (v. medio)	40 a 50 % $0,45 (100 - 25) = 33,75$	50 a 60 % $0,55 (75 - 33,7) = 22,71$	Vinazas concentradas	81,46
6	40 a 50 % 45 % (v. medio)	40 a 50 % $0,45 (100 - 45) = 24,75$	40 a 50 % $0,45 (55 - 24,7) = 13,63$	Gallinaza de puesta, Efluentes de destilerías, Efluentes de feculería, Lodos urbanos pastosos	83,38

Fuente: Elaboración propia, modificado, de⁽¹⁶⁾

Haciendo los cálculos con la citada interpretación, de que "lo mineralizado se calcula, sobre el resto del periodo anterior", se obtienen aproximadamente, - con la excepción del tipo de comportamiento 4 - las fracciones de N que pueden ser mineralizadas en el año de aplicación, que figuraban en la referencia anterior (**tabla 29**). El caso del tipo 4 (fiemo de aves, pollos de engorde), con valores estimados de 63,60 - 68,80 (% total de N mineralizado en 12 meses), quedaría bastante por debajo de lo indicado en la **tabla 29** (hasta un 90% del N total).

Sobre el Nitrógeno disponible de los estiércoles (Available nitrogen), también se recoge en⁽³⁴⁾, unas precisiones similares:

El N disponible (N amoniacal, N-nítrico, y N-ácido úrico), es el N considerado como potencialmente disponible para las cosechas, en el periodo de aplicación del estiércol y se denomina habitualmente como N-mineral (aunque puede incluir incluso el N orgánico que puede estar disponible para la primera cosecha tras su aplicación). Purines y estiércol de aves (poultry manures) tienen relativamente una gran proporción de N-mineral (entre 35-70% del N total), comparados con los fiemos, que normalmente tienen una pequeña proporción de N-mineral (del 10-25% del N total). El N-orgánico, es el N en formas orgánicas que se hace disponible para las cosechas en periodos de meses o años

II.4.5. Algunas referencias sobre los contenidos de N-P-K de los orgánicos

No existe en nuestro país (o al menos, la desconocemos) una tabla reciente, con los contenidos de nutrientes de los subproductos orgánicos que pueden utilizarse como fertilizantes. Por tal motivo, se utilizan otras, como la de Ziegler D., y Heduit M. (1991), que se incluye como referencia en nuestros programas de actuación en Zonas Vulnerables a la contaminación por nitratos, y se transcribe a continuación. Como se verá, recoge gran parte de los parámetros que hemos ido introduciendo en las páginas anteriores, para los estiércoles frescos (fiemos y purines/estiércoles líquidos):

Tabla 31 - Composición de los estiércoles (materia fresca). Ziegler D., y Heduit M., 1991

Especie / tipo animal	Tipo edific.	MS %	MO %	Rel. CM	pH	Elementos principales (kg/t)						Oligoelementos (g/t)																										
						N tot.	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	Cu	Mn	Zn	Fe																						
Estiércoles sólidos ("fiemos")																																						
Bovinos. Vacas	Estabulación Libre	25	18	14,0	7,8	5,5	0,5	3,5	8,0	5,0	1,9	0,5	8	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-												
	Estabulación fija	21	-	-	-	4,7	-	3,1	4,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-												
Vacuno carne		24	15	-	7,3	3,9	-	3,7	4,0	2,5	1,5	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2074												
Terneros		19	13	-	7,8	2,4	-	1,0	2,7	1,8	0,5	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-												
Ovinos		30	23	23,0	8,1	6,7	-	4,2	11,2	11,2	1,4	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-												
Cerdos		21	16	-	-	6,0	-	6,0	4,0	6,0	2,5	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-												
Caprinos		48	-	-	-	6,1	-	5,2	5,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-												
Caballos		54	41	-	-	8,2	2,1	3,2	9,0	-	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-												
Aves	Pollos	58	48	11,0	6,8	25,5	-	21,5	21,0	14,5	3,7	-	81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-												
	Pavos	54	43	10,5	6,9	24,0	-	25,0	20,5	21,5	4,2	-	78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-												
Estiércoles fluidos ó líquidos																																						
Bovinos Vacas	Todo estiércol Fluido.	12,0	5,5	8,0	7,1	5,0	2,5	2,5	6,0	2,4	0,7	1,1	2	16	11	68																						
	Area escur.	18,5	12,8	-	6,8	6,0	1,5	2,8	4,2	2,4	1,0	0,9	3	28	13	788																						
Vacuno carne		15,0	10,7	-	7,2	5,2	3,1	3,1	5,0	4,5	1,5	1,6	12	38	56	309																						
Terneros		1,9	1,0	-	7,4	2,7	2,1	2,1	3,8	0,3	0,3	1,5	1	8	14	19																						
Cerdos Cebo	Alimentación harina	8,0	7,0	8,0	7,6	5,5	3,5	6,0	3,0	3,5	0,8	1,5	25	58	60	262																						
	Alimentación suero	6,0	4,0	-	6,8	4,5	2,6	4,0	2,3	5,9	2,8	0,5	6	27	64	78																						
Cerdas Gest.		10,0	6,9	-	7,4	5,5	3,6	6,5	2,4	6,7	1,5	3,5	18	45	92	228																						
Lechones		8,8	6,6	-	7,2	6,3	3,5	5,6	2,0	4,8	1,8	0,5	65	58	144	276																						
Aves	Gallinas ponedoras	25,8	18,2	-	7,1	10,5	7,4	10,4	7,2	40,5	3,0	1,4	26	119	94	400																						
	Pollos carne	33,0	23,9	-	-	16,0	-	12,0	8,7	8,8	1,2	2,0	22	-	107	69																						
	Pavas	44,0	36,2	-	-	32,6	7,0	21,2	7,7	23,5	3,7	2,7	35	-	227	522																						
	Patos	39,0	-	-	-	11,0	-	14,0	5,0	-	-	-	-	-	-	-																						
Conejos		26,0	18,2	-	8,5	8,5	1,9	13,5	7,5	13,9	3,5	2,2	17	84	123	520																						
Purines (propriadamente dichos, no estiércoles líquidos)																																						
Bovinos Vacas	Estabulación Fija	3,0	1,5	-	-	2,9	2,5	0,2	5,5	-	-	-	-	-	-	-																						
	Lavado est.	1,0	0,5	-	7,8	0,6	0,5	0,2	2,4	-	-	-	-	-	-	-																						

Por su interés, tratándose del tipo de estiércoles que pueden alcanzar elevados contenidos en nutrientes, transcribimos del ITAVI, 1996 y 1999, sus referencias sobre diversos tipos de **estiércoles de aves**:

Tabla 32. Composición media de purines y fiemos de aves a la salida de las naves o después de almacenamiento, en kg/ t, o kg/m³ de producto bruto⁽¹⁷⁾

Tipo de estiércol	Materia seca	N total	P ₂ O ₅	K ₂ O	Densidad kg/m ³
LISIERS / PURINES					
Lisier de canards (purín de patos)	10 %	4,4	1,7	2,5	-
Lisier de canards (purín de patos)	10 a 15 %	5,9	5,9	4,1	-
Lisier de canards (purín de patos)	> 15 %	8,6	8,6	8,4	-
Lisier de gallinas de puesta (purín de gallinas de puesta)					
Lisier	10 %	6,8	9,5	5,5	-
Fientes húmedas	25%	15	14	12	-
Fientes presecadas sobre cinta	40 %	22	20	12	-
Fientes secas en fosa profunda	80 %	30	40	28	-
Fientes secadas bajo hangar	80 %	40	40	28	-
FIEMOS					
Pollos de carne (a la salida de las naves)	750	29	25	20	450
Después de almacenamiento					
En condiciones secas	-	26	24	19	
En condiciones favorables a la fermentación	-	22	23	18	
En condiciones muy húmedas	-	22	22	15	
Pavos de carne (a la salida de las naves)	650	27	27	20	450
Después de almacenamiento					
En condiciones secas	-	25	26	19	
En condiciones favorables a la fermentación	-	21	25	18	
En condiciones muy húmedas	-	21	23	15	

(fientes: excrementos de aves)

II.4.6. Valor fertilizante de los estiércoles en fósforo y en potasio⁽¹⁸⁾

*El **fósforo** se encuentra presente en los estiércoles en forma mineral y en forma orgánica. La forma orgánica representa hasta un 75% del P₂O₅ total de los estiércoles. Las formas minerales son equivalentes a las de los abonos fosfatados solubles en agua.*

Las formas orgánicas (como ATP, ADN, fosfolípidos, fitatos,...) provienen de las camas y de las heces. Con excepción de los fitatos, tienen una eficacia como mínimo igual a la de los abonos fosfatados solubles en agua.

*El **potasio** de los estiércoles proviene fundamentalmente de la orina y de las camas. En los dos casos, se presentan bajo forma mineral (carbonato o cloruro). Son totalmente solubles en agua.*

En resumen, se puede indicar:

*La **eficiencia agronómica del potasio de los estiércoles es idéntica a la de los abonos minerales comerciales.***

*Y lo mismo puede decirse respecto al **fósforo de los fiemos de vacuno, ovino y de cerdos, de los estiércoles líquidos (lisier) de vacuno y de sus purines (no el " purín " que denominamos en España), en comparación con el fósforo de los abonos minerales del tipo superfosfato.***

*Por contra, la **disponibilidad del fósforo de los lisiers de porcino, y sobre todo de lisier de aves y de fientes y fiemos de aves, es menor que la del fósforo de los abonos minerales tipo superfosfato.***

Teniendo en cuenta los contenidos en fósforo y en potasio de los estiércoles, y su equivalencia con la de los abonos minerales, es frecuente reemplazar la totalidad de los abonos minerales fosfatados y potásicos por los aportes de los estiércoles.

Numerosos estiércoles son muy ricos en fósforo y en potasio, en relación con las necesidades en dichos elementos que tienen las cosechas. El uso regular de estiércoles lleva a menudo a un excedente en fósforo o en potasio, al año siguiente de realizar un aporte importante de estiércol.

II.4.7. Valor fertilizante de los estiércoles en azufre, magnesio y oligoelementos ⁽¹⁹⁾

Los riesgos de carencias en azufre, magnesio, o de oligoelementos, existen solamente en ciertos suelos de regiones de "cultivos extensivos" y precisan realmente de aportes moderados. En estas situaciones particulares, los aportes suelen hacerse en colza y los cereales de invierno. En los suelos de áreas con producción ganadera los riesgos de carencias son casi nulos. Además los cultivos forrajeros son poco exigentes, y los estiércoles constituyen un aporte importante (bien que variable, según la suplementación que reciben los animales). En cualquier tipo de cultivo, en estas áreas, no está justificado ningún aporte complementario.

II.5. Conocer las necesidades (macronutrientes) de los cultivos

II.5.1. Algunas de las referencias utilizadas

Como primera aproximación, utilizaremos las del **Canadian Fertilizer Institute, 1998** que transcribimos en la tabla que sigue:

Tabla 33. Extracción de nutrientes de los cultivos (kg/t de materia seca). Canadian Fertilizer Institute, 1998.

CULTIVO	Nitrógeno (N)		Fósforo (P ₂ O ₅)		Potasio (K ₂ O)		Azufre (S)	
	Total	Export.	Total	Export.	Total	Export.	Total	Export.
GRANOS								
Trigo	32,1-39,2	22,6-27,9	12,1-14,7	9,1-10,9	27,5-34,0	6,8-7,9	3,4-4,2	1,5-2,3
Cebada	26,0-31,9	18,1-22,1	10,5-12,8	7,9-9,5	25,1-30,5	6,0-7,2	3,0-3,7	1,6-2,1
Centeno	27,0-32,8	17,1-20,9	13,3-16,5	7,2-8,7	38,0-46,7	5,8-7,3	4,6-5,5	1,2-1,7
Avena	30,1-36,6	17,3-21,2	11,2-12,8	7,3-8,7	41,0-49,9	5,3-6,1	3,6-4,5	1,1-1,7
Maíz	24,7-30,0	15,5-19,1	10,2-12,3	7,0-12,3	20,7-25,2	4,5-5,4	2,4-2,9	1,1-1,3
FORRAJES								
Alfalfa		26,1-31,9		6,2-7,6		27,0-33,0		2,6-3,3
Trébol		24,1-29,4		6,2-7,6		22,6-27,7		1,2-1,4
Gramíneas		11,4-14,1		3,3-4,1		14,6-17,8		1,3-1,8
LEGUMINOSAS								
Guisante	46,1-56,0	35,1-42,9	12,8-15,5	10,4-12,8	41,1-50,0	10,7-13,1	3,6-4,8	2,1-2,4
Lentejas	45,6-56,1	30,8-18,5	12,4-14,9	9,4-10,9	38,2-46,6	15,9-19,8	4,5-5,5	2,0-3,0
Habas	75,6-92,4	45,2-55,4	26,3-31,8	16,3-19,7	67,2-82,5	13,9-16,8	3,4-4,5	1,8-2,4
OLEAGINOSAS								
Girasol	33,5-41,1	24,1-29,5	11,6-13,8	7,1-8,9	16,5-20,5	5,4-6,7	4,0-4,5	1,8-2,7
Colza	57,1-70,4	34,7-42,3	26,5-32,7	18,9-23,0	41,8-51,0	9,2-11,2	9,7-12,2	5,6-6,6
Lino	48,3-58,3	34,9-42,2	13,4-16,8	10,7-12,8	29,5-36,2	10,1-12,1	8,7-11,4	4,0-4,7
RAÍCES								
Patata	5,1-6,3	2,9-3,5	1,6-1,8	0,8-1,0	6,7-8,2	4,8-6,0	0,4-0,5	0,3-0,4
Remolacha az,	4,3-5,3	1,8-2,2	1,4-1,7	0,8-1,0	7,9-9,6	2,9-3,6	0,7-0,8	0,2-0,3

"Total": en la totalidad de los órganos vegetativos de la planta (toda la parte aérea). "Export": en la cosecha (grano, semillas, forraje o raíces) son las exportaciones reales

Para mayor sencillez, recopilaremos esta misma tabla, para los cultivos principales de nuestra comunidad aragonesa - como presumibles/posibles mayores consumidores de N, y de los propios subproductos orgánicos - e introduciendo, un valor medio, en lugar del intervalo de rangos que se indicaba originariamente en la tabla canadiense:

Tabla 34. Necesidades nutritivas medias de los principales cultivos extensivos.

Cultivos	Nitrógeno (N)		Fósforo (P ₂ O ₅)		Potasio (K ₂ O)	
	Total	Export	Total	Export	Total	Export
Trigo	35,6	25,2	13,4	10,0	29,8	7,3
Cebada	28,9	20,1	11,6	8,7	27,8	6,6
Maíz	27,3	17,3	11,2	8,1	22,9	4,9
Arroz	-	-	-	-	-	-
Alfalfa	-	29,0	-	6,9	-	30,0
Girasol	37,3	26,8	12,7	8,0	18,5	6,0
Colza	63,7	38,5	29,6	20,9	46,4	10,2

Igualmente, para obviar la dificultad que supone calcular ó estimar una fertilización global media cuando hacemos estimaciones sobre todos o una parte importante de los cultivos, dadas las diversas situaciones posibles: cultivos con siembra directa o mínimo laboreo, retirada o no de los restos de cosecha, utilizaremos unos "valores medios" de necesidades de N-P-K que probablemente puedan ser una primera aproximación de aportes de macronutrientes de cara al futuro, que recogemos en la tabla siguiente, modificada:

Tabla 35. Necesidades nutritivas medias de los principales cultivos extensivos

Cultivos	Nitrógeno (N)			Fósforo (P ₂ O ₅)			Potasio (K ₂ O)		
	Total	Export	V. medio	Total	Export	V medio	Total	Export	V medio
Trigo	35.6	25.2	30.4	13.4	10.0	11.7	29.8	7.3	18.5
Cebada	28.9	20.1	24.5	11.6	8.7	10.1	27.8	6.6	17.2
Maíz	27.3	17.3	22.3	11.2	8.1	9.6	22.9	4.9	13.9
Arroz ⁽¹⁾	-	-	22,0	-	-	8,0	-	-	23,0
Alfalfa	-	-	29.0	-	6.9	6.9	-	30.0	30.0
Girasol	37.3	26.8	32.0	12.7	8.0	10.3	18.5	6.0	12.2
Colza	63.7	38.5	51.1	29.6	20.9	25.2	46.4	10.2	28.3

(1) Referencia del IRTA de extracciones totales (paja + grano)



Cultivo de guisantes

Estos valores resultantes para los cereales de invierno, podrían aparecer como más ajustados (respecto al N), que los que en la actualidad se recogen en normas como las de nuestras zonas vulnerables (Aragón, 2009), con un menor aporte en el caso del maíz (22,3 kg N/t de m.s.), y la cebada (24,5), y manteniendo la cifra de 30 kg de N/ t de m.s. cosecha, para el trigo (30,4). En el caso de girasol y colza, también se ajustarían ligeramente a la baja.

II.5.2. Relación cuantitativa entre, las necesidades de los tres macronutrientes, y los contenidos de los mismos en los subproductos orgánicos

Es interesante resaltar, **en qué relación se encuentran las necesidades de fósforo y de potasa en relación con el nitrógeno**, en un intento de fertilizar con subproductos orgánicos utilizados al mayor nivel posible, pero respetando siempre los aportes ajustados de cada nutriente. Una primera aproximación la calculamos con los valores medios anteriormente citados:

Tabla 36. Relación de las necesidades de P y K respecto a las del N

Cultivo	V medios kg N/t	V medios kg P ₂ O ₅ / t	V medios kg K ₂ O/ t	Relación de P y K respecto al N
Trigo	30.4	11.7	18.5	1 - 0,38 - 0,61
Cebada	24.5	10.1	17.2	1 - 0,41 - 0,70
Maiz	22.3	9.6	13.9	1 - 0,43 - 0,62
Arroz	22,0	8,0	23,0	1 - 0,36 - 1,05
Alfalfa	-	6.9	30.0	-
Girasol	32.0	10.3	12.2	1 - 0,32 - 0,38
Colza	51.1	25.2	28.3	1 - 0,49 - 0,55

Si empezamos por valorar nuestros "orgánicos" más frecuentes o conocidos, en Aragón, los estiércoles, veamos en qué relación se encuentran sus nutrientes, utilizando una determinada referencia, la de Ziegler y Heduit (1991) :

Tabla 37. Relación de los contenidos en P y K respecto a los del N (estiércoles)

Estiércol	Nitrógeno	P ₂ O ₅	K ₂ O	Relación de P y K respecto al N
Purín cebo, harina	5,5	6,0	3,0	1 - 1,09 - 0,55
Estiércol vacuno carne	3,9	3,7	4,0	1 - 0,95 - 1,03
Estiercol ovino	6,7	4,2	11,2	1 - 0,63 - 1,67
Purín gallinas puesta	10,5	10,4	7,2	1 - 0,99 - 0,69
Fiemo pollos engorde	25,5	21,5	21,0	1 - 0,84 - 0,82
Estiércol conejos	8,5	13,5	7,5	1 - 1,58 - 0,88

Si estas composiciones y su relación entre nutrientes de los estiércoles, fueran coincidentes con nuestra situación y realidad, veríamos que, prácticamente con todos los estiércoles, se produciría desequilibrio entre los aportes y las necesidades de los cultivos reseñados.

Con los valores medios estimados de necesidades de los cultivos ("Canadienses"), y de contenidos orientativos de los estiércoles, y la mineralización que presenta la referencia francesa para los 12 meses que siguen a su aplicación, ya podríamos ensayar una propuesta de fertilización, en el punto siguiente, pero precisamente por la importancia de la temática ambiental, trataremos de reflexionar previamente, sobre cuáles podrían ser los principios o criterios a seguir para proponer una fertilización sostenible.

II.6. Principios básicos para razonar "una fertilización sostenible"

Entendemos que una fertilización sostenible, debería como mínimo, procurar⁽⁵⁾ :

- (a) En primer lugar, **reponer las extracciones que realizan los cultivos, de los tres macronutrientes principales: Nitrógeno (N), Fósforo (P), y Potasio (K).**
- (b) En segundo lugar, **tratar de alcanzar y mantener los niveles de fertilidad deseables en cada tipo de suelo y clima.**

Llegando a este punto, indicaríamos - atendiendo a estos dos primeros criterios - que tratando de alcanzar unos niveles adecuados de fertilidad (especialmente en lo referente a materia orgánica, fósforo y potasio), en unos primeros momentos:

Podríamos, en unos casos aportar mayor nivel de abonado que el requerido por las extracciones, y en especial en los casos de fertilización con subproductos orgánicos que pueden tener un alto interés de oportunidad económica. **Pero también, y en sentido contrario**, se podrían aportar unos niveles de fertilizantes, inferiores a las extracciones, cuando nos encontremos en el caso de suelos con altos contenidos en determinados nutrientes, que permitan reducir o incluso anular dichos aportes durante un tiempo determinado.

Considerando siempre que este proceso de mejora de la fertilidad del suelo, no afecte u ocasione problemas de contaminación (nitratos y potasio en las aguas subterráneas, fósforo arrastrado por la erosión...).

- (c) **En tercer lugar, tratar de mantener la economía del agricultor, de forma que los márgenes del cultivo sean positivos.** No deberíamos abonar para conseguir altas producciones de cosecha, más allá del punto en que se produce un margen nulo: es decir, cuando el último incremento de producción conseguido, se logra con un gasto de fertilizante equivalente al valor del incremento de cosecha.

También habría que atender las siguientes consideraciones:

- (d) Acerca del concepto de "sostenibilidad", referido a la fertilización, no conocemos otros intentos de definición, pero probablemente se le podría aplicar definiciones similares a las que se utilizan para definir a la agricultura sostenible, indicando que: *"un sistema (o, en este caso, una práctica concreta) será sostenible si es económicamente viable, ecológicamente adecuada y cultural y socialmente aceptable"* ⁽²¹⁾.
- (e) Desde la aparición de la Directiva 91/676/ CEE, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por los fertilizantes nitrogenados utilizados en la agricultura, comenzamos a tener conciencia de que los excesos en la fertilización pueden tener efectos contaminantes sobre nuestras aguas (caso de los nitratos), pero también en los suelos (exceso de fósforo, metales pesados, "contaminación por nutrientes" en general...), y hacia la atmósfera, y no sólo por efecto de la fertilización en sí misma, sino también por efectos de la actividad agropecuaria en general, y especialmente desde que comienza a valorarse la problemática del cambio climático y a estimar las emisiones de los "gases de efecto invernadero" (GEIs).

Los **efectos del exceso de nutrientes** en el suelo, en la planta ó en sus frutos no suelen tenerse muy en cuenta, pero deberíamos recordarlo con mayor frecuencia. Del trabajo de Villar Mir, J.M. ⁽¹⁵⁾, transcribimos la **tabla 38**:

- (f) En la práctica de la fertilización, entendemos igualmente, que **ha primado un criterio "productivista", buscando la máxima producción de cosecha**, pero olvidando casi siempre un criterio de economía y equilibrio más amplio de todos los aspectos agronómicos, como indicamos igualmente en el punto (c). Esa búsqueda de la máxima productividad, **es posible que también haya conducido a la preeminencia de los aportes nitrogenados sobre los demás nutrientes**, ocasionando aunque fuera involuntariamente, un desequilibrio entre ellos, y llevando de la mano al fenómeno o situación de **"contaminación por nutrientes"** ("Comportamiento medioambiental de la agricultura en la OCDE, desde 1990: España. 2008").

Tabla 38. Efectos del exceso de nutrientes en el suelo, plantas o frutos⁽¹⁵⁾

CULTIVO	EFFECTOS SOBRE LA PRODUCCIÓN Y LA CALIDAD
Olivo	Una fertilización excesiva de nitrógeno produce una disminución de la calidad sensorial del aceite
Viña (según variedades)	Un exceso de N tiende a producir un elevado crecimiento vegetativo que afecta al rendimiento de la uva y sobre todo la calidad del vino (compuestos fenólicos, color, compuestos nitrogenados, calidad organoléptica) Un exceso de K provoca la disminución de la acidez del mosto Un exceso de K afecta a la absorción de Mg Un exceso de Boro produce necrosis
Manzano	Un exceso de N produce un crecimiento excesivo de brotes, baja calidad del fruto al ser almacenado y mayor susceptibilidad ante algunas enfermedades (como el fuego bacteriano). También se le ha relacionado con la aparición de "russetting" en algunas variedades. Un exceso de N, K y Mg, favorece la depresión amarga o bitter pit. El exceso de P favorece deficiencias de Zn y de Cu. El exceso de K favorece en algunos casos deficiencias de Mg y de Ca. El exceso de Mg también favorece la deficiencia de Ca. El exceso de B provoca defoliaciones y caída de frutos.
Espinacas, lechugas, acelgas y endivias	Tendencia a acumular un exceso de nitratos en las hojas cuya disponibilidad de N es muy alta.
Patata	Un exceso de disponibilidad de N favorece el desarrollo vegetativo y perjudica el crecimiento y desarrollo del tubérculo.
Cereales de invierno	En condiciones de secano, un exceso de N puede agravar los efectos de una sequía. Un exceso de N puede provocar encamado. Un exceso de B en el agua de riego provoca disminuciones en el rendimiento del trigo.
Maíz	Un exceso de P puede inducir a deficiencias de Zn en planta

En nuestra opinión, **deberíamos intentar, en este momento, señalar unos criterios de sostenibilidad de la fertilización, atendiendo a los criterios medioambientales (suelos, aguas, y atmósfera), pero también de lucha contra el cambio climático, y los de simple y pura economía.**

En este último aspecto de la economía, tanto por el elevado coste de la producción de los fertilizantes nitrogenados de síntesis, como la posible escasez a medio plazo de los minerales base para la producción de los fosfatos, deberían ser determinantes para decidirse por esta búsqueda de la "sostenibilidad"

Y estos criterios, que entendemos generalizables a cualquier situación productiva y para cualquier tipo de fertilizantes, aún tienen mayor importancia en el caso que nos ocupa de la utilización de subproductos orgánicos.

Los criterios básicos que en estos momentos podríamos sintetizar para razonar los aportes fertilizantes se apoyarían, por una parte, en:

- **La reposición sistemática de los tres macronutrientes : N, P y K, que extraen las cosechas, haciendo un balance previo de todos los aportes existentes de modo que se contabilizasen todos los aportes indirectos, buscando la máxima economía y las mínimas emisiones** (cuando se disponga de información experimental en nuestras condiciones específicas) de GEIs,



Ensayo de fertilización sobre rotación de cultivos (leguminosa-cereal)

- y, por supuesto, **en integrar en este esquema de razonamiento, cualquiera de las acciones como: rotaciones de cultivos (en las que las leguminosas, y especialmente en secano, tendrían un importantísimo papel), mínimo laboreo, siembras directas, etc. Que pueden también reducir los problemas de plagas y enfermedades, los tratamientos fitosanitarios, y conseguir una la mejora de la estructura y del contenido en materia orgánica de los suelos.**

Sobre este segundo aspecto, viene a cuento, recordar en primer lugar, como se recoge en ⁽²²⁾, que:

- *Los suelos son el principal reservorio de carbono, en la fase terrestre de su ciclo. La cantidad total de carbono almacenado en el suelo es de 1,1 a 1,6 billones de toneladas (Sundquist, 1993), más de dos veces el carbono en la vegetación viva (560 mil millones de toneladas), o en la atmósfera (750 mil millones de toneladas). Es esta la razón por la cual, incluso cambios relativamente muy reducidos del carbono almacenado en el suelo podrían generar impactos considerables en el balance global del carbono (Rice, 1999).*
- *E igualmente, sobre el tema de la "Restitución de carbono orgánico del suelo a los suelos cultivados", que se recoge en el mismo documento:*

Los procesos del suelo relacionados con el carbono se caracterizan por el equilibrio dinámico de las entradas (fotosíntesis) y las salidas (respiración). Bajo prácticas de cultivo convencionales, la conversión de los sistemas naturales en terrenos agrícolas cultivados, produce como resultado pérdidas del carbono orgánico del suelo, del orden del 20 al 50% de las existencias anteriores al cultivo, en el primer metro del perfil del suelo (Paustian et al 1997; Lal y Bruce, 1999).

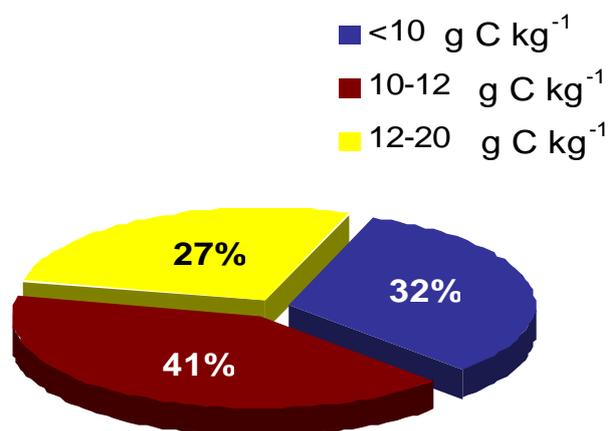
Según el IPCC, 2000 (Grupo internacional de expertos sobre cambio climático), las prácticas mejoradas, permiten generalmente un aumento del carbono del suelo a una tasa aproximada de 0,3 toneladas de carbono por hectárea al año.

Las prácticas no convencionales pueden agruparse en tres clases: intensificación agrícola, laboreo de conservación y reducción de la erosión. Ejemplos de prácticas de intensificación son: las variedades mejoradas, el regadío, la fertilización orgánica e inorgánica, el manejo de la acidez del suelo, el manejo integrado de las plagas, los cultivos dobles intercalados, la rotación de cultivos y el uso de abonos verdes y cultivos cubierta. Los incrementos registrados en el rendimiento de los cultivos conducen a una mayor acumulación de carbono en la biomasa de los cultivos o a una alteración del índice de cosecha. Los mayores residuos de los cultivos, en ocasiones asociados con mayores rendimientos, favorecen el incremento de los depósitos de carbono en el suelo (Paustian et al., 1997).

En alguna referencia española, como la de ⁽²³⁾ realizada en la campaña cordobesa, en un ensayo de larga duración (20 años), se indican cifras totales de secuestro - en ese periodo - de 17,9 toneladas de C por ha, con una tasa anual de 0,9 t/ha y año, así como las diferencias que se producen según el sistema de laboreo o el tipo de rotación de cultivos.

Datos recientes ⁽²⁴⁾ de carbono orgánico en suelos agrícolas de secano en Aragón nos muestran cómo la siembra directa puede ser planteada como una alternativa válida al laboreo tradicional para incrementar los niveles de materia orgánica de los suelos de nuestra región. *“Con siembra directa, el contenido de carbono orgánico en los primeros 20 cm de suelo varía entre 7,06 (1,21% de materia orgánica) y 18,35 g/kg (3,15% de m.o.). En casi un 30% de los campos, este contenido es superior a 12 g/kg (equivalente a 2,6% de m.o.), tal como se aprecia en la figura 3, valor considerado como el mínimo necesario para un óptimo uso agrícola en Europa occidental”.*

Figura 3 - Distribución de los campos de siembra directa de acuerdo con el contenido en carbono orgánico de los primeros 20 cm del suelo



El tiempo transcurrido desde la adopción de la siembra directa (campos de 5 - 19 años), parece ser un factor determinante de los mayores valores de carbono, especialmente en los primeros 5 cm de profundidad. Así, un 50% y 40% de la variabilidad que encontramos entre campos, se debe al número de años continuos bajo siembra directa para las profundidades de 0 - 5 cm y 0 - 20 cm, respectivamente. Prácticas que acompañan a la siembra directa, como rotación de cultivos, retención de residuos de cosechas y aplicación de purines, son también factores responsables del aumento de carbono orgánico, que en algunos casos llega a suponer hasta una ganancia de un 50%, para similares condiciones de clima y suelo.

De dicha referencia⁽²⁴⁾ se deduce, que también los sistemas de siembra directa pueden contribuir a mejorar la fertilidad de los suelos de Aragón a través de una mayor capacidad de almacenamiento de materia orgánica en superficie, con los beneficios que ello conlleva, tanto de carácter agrícola como medioambiental. Sin embargo, esta ventaja sólo será posible si estos sistemas alternativos van acompañados de prácticas de manejo que favorezcan un mayor aporte de residuos vegetales al suelo (retención de residuos de cosecha, rotaciones de cultivo/cultivo continuo, etc.).

Con los conocimientos actuales, no disponemos todavía de un fundamento sólido que nos permita hacer recomendaciones en todos los casos, pero sería deseable intentar entre todos los que trabajamos en el tema de la fertilización, buscar esa convergencia que nos llevase cuanto antes a ese desideratum de la sostenibilidad. En especial desde los planteamientos experimentales que se realizan desde la investigación y la transferencia de tecnología.

II.7. Fertilización y cumplimiento de las normativas

Desde el punto de vista, de las obligaciones que tiene el agricultor (que es realmente el sujeto que practica la fertilización), está claro que existen al menos cuatro situaciones normativas distintas⁽²⁶⁾:

- **una general:** donde las "Directrices sectoriales sobre actividades e instalaciones ganaderas....", de 2009", únicamente limitan el máximo de aporte nitrogenado en forma de estiércoles (un equivalente a 210 kg de N/ha y año), y las distancias a la que se autoriza el traslado de los mismos, pero no hay ninguna otra limitación
- **la de las zonas vulnerables:** donde se limitan los aportes de nitrógeno (proporcionales a las cosechas obtenidas), se establecen unos límites para el aporte de los estiércoles (equivalente a 170 kg N/ha) y orgánicos en general, se contabilizan los aportes indirectos de N, y se limita la época de aplicación de los fertilizantes nitrogenados,
- **la de los agricultores en programas de producción integrada:** que exige controlar la fertilidad del suelo y unos límites de aportes de los tres macronutrientes N-P-K, y
- **la de los agricultores en producción ecológica,** donde según⁽²⁹⁾: *la fertilidad y la actividad biológica del suelo deberán ser mantenidas o incrementadas mediante la rotación plurianual de cultivos que comprenda las leguminosas y otros cultivos de abonos verdes y la aplicación de estiércol animal o materia orgánica, ambos de preferencia compostados, de producción ecológica.*

La producción ecológica recurrirá a las prácticas de labranza y cultivo que mantengan ó incrementen la materia orgánica del suelo, refuercen la estabilidad y la biodiversidad edáficas y prevengan la compactación y la erosión del suelo.

Podríamos señalar que las prácticas que se establecen en la producción integrada en temas de fertilización, sean probablemente las más próximas a lo que aquí estamos proponiendo en estos momentos, pero también deberemos acercarnos a ciertas premisas que marca la agricultura ecológica.

De cualquier manera, y especialmente por los aspectos de sostenibilidad, y economía, - ya que un adecuado desarrollo de la experimentación en el uso de los subproductos orgánicos, permitiría un conocimiento más exacto de los mismos y su relación con parámetros "medibles" de los suelos agrícolas, y consecuentemente unos aportes más ajustados -, **estas propuestas que planteamos, deberían ser asumibles en la mayoría de las situaciones productivas.**

Entendemos que el agricultor debe cumplir, en primer lugar, las normativas que le afecten en su caso particular, pero con toda probabilidad también intuimos, que dichas normativas no son una traba en el camino hacia una práctica de fertilización más sostenible.

II.8. Cómo razonar la fertilización con unos determinados subproductos orgánicos

Los ejercicios de cálculo de abonado con subproductos orgánicos que vamos a plantear, no dejan de ser un tanteo o intento de ajustar los aportes de los 3 macronutrientes N-P-K, pero sin experiencia previa de cómo van a ser los resultados, dado que:

- Si en general, como ya hemos indicado, las referencias utilizadas hasta el momento han sido suficientemente holgadas, y que, en numerosas situaciones, tratando de corregir la menor eficiencia de los orgánicos, se aplican cantidades superiores,
- Las "necesidades de las cosechas" que proponemos utilizar (valores medios de las referencias Canadienses), están por debajo de los patrones más próximos utilizados en estos momentos: por ejemplo el considerar 30 kg de N/ t de grano en los cereales en general (que se utilizan en la norma de las zonas vulnerables), cuando aquí van a ser inferiores en el caso de la cebada (24,5 kg N/t) y del maíz (22,3).
- Dada la variabilidad de los contenidos de N en el caso de los purines, y la disparidad de referencias sobre los mismos (Ziegler et al, Ferrer M. et al, Yagüe MR, etc), tendremos que utilizar sistemáticamente análisis de campo (conductímetros, u otros), para dosificar los aportes con precisión.
- En el caso de utilizar estiércoles sólidos o fiemos, al no tener referencias propias, tomaremos las de mineralización del N orgánico, indicadas en la tabla francesa reseñada por Cohan y Bouthier⁽¹⁰⁾ para los 12 meses que siguen a su aplicación (A1). Y como no tenemos ninguna referencia más para saber, cuanto puede mineralizarse en el segundo año, tomaremos como hipótesis (sin ninguna base experimental por nuestra parte), que fuera un 30% de los restos disponibles del año anterior.
- En nuestras normativas sobre fertilización (Aragón) no se define en general el tema de la eficiencia de los fertilizantes.
- En los programas de actuación de nuestras zonas vulnerables⁽¹²⁾, cuando se establece el máximo de estiércoles aplicables al suelo, el equivalente a 170 kg de N/ha y año, se indica que debe calcularse respecto al N total que contienen los mismos.
- En las aplicaciones prácticas de purines porcinos, se utiliza la relación Namoniaca/ N total, con valores entre 0,71-0,72⁽²⁶⁾, para asegurarnos que el cultivo va a recibir todo el N necesario en su ciclo productivo, aunque en realidad, con ese razonamiento estamos aplicando cantidades superiores a las necesidades nominales.
- Aún reconociendo previamente que no hemos estudiado la definición del término eficiencia en el tema de la fertilización, en una primera impresión para adaptar ese concepto al contexto de la sostenibilidad, nos parece razonable uno de los términos recogidos en⁽³⁴⁾ que transcribimos a continuación: el original, referido únicamente al N , y el "adaptado" en nuestra interpretación particular, que recogería los tres macronutrientes N, P, y K:



Máquina de siembra directa

Término	Definición	Descripción
<i>Eficiencia del N de los estiércoles</i>	<i>La proporción de N del estiércol que puede ser recuperado por las cosechas, en más de un año, descontados las pérdidas que se producen en su aplicación al suelo</i>	<i>N disponible + N que se espera se mineralice en los años siguientes, menos las pérdidas producidas tras su aplicación (NH₃, NO₃, etc.,...)</i>
Eficiencia N-P-K de los estiércoles ó subproductos orgánicos	Proporción de los macronutrientes N-P-K que pueden ser recuperados por las cosechas, en más de un año, descontadas las pérdidas y/o bloqueos que se producen en su aplicación al suelo y posterior evolución.	

En el futuro trabajo experimental debería irse perfilando el concepto de eficiencia desde la visión de la sostenibilidad, y en el caso específico de los subproductos orgánicos, comenzar por su tipificación (en función de los sistemas productivos de las granjas ganaderas, tiempos y sistemas de almacenaje de estiércoles, sistemas de distribución e incorporación al suelo, tipología de los procesos de compostaje, etc.), análisis (contenido en nutrientes y su forma química, relación C/N, mineralización / aprovechamiento en los tres años que siguen a su aplicación...) y la interrelación con los momentos de aplicación, cultivos, tipos de suelos, disponibilidad de agua (regadío o no), etc.

En el caso de los fertilizantes minerales, también deberá hacerse hincapié en el conocimiento de su eficiencia real en el sentido más amplio de la sostenibilidad, precisamente porque la oportunidad del uso de los subproductos orgánicos (en aplicación exclusiva, o más probablemente complementada y/o ajustada con fertilizantes minerales) se conseguirá precisamente cuando sean valorados no sólo por su valor fertilizante, sino por todos aspectos agroambientales, que determina la sostenibilidad.

En consecuencia, los supuestos que proponemos deben tomarse como un planteamiento teórico o como un tanteo, a ajustar en cada situación particular para un periodo de unos cuatro años, tras el cual deberían estudiarse los resultados productivos obtenidos, analizar de nuevo los suelos, y estudiar la evolución de los parámetros del mismo.

Dos situaciones (secano y regadío) y varios supuestos de como razonar la fertilización con unos determinados subproductos orgánicos

II.8.1. Supuestos de fertilización con orgánicos en SECANO

Utilizaremos en este grupo de supuestos un mismo análisis de suelo como punto de partida, para razonar los aportes de nutrientes, como el que sigue. Recoge los resultados medios de la muestra compuesta, en los dos niveles de profundidad: 0-30 y 30-60 cm.:

Determinaciones		Contenidos medios	
		0 - 30	30 - 60
Granulometría	Arena total	43,96	39,09
	Limo grueso	13,13	14,35
	Limo fino	19,11	19,91
	Limo Total	32,24	34,26
	Arcilla	23,81	26,69
Fertilidad	pH al agua	8,27	8,28
	Prueba previa de salinidad	0,15	0,14
	Materia orgánica	2,13	1,71
	Fósforo Olsen	9,49	6,97
	Potasio, acetato amónico	150,0	114,0
Cationes	Magnesio	0,69	0,59



Aplicación de purines con cuba tradicional ("abanico")

Interpretación esencial:

Textura: *franca*.

Prueba previa de salinidad: *sin problemas por salinidad*

Contenido en **fósforo** (para cereales): *bajo*

Contenido en **potasio** (cereales, secano): *alto*

Materia orgánica: *adecuado (alto)*.

SUPUESTO 1. Secano. Fertilización de cereales de invierno

Para cereal de invierno, cuyas producciones de referencia eran originariamente, de 1.200 kg/ha de trigo, y de 1.400 kg/ha de cebada, y se plantea una producción mejorada de hasta 1.800 kg/ha para el trigo, y 2.100 para la cebada.

Dentro de estos supuestos, se plantean 4 opciones:

- Fertilización con **purín de cebadero**, todos los años, hasta cubrir las necesidades de Nitrógeno
- Fertilización con **purín de cebadero**, cada dos años, hasta cubrir las necesidades de Fósforo
- Fertilización con **purín de madres**, todos los años
- Fertilización con **estiércol de ovino**, todos los años

SUPUESTO 1a: Secano / Cereal invierno / con purín de cebadero, aplicación anual

Recordatorio de las necesidades de cosecha (según referencias canadienses, sin tomar en consideración en el cálculo los contenidos de materia seca de la cosecha, tal como se reflejan en los **valores medios** de las *tablas 35 y 36*)

Nivel productivo (kg/ha) y Cultivo	Necesidades de nutrientes (kg/ha)		
	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O
1.400, cebada	1,4 x 24,5 = 34,3	1,4 x 10,1 = 14,1	1,4 x 17,2 = 24,1
2.100, cebada	51,4	21,2	36,1
1.200, trigo	1,2 x 30,4 = 36,5	1,2 x 11,7 = 14,0	1,2 x 18,5 = 22,2
1.800, trigo	54,7	21,1	33,3

Aportes de purín de cebadero a proponer, con unos contenidos de nutrientes (N-P₂O₅-K₂O) del orden de **5,5 - 6,0 - 3,0 kg/m³**. Se considerarán dos tipos de eficiencia respecto al N: una "eficiencia teórica" del 100% (en el sentido estricto, que todo el N fuese disponible para el cultivo en el año de aplicación), y una "eficiencia práctica" del 70%, que viene a coincidir con la respuesta del N amoniacal. Calculamos las dosis a aportar, tratando de cubrir todas las necesidades de N de la producción objetivo:

Nivel productivo (kg/ha), cultivo y eficiencia	Dosis m ³ /ha	Aportes (kg/ha)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2.100, cebada, 100%	51,4 / 5,5 = 9,35	51,40	9,35 x 6,0 = 56,1	9,35 x 3,0 = 28,1
2.100, cebada, 70%	9,35 / 0,7 = 13,4	73,43	13,4 x 6,0 = 80,4	13,4 x 3,0 = 40,2
1.800, trigo, 100%	54,7 / 5,5 = 9,95	54,70	59,7	29,8
1.800, trigo, 70%	9,95 / 0,7 = 14,2	78,10	85,2	42,6

De acuerdo con esas necesidades muy similares, para esas producciones de trigo o cebada, se obtienen unos aportes de purín, también similares. En el **caso de la cebada**, trabajando con las eficiencias prácticas, del 70%, con las dosis calculadas para cubrir las necesidades de N, superamos las de fósforo (80,4 frente a 21,2, en 3,7 veces), pero momentáneamente, no hay problema dado que el análisis del suelo nos dice que es "bajo en fósforo", y presumiblemente también la eficiencia del P del purín porcino, se considera inferior a la de los fosfatos minerales⁽¹⁸⁾, y superamos ligeramente las de potasio (40,2 frente a 36,1).

En el caso del trigo, con la misma eficiencia del 70%, cubriendo las necesidades de N, quedaría el fósforo: 85,2 frente a 21,1 (85,2 / 21,1 = 4,03 veces, podríamos aducir las mismas consideraciones anteriores), y con el potasio, también superamos necesidades (42,6 / 33,3 = 1,28 veces).

Esta forma de cálculo podría mantenerse en tanto nuevos análisis de suelo no reflejen una excesiva elevación del fósforo. Hasta ese momento, el incremento de P es muy positivo.

SUPUESTO 1b: Secano / cereal invierno / purin cebadero, aplicación cada 2 años.

Vistos los cálculos del supuesto anterior, en los que a corto plazo, enriqueceríamos el suelo en fósforo, y ligeramente en el caso del potasio, podría pensarse en otras estrategias de aplicación de purín, tratando de aportar básicamente las necesidades de fósforo, con aplicaciones de purín cada dos años. El año intermedio, aplicar solamente abono nitrogenado mineral, en cobertera. En el secano de nuestro ejemplo, presumiblemente las lluvias de otoño e invierno, no lavarán los restos nitrogenados que puedan quedar en el suelo. Veamos que cifras pueden resultar:

Año 1: Aplicaciones de sólo purin (cebadero), tratando de ajustar el fósforo para dos años

Necesidades en P Cebada: 2.100 kg/ha; 21,2 kg/año P₂O₅. Para 2 años, precisaría 21,2 x 2= 42,4 kg/ha

Aporte de purín cebadero: 42,4 / 6,0 = 7,07 m³

Veamos los aportes, con cada una de las dos eficiencias. En este supuesto, que trataríamos de aportar todo el P asimilable para dos cosechas, no conocemos cuál es el coeficiente de eficiencia para el aprovechamiento del P, por lo que en su lugar, aplicaremos como un posible tanteo, el general del 0,7 utilizado para el nitrógeno.

Nivel productivo (kg/ha), cultivo y eficiencia	Dosis m ³ /ha	Aportes (kg/ha)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2.100, cebada, 100%	7,07	7,07 x 5,5 = 38,8	7,07 x 6,0 = 42,4	7,07 x 3,0 = 21,2
2.100, cebada, 70%	7,07 / 0,7 = 10,1	10,1 x 5,5 = 55,5	10,1 x 6,0 = 60,6	10,1 x 3,0 = 30,3
1.800, trigo, 100%	21,1 x 2 / 6,0 = 7,03	7,03 x 5,5 = 38,7	7,03 x 6,0 = 42,2	7,03 x 3,0 = 21,1
1.800, trigo, 70 %	10,1	10,1 x 5,5 = 55,5	10,1 x 6,0 = 60,6	10,1 x 3,0 = 30,3

En el caso de la cebada, con la eficiencia 100%, basta con **7,07 m³/ha de purín** para aportar el fósforo necesario para dos años, pero no llega a alcanzar el N estricto de 51,4 kg (incluso, con la eficiencia del 70%, se queda en las necesidades nominales: 55,5), y queda por debajo de las necesidades de potasio para un año (21,2 frente a 36,1 kg), pero no hay problema mientras el suelo siga con alto contenido en potasio.

En el caso del trigo, con la misma eficiencia del 100%, con **7,03 m³ de purín**, aportamos el fósforo para dos años, se quedaría corto con el N (38,8 frente a 54,7). Si quisiéramos asegurarnos el aporte de N con la eficiencia del 70% (10,1 m³ de purín) se queda prácticamente en las necesidades nominales: 55,5, frente a 54,7 kg. Respecto al potasio, casi llega a cubrir las necesidades de potasio: (21,2 frente a 33,3 kg K₂O), con la eficiencia al 100%, y las equilibraría con la eficiencia del 70% (30,3 frente a 33,3).

En el año de aplicar únicamente purín de cebadero como fertilizante, incluso los aportes calculados con la eficiencia del 70% (con 10,1 m³ de purín) se quedan un poco justos en volumen, por la dificultad que supone con los equipos tradicionales de tractor-cuba (abanico) de aplicar dosis bajas, inferiores a 15 m³/ha. Hay que puntualizar que la referencia que estamos utilizando en estos supuestos (Ziegler y Heduit, 1991) tienen unos contenidos muy altos en P, que se traducen en volúmenes de purín a aplicar reducidos, si se busca el ajustar el Fósforo. También está ligado a este tema, de los aportes de P, la práctica de remover o no la masa de la fosa de purín, para que los estratos o sedimentos inferiores (que contienen la mayor parte del fósforo) se mezclen con el resto de volumen de toda la fosa y se obtenga un purín más equilibrado en nutrientes.



Cultivo de guisantes

Año 2: Aplicaciones solamente de abonado mineral Nitrogenado, preferentemente en cobertera

Bastaría aplicar el equivalente a 51,4 kg de N, en el caso de cultivo de la cebada, ó 54,7 kg de N, en el caso del trigo.

También aquí, en el uso de los fertilizantes minerales, habrá que hacer intervenir el tema de la eficiencia-como apuntamos en el punto II.8-que habitualmente no consideramos.

SUPUESTO 1c: Secano / cereal de invierno / purin de madres, aplicación anual.

En este caso, lo único que varía es la riqueza del purín en nutrientes. Tomaremos como referencia los valores de Yagüe MR, que respecto al contenido en N nos parecen más próximos que los que da la tabla de Ziegler y Heduit, con **3,1 kg N - xx P₂O₅ - xx K₂O**, por m³ de purín. Tratando de aportar sólo el N, pues no tenemos muchas referencias propias de los contenidos de P y de K, quedaría:

Cebada, 2.100 kg: $51,40 / 3,10 = 16,58 \text{ m}^3/\text{ha}$, con una eficiencia del 100%

$16,58 / 0,76 = 21,82 \text{ m}^3/\text{ha}$, con una eficiencia del 76%.

En el caso de este tipo de purines, hemos utilizado una eficiencia del 0,76, de acuerdo con lo reseñado en ⁽²⁶⁾

Trigo, 1.800 kg: $54,70 / 3,10 = 17,60 \text{ m}^3/\text{ha}$, con una eficiencia del 100%

$17,60 / 0,76 = 23,16 \text{ m}^3/\text{ha}$, con una eficiencia del 76%.

En este caso los volúmenes a aplicar son más elevados, como cabía esperar al ser un purín con menor contenido en nutrientes

SUPUESTO 1d: Secano / cereal de invierno / fiemo o estiércol de ovino.

Para este supuesto, tomamos como referencia un estiércol de ovino con una composición distinta, más rica en N, que la que refleja la tabla de Ziegler y Heduit, concretamente con **15,0 - 4,2 - 11,2 kg/t de N - P₂O₅ - K₂O**, y como tampoco figuran en las tablas francesas 29 y 30, indicaciones sobre el % de mineralización del N del estiércol de ovino, tomaremos la hipótesis -citada en otras referencias ⁽³¹⁾- de que su **mineralización en el primer año fuese del 45%. Para el segundo año**, haremos la hipótesis - igual que en todos los subproductos sólidos - de **que fuera del 30% sobre nitrógeno restante del año anterior.**

Veamos qué cifras de aportes resultan para estos cultivos de cereal de invierno, en laboreo tradicional, aportándolo previo a la siembra e incorporándolos al menos, con una labor ligera, durante los tres primeros años.

1^{er} Año:

Nivel productivo (kg/ha) cultivo y eficiencia	Dosis t/ha	Aportes (kg/ha)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2.100, cebada, efic. 100%	51,4 / 15= 3,43	3,43 x 15 = 51,4	3,43 x 4,2 = 14,4	3,43 x 11,2 = 38,4
2.100, cebada, efic. 45%	A1 3,43 / 0,45 = 7,62	7,62 x 15 = 114,3	7,62 x 4,2 = 32,0	7,62 x 11,2 = 85,3
1.800, trigo, efic. 100%	54,7 / 15 = 3,65	3,65 x 15 = 54,7	3,65 x 4,2 = 15,3	3,65 x 11,2 = 40,8
1.800, trigo, efic. 45%	A1 3,65 / 0,45 = 8,11	8,11 x 15 = 121,6	8,11 x 4,2 = 34,1	8,11 x 11,2 = 90,8

A la vista de estas cifras, veríamos en el caso de CEBADA, **utilizando la eficiencia del 45%**, cubriendo las necesidades de N (51,4 kg), sobrepasaríamos las del P (32 / 21,2 = 1,5 veces), lo que no sería problema en una primera etapa, con bajo contenido de fósforo en el suelo, y superaríamos las necesidades de potasio (85,3 / 36,1 = 2,3 veces), que seguiría incrementando la riqueza del suelo en potasio.

2º Año: Con una mineralización del 30%, sobre el **nitrógeno restante del año anterior** -en el caso de la cebada- las 7,62 t de estiércol aportadas, deberían proporcionar la siguiente cantidad de N:

$(114,3 - 51,4) \times 0,3 = 18,8 \text{ kg/ha}$ de N, se liberarán del estiércol aplicado en el año anterior. En consecuencia, el estiércol real a aportar en este 2º año sería el equivalente a:

$51,4 - 18,8 = 32,6 \text{ t de N/ha}$,

que se traducen en $32,6 / 15 = 2,17 \text{ t/ha}$ de estiércol (con 100% de eficiencia), ó $2,17 / 0,45 = 4,82 \text{ t}$ (con el 45% de eficiencia). Veámoslo en el cuadro que estamos manejando:

Nivel productivo (kg/ha) cultivo y fuentes de N	Estiércol t/ha	Aportes (kg/ha)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2.100, cebada, 0,3 s/resto año anterior A1	-	18,8	¿	¿
2.100, cebada, efic 45% s/aporte A2	A2 2,17 / 0,45 = 4,8	4,8 x 15 = 72,3 (72,3 x 0,45 = 32,6)	4,8 x 4,2 = 20,2	4,8 x 11,2 = 53,9
Sumas Fuentes de N (Neto) cebada, Año 2		18,8 + 32,6 = 51,4	¿	¿

Con estos aportes, se cubren las necesidades de N (51,4 kg), prácticamente también las de fósforo: 20,2 kg de P₂O₅, y se superan las de K₂O: 53,9 frente a 36,1 kg (1,5 veces).

3^{er} Año: Para este tercer año, ya cuesta más aventurar, cuáles podrían ser los aportes nitrogenados del aporte del año 1 (A1), por lo que calcularemos únicamente los provenientes del año 2 (A2), y el resto (A3) que deberá completar lo que falte.

Mineralización s/restos de A2: $(72,3-32,6) \times 0,3 = 11,91$ t N /ha.

Nivel productivo (kg/ha) cultivo y fuentes de N	Dosis estiércol t/ha	Aportes (kg/ha)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2.100, cebada(0,XX s/A1)	-	¿	¿	¿
2.100, cebada (0,3 s/restos A2)	-	11,91	¿	¿
2.100, cebada, aportes A3	$(51,4-11,91)/15 = 2,63$ t 100%	2,63 x 15 = 39,45	5,85 x 4,2 = 24,5	5,85x11,2= 65,52
	2,63 / 0,45 = 5,85 t efic. 45%	5,85 x 15 = 87,75 87,75 x 0,45 = 39,49		
Suma fuentes N neto 2.100 cebada	-	11,91 + 39,49 = 51,40	¿	¿

Observando los resultados plasmados en el cuadro -ya simplificando, igual que en el 2^o año, únicamente para la cebada- nos dan un aporte de **5,85 t de estiércol**, para alcanzar prácticamente las necesidades netas de N de la cosecha. Los aportes conocidos de fósforo P, 24,5 kg, cubrirían las necesidades (21,2). Las necesidades de potasio, se cubren con el aporte A3: $65,52 / 36,1 = 1,8$ veces frente a las necesidades.

II.8.2. Fertilización con orgánicos EN REGADÍO

Para los supuestos de regadío utilizaremos como ejemplo un Análisis de suelo como el que sigue, recogiendo los resultados medios de la muestra compuesta, en los dos niveles de profundidad 0-30 y 30-60 cm.

Determinaciones		Contenidos medios	
		0 - 30	30 - 60
Granulo- metría	Arena total	22,91	23,69
	Limo grueso	11,85	12,09
	Limo fino	35,36	34,39
	Limo total	47,21	46,48
	Arcilla	29,88	29,83
Fertilidad	pH al agua	8,0	8,0
	Prueba prev salinidad	0,4	0,3
	Salinidad (CEe)	2,0	-
	Materia orgánica	1,97	0,90
	Nitratos (N-NO ₃)	31,1	16,85
	Fósforo Olsen	37	25
Cationes c.	Potasio acetato amonico	290	264
	Magnesio	24,85	21,80



Aspecto superficial y granulometría de un montón de compost

Interpretación esencial:

Textura: franco-arcillosa, de tipo fino Contenido en **materia orgánica:** medio

Salinidad: en principio no hay problema de salinidad, aunque es ligeramente elevada en la profundidad 0-30 cm.

N en forma de nitratos ($N^-NO_3^-$): en el momento del muestreo, el suelo contiene 187 kg/ha de N asimilable (en forma nítrica) en los primeros 60 cm de suelo, y especialmente en la capa 0-30 cm. Debería tenerse en cuenta en el aporte nitrogenado.

Contenido en **fósforo:** para cereales, forrajes, y maíz, resulta **muy alto**.

Contenido en **potasio:** para maíz regadío, resulta **alto**.

Supongamos que nos proponen fertilizar con **purines porcinos de cebo**, o con **fiemo de pollos**, de los que pueden disponer en la zona con igual facilidad. La fertilización se va a plantear a una **rotación de cultivos** que va a iniciarse, de **maíz-trigo, alfalfa (5 años), en un total de 7 años**. El cultivo anterior ha sido maíz.

SUPUESTO 2. Regadío / sobre una rotación / alternativa de cultivos

SUPUESTO 2. en regadío / sobre rotación de cultivos / con purín porcino cebo

Recordatorio sobre las necesidades de las cosechas: En este ejercicio consideraremos el cálculo de necesidades de N-P-K, sobre un determinado contenido en materia seca de la cosecha (86%), tal como debería hacerse cuando se utiliza la tabla de las referencias canadienses (**Tabla 33**), lo que supone un mayor ajuste de los aportes fertilizantes, aunque por simplificar, utilizaremos los valores medios de las tablas 35 y 36, (pero sin olvidar nunca que en cada caso particular deberían utilizarse las referencias "total" ó "exportado" según sea el caso):

Nivel productivo (kg/ha) y Cultivo	Aportes (kg/ha)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
13.000 kg maíz (11.180 kg m.s.)	11,18 x 22,3 = 249	11,18 x 9,6 = 107	11,18 x 13,9 = 155
5.250 kg trigo (4.500 kg m.s.)	4,5 x 30,4 = 137	4,5 x 11,7 = 53	4,5 x 18,5 = 83
80.000 kg alfalfa (13.500 kg m.s.)	--	13,5 x 6,9 = 93	13,5 x 30 = 405

Veamos ahora, unos posibles planteamientos de la fertilización -dado que disponemos de dos tipos de estiércoles para aplicar- de cada año de la rotación/alternativa:

Año 1, cultivo de maíz / con purín de cebadero:

Dado que el análisis de suelo nos indica **una disponibilidad** equivalente a **187 de kg/ha de N**, solamente habrá que aportar: $249-187= 62 \text{ kg/ha}$.

Contenido en nutrientes del purín de cebo: **5,5 (N) - 6,0 (P₂O₅) - 3,0 (K₂O) kg/m³**

Nivel productivo (kg/ha), cultivo y eficiencia	Dosis m ³ /ha	Aportes (kg/ha)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
13.000 kg, maíz, 100%	62 / 5,5 = 11,27	11,27 x 5,5 = 62	11,27 x 6,0 = 68	11,27 x 3,0 = 34
13.000 kg, maíz, 70%	11,27 / 0,7 = 16,1	16,1 x 5,5 = 88	16,1 x 6,0 = 97	16,1 x 3,0 = 48,3

Con estos aportes de purín, de **16-17 m³/ha**, cubriríamos -en esa primera etapa con una cantidad notable de N disponible en el propio suelo- presumiblemente las necesidades de N. El fósforo quedaría ligeramente por debajo de las necesidades: 97 kg frente a 107, pero no hay ningún problema pues se trata de un suelo con contenido en P muy alto. En el caso del potasio, los aportes (48,3 kg) quedan muy cortos respecto a las necesidades teóricas de 155, aun considerando que en un suelo con contenido alto, bastaría con aportar un 50% de las necesidades (75 kg), habrá que vigilar consecuentemente el comportamiento del potasio en este suelo.

Año 2, cultivo de trigo / con purín cebadero:

Asumimos que no hay un residuo de N, como ocurría en el caso del maíz, por lo que trataremos de cubrir todas las necesidades de N con los aportes fertilizantes.

Nivel productivo (kg/ha), cultivo y eficiencia	Dosis purin cebo m ³ /ha	Aportes (kg/ha)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
5.250 kg, trigo, efic 100%	137 / 5,5 = 24,91	24,9 x 5,5 = 137	24,9 x 6,0 = 149	24,9 x 3,0 = 75
5.250 kg, trigo, efic 70%	24,91 / 0,7 = 35,5	35,5 x 5,5 = 195	35,5 x 6,0 = 213	35,5 x 3,0 = 107

Con los 35,5 m³ de purin, calculados para asegurar el suministro de la totalidad del N, se cubre con creces, igualmente el aporte de P: 213 frente a 53 kg de necesidades, (además el suelo tiene un contenido muy alto en fósforo), y también el de potasio. Hay que señalar que el exceso de fósforo que se aporta, quedará en el suelo, resultando un mayor enriquecimiento, que o bien es aprovechado por otro cultivo de la rotación, o habrá que buscar otras estrategias de fertilización a medio plazo.

Año 2, cultivo de trigo/ con fiemo de pollos:

En este mismo Año 2, una posible alternativa sería **fertilizar con fiemo de pollos**, que en el planteamiento del ejemplo está como igualmente disponible. Si tomamos la fuente de referencia, Tabla 32 (ITAVI 1996-1999), para "Fiemos de pollos de carne", "en condiciones secas": **26 - 24 - 19, N - P₂O₅ - K₂O, kg/t**, obtendremos las siguientes necesidades de aportes:

Nivel productivo (kg/ha) cultivo y eficiencia	Dosis fiemo pollos t/ha	Aportes (kg/ha)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
5.250 kg trigo, efic 100%	137 / 26 = 5,27	5,27 x 26 = 137	5,27 x 24 = 126	5,27 x 19 = 100
5.250 kg trigo, efic media 80% s/tabla 29	5,27 / 0,8 = 6,59	6,59 x 26 = 171	6,59 x 24 = 158	6,59 x 19 = 125

La seguridad del aporte nitrogenado se haría con **6,59 t** de fiemo (0,8 de eficiencia). El fósforo, con 158 kg cubre con creces las necesidades (53 kg), y así mismo el K: 125 kg de aporte frente a las necesidades (83 kg). Se seguiría enriqueciendo el suelo en P y en K.

Año 3º, (y del 4 al 7) con cultivo de alfalfa:

En este cultivo podríamos razonar los aportes, bien para conseguir el aporte del fósforo (93 kg/ha y año), ó bien para el de la potasa (405 kg/ha y año), en una sóla aplicación de estiércol anual:

Versión con PURIN DE CEBO (5,5-6,0-3,0)

Nivel productivo (kg/ha) cultivo y eficiencia	Dosis purin cebo m ³ /ha	Aportes (kg/ha)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
80.000 kg alfalfa 13.500 kg m.s.	s/P: 93 / 6,0 = 15,5	(15,5 x 5,5 = 85)	15,5 x 6,0 = 93	15,5 x 3,0 = 46
"	s/K ₂ O: 405 / 3,0 = 135	(135 x 5,5 = 742)	135 x 6,0 = 810	135 x 3,0 = 405

Versión con FIEMO DE POLLOS (26-24-19)

Nivel productivo (kg/ha) cultivo y eficiencia	Dosis fiemo pollos t/ha	Aportes (kg/ha)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
80.000 kg alfalfa 13.500 kg m.s.	s/P: 93 / 24 = 3,88	(3,88 x 26 = 101)	3,88 x 24 = 93	3,88 x 19 = 74
"	s/K ₂ O: 405 / 19 = 21,3	(21,3 x 26 = 554)	21,3 x 24 = 511	21,3 x 19 = 405

En ambos casos puede verse que si tratamos de aportar toda la potasa, llegamos a volúmenes de purín o de fiemo, excesivos, **con un injustificable aporte de N, y también de fósforo**. Por tal motivo, parece más razonable calcular las aportaciones atendiendo al aporte de fósforo, y ver cómo evolucionan las reservas de potasa del suelo, cuando pasen los 5 años de la alfalfa.

Año 8, y reinicio de la rotación/ alternativa, con cultivo de MAIZ

Tras levantar la alfalfa, dejará un residuo en las raíces, estimable como mínimo en 100 kg/ha de N (s/ ref del programa de actuación de las Zonas vulnerables de Aragón, para el año o cultivo siguiente al levantamiento de la alfalfa, y unos 30 kg de N, para el 2º año). Si se continúa con la misma rotación de cultivos, volveríamos a la introducción del maíz

Las necesidades del maíz: **249 - 107 - 155 kg/ha de N - P₂O₅ - K₂O**

En nuestra situación concreta, para el N, quedaría por aportar: 249 - 100 = **149 kg de N/ha**

Versión de fertilización con PURIN DE CEBO (5,5-6,0-3,0)

Nivel productivo (kg/ha) cultivo y eficiencia	Dosis purin cebo m ³ /ha	Aportes (kg/ha)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
13.000 kg de maíz, efic 100%	s/N: 149 / 5,5 = 27,09	27,09 x 5,5 = 149	27,09 x 6,0 = 162	27,09 x 3,0 = 81
13.000 kg maíz, efic 70%	27,09 / 0,7 = 38,7	38,7 x 5,5 = 212	38,7 x 6,0 = 232	38,7 x 3,0 = 116

Con 38,7 m³ de purín, calculados para cubrir las necesidades de N, casi doblaríamos las de fósforo (P₂O₅) (232 kg frente a 107), y no llegaríamos a reponer todo el potasio (116 frente a 155).

Versión de fertilización con FIEMO DE POLLOS (26- 24-19)

Nivel productivo (kg/ha) cultivo y eficiencia	Dosis fiemo pollos t/ha	Aportes (kg/ha)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
13.000 kg de maíz, efic 100%	s/N: 149 / 26 = 5,73	5,73 x 26 = 149	5,73 x 24 = 137	5,73 x 19 = 109
13.000 kg maíz, efic 80%	5,73 / 0,8 = 7,16	7,16 x 26 = 186	7,16 x 24 = 172	7,16 x 19 = 136

Con 7,16 t de fiemo, cubrimos las necesidades de N, superamos un 60% las de fósforo: 172/107= 1,6 veces, y nos acercamos más a cubrir las necesidades de potasio: 136/ 155= 0,88.

II.8.3. Nota final sobre estos supuestos de razonamiento de la fertilización

Se ha intentado contemplar un número de situaciones suficientes para que cualquiera que lo requiera, encuentre un caso que pueda asimilar al suyo concreto.

Los supuestos contienen un gran número de hipótesis, en cuanto a contenido de nutrientes en un producto determinado o la eficiencia de esos nutrientes, por ejemplo. Ello es debido a la falta de conocimiento experimental para concretar muchos de esos parámetros. De modo que, en rigor, hay que trabajar con "horquillas" de valores, a veces muy amplias.

En los supuestos, deliberadamente hemos obviado los aportes de nutrientes (nitrógeno, sobre todo) procedentes de la materia orgánica del suelo y del agua de riego, para no complicar aun más el seguimiento de los cálculos. Hemos ido al tema esencial de esta publicación, pero esos nutrientes deben considerarse, y es sencillo hacerlo de una forma aproximada.

Por motivos similares, se tratan exclusivamente los macronutrientes principales (N, P, K), pero está claro que los productos orgánicos que hemos puesto como ejemplo (y cualquiera que se utilice) aportan también otros nutrientes, con un importante valor adicional.

Estos supuestos tienen, al menos, el valor de ser "punto de partida" para cualquiera que se encuentre en la situación de poder utilizar subproductos orgánicos como fertilizantes. Evidentemente, para cada caso concreto los cálculos se deberán mejorar con la información de que se disponga (análisis del producto, del suelo, producciones, costes, etc.)



Vacuno en estabulación libre
(esférrol sólido)

II.9. Consideraciones finales

Se ha tratado de dar aquí una visión amplia de las posibilidades de utilización de subproductos orgánicos, aportando y utilizando la información disponible. Entendemos que esto debía hacerse para tratar de facilitar al usuario de estos productos, una orientación en sus prácticas de fertilización.

No obstante, durante la realización del trabajo hemos sido aún más conscientes de la existencia de numerosas carencias, que podemos concretar en dos aspectos fundamentales:

- Falta una caracterización fiable de los subproductos orgánicos. A menudo disponemos de datos dispersos, y tablas con una gran dispersión de valores.
- No se conoce la eficiencia del aprovechamiento de los nutrientes contenidos en subproductos orgánicos. Al menos, no con la exactitud mínima necesaria, y para condiciones climáticas y de manejo, concretas

Pensamos que avanzar hacia un aprovechamiento óptimo de los nutrientes que entran en nuestros circuitos de producción (agricultura-ganadería-alimentación), requiere:

- Divulgación de lo que ya se conoce, y de la necesidad de utilizar bien los recursos disponibles.
- Investigación y experimentación coordinadas para obtener una mejor aproximación a lo que se desconoce.
- Facilitar al usuario la disposición de medios y asesoramiento para que realice análisis, bien en laboratorio, o "in situ" en aquellos parámetros que resulte posible. Asociar las demostraciones sobre el uso de esos medios analíticos a demostraciones de aplicación de subproductos orgánicos disponibles a nivel local.
- Decidido control de la generación de subproductos ganaderos, primando por encima de cualquier otra opción su aplicación al suelo con criterios técnicamente aceptables.

El aprovechamiento de los subproductos orgánicos, integrándolos lo más racionalmente posible en la fertilización de los cultivos, es crucial:

- Se trata fundamentalmente de los subproductos ganaderos, pero también de los urbanos y agroindustriales que contienen todos los nutrientes que precisan nuestros cultivos, en proporción más o menos equilibrada.
- Se generan de una forma relativamente dispersa, repartidos por casi toda nuestra geografía.
- No es probable que su producción disminuya en el corto o medio plazo.
- Otras formas de gestión, no ligadas al suelo, son muy costosas. Y a menudo, mucho más contaminantes.

Desde la posición de la divulgación o transferencia de tecnología, quisiéramos señalar que nos parece necesario integrar de partida todos los factores intervinientes y conseguir ajustar, en el menor tiempo posible, los criterios para un aprovechamiento razonable de esos "yacimientos de nutrientes" con el menor impacto ambiental.



Flores de alfalfa

Por razones de urgencia y de economía, debería planificarse la investigación sobre los subproductos orgánicos de forma coordinada. Y que en esta planificación se incluyera una experimentación de campo (a nivel de agricultor/ganadero), paralela y simultánea a los experimentos científicos, que serviría también para conocer la problemática y circunstancias de los destinatarios finales de ese conocimiento científico-técnico.

Nos consta que los resultados de la investigación y experimentación con orgánicos son costosos de obtener. Básicamente, porque su evolución en el suelo es lenta, pero es posible que compartiendo esfuerzos, se pudiese contar con muchas respuestas en un plazo de 6-8 años.

Un mayor conocimiento del uso de los subproductos orgánicos es necesario para el conjunto de la actividad agropecuaria, pero hay algunas prácticas o entornos concretos donde la necesidad es más acuciante, por ejemplo, y a nivel de toda España: en las Zonas Vulnerables (6.390.000 has, en 2005), la Producción Integrada (659.499 ha, 2010) ó la Agricultura Ecológica (1.674.119 ha, 2010), en las que existen regulaciones normativas sobre la fertilización.

Finalmente, podríamos resumir esta Información Técnica en dos ideas fundamentales:

- La situación actual (de transición en todos los órdenes, crisis económica generalizada, degradación ambiental, agotamiento de recursos, ...) plantea la necesidad urgente de aplicar criterios de sostenibilidad en la práctica de la fertilización. Hay que utilizar lo mejor que sea posible las herramientas y conocimientos que ya tenemos en ese campo.
- Bajo esa misma idea de la sostenibilidad, es imprescindible completar con urgencia las carencias en el conocimiento de los subproductos orgánicos, y en especial de los estiércoles sólidos y sus derivados (composts, y otros), con la investigación, experimentación y transferencia adecuadas, para poder "tecnificar" adecuadamente su aprovechamiento en la fertilización.

II.10. Glosario de términos técnicos utilizados

Bulbo húmedo: En el riego por goteo, el agua se aplica al suelo desde una fuente que puede considerarse puntual. El agua se infiltra en el terreno y se mueve en sentido horizontal y vertical. No se moja todo el suelo, sino una parte del mismo, que varía con: las características del suelo, el caudal del emisor y el tiempo de aplicación. En esa parte húmeda del suelo es donde la planta concentrará sus raíces y de la que se alimentará. Toda esa zona mojada constituye el denominado "bulbo húmedo".

Capa freática: adj. Dicho del agua. Que está acumulada en el subsuelo y puede aprovecharse por medio de pozos. (RAE)

adj. Se dice de la capa del subsuelo que contiene estas aguas. (RAE)

La capa freática es la superficie del agua subterránea saturada donde la presión es igual a la atmósfera. También se llama manto freático, nivel freático, ó simplemente, freático. (Wikipedia)

Disponibilidad de N de los estiércoles⁽³⁴⁾: La disponibilidad del N dependerá de la composición del estiércol. El N de los estiércoles está presente como N-NH_4 , y como N-orgánico, pero en estiércoles compostados también puede estar presente como NO_3^- . El N mineral ($\text{NH}_4\text{-N}$ y NO_3^-) es directamente disponible para las plantas, mientras que el N orgánico tiene que ser mineralizado para llegar a ser disponible. Una parte del N orgánico es mineralizable en unos días tras su aplicación al suelo, mientras que otra parte solamente se convierte en disponible tras meses o años, como resultado de una variada/variable descomposición de los compuestos orgánicos. Parte del N mineral del estiércol es inmovilizado en la biomasa microbiana, tras su aplicación al suelo, y una parte de este N inmovilizado es posteriormente estabilizado como compuestos orgánicos de los residuos microbianos.

Gases de Efecto Invernadero (GEIs): Gases que determinan los efectos sobre el denominado cambio climático, y que son seis gases, específicos o grupos de gases: dióxido de carbono (CO_2), Óxido nitroso (N_2O), Hidrofluorocarbonados (HFCs), metano (CH_4), hexafluoruro de azufre (SF_6), y perfluorocarbonados (PFCs),

Humus: m. Geol. Capa superficial del suelo, constituida por la descomposición de materiales animales y vegetales. (RAE).

Es la sustancia compuesta por ciertos productos orgánicos, de naturaleza coloidal, que proviene de la descomposición de los restos orgánicos (hongos y bacterias). Se caracteriza por su color negruzco debido a la gran cantidad de carbono que contiene. Se encuentra principalmente en las partes altas de los suelos con actividad orgánica. Los elementos orgánicos que componen el humus son muy estables, es decir, su grado de descomposición es tan elevado que ya no se descomponen más y no sufren transformaciones considerables. (Wikipedia).

Índice de cosecha: en el caso de los cereales, por ejemplo, es la relación entre el rendimiento en grano y la biomasa total aérea. Se establece respecto a la unidad de superficie: 1 m², que se cosecha y se separa la paja del grano.

Mantillo: Capa superior del suelo formada en gran parte por la descomposición de materias orgánicas.

Abono que resulta de la fermentación y putrefacción del estiércol o de la desintegración parcial de materias orgánicas que se mezclan a veces con la cal u otras sustancias. (RAE)

Purín: Atención a esta denominación cuando se consulta bibliografía francesa. En ella, al igual que en la definición que daba la R.A.E hasta la 21 edic del Diccionario, figura como "la parte líquida que rezuma del estiércol". En la edición 22 del mismo diccionario ya figura como "líquido formado por las orinas de los animales y lo que rezuma del estiércol. En la actualidad, en nuestro país se entiende como purín, el estiércol líquido (básicamente, heces + orina, sin camas) y equivalente más bien al término francés de "lisier"

Reciclar: tr. Someter un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar. (RAE)

tr. Someter repetidamente una materia a un mismo ciclo, para ampliar o incrementar los efectos de este. (RAE)

Reutilizar: tr. Utilizar algo, bien con la función que desempeñaba anteriormente o con otros fines. (RAE).

Vinazas: Residuos de la destilación de los vinos y de las heces. De ellos se obtiene el tártaro. También las vinazas son el subproducto de la fermentación industrial de la melaza para la obtención del alcohol, levaduras, ácido cítrico, lisina o antibióticos. En España, las vinazas más abundantes proceden de la obtención de alcoholes a partir de las melazas de remolacha y suelen tener un contenido en agua superior al 45%. En Europa se comercializan vinazas con un contenido en sustancia seca en torno al 70%, y por tanto más ricas en azúcares, nitrógeno y minerales.(M. Santos et al.)

Reglamento CE Nº 1069/2009:

Estiércol.

Abonos orgánicos y enmiendas del suelo (Reglamento UE Nº 142/2011) :

- **Residuos de fermentación:** los residuos resultantes de la transformación de subproductos animales en una planta de biogás.
- **Guano:** producto natural recogido de los excrementos de murciélagos o aves marinas silvestres y que no está mineralizado
- **Harina de carne y huesos:** proteína animal derivada de la transformación de materiales de las categorías 1 ó 2 de conformidad con uno de los métodos de transformación definidos en el capítulo III, del anexo IV.
- **Planta de biogás:** planta en la que los subproductos animales o productos derivados de animales, son como mínimo, sometidos a degradación biológica en condiciones anaerobias.
- **Planta de compostaje:** Planta en la que los subproductos animales o productos derivados de animales son, como mínimo, sometidos a degradación biológica en condiciones aerobias.
- **Planta de transformación:** Instalaciones o locales para la transformación de subproductos animales, según lo contemplado en el artículo 24, apartado 1, letra a), del Reglamento (CE) nº 1069 /2009, en los que los subproductos animales se transforman de conformidad con lo dispuesto en el anexo IV y/o el anexo X.



Agricultura y ganadería deberían recuperar su carácter complementario

II.11. Referencias bibliográficas:

1. Abonos. Guía práctica de la fertilización. 1962. André Gros.
2. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2ª Edic, 1999. J. Porta, M. López - Acevedo, y C. Roquero. Mundi Prensa.
3. La gestión de la fertilidad de los suelos., 1996. J. Saña Vilaseca, J.C. Moré Ramos, y A. Cohí Ramón. MARM.
4. Balance del nitrógeno de la agricultura española, 2008 y 2009. MARM.
5. El estiércol fluido porcino III. Un intento de síntesis actualizada sobre su uso en fertilización. 1996. Orús Pueyo F. Inf. Técnica del Dpto de Agricultura y Medio Ambiente, del Gobierno de Aragón, N° 10 /1996.
6. Ahorro, Eficiencia energética y Fertilización nitrogenada, IDAE, 2007. Doc N° 6, de la serie "Ahorro y eficiencia energética en la agricultura".
7. Economía de la fertilización en la explotación agraria, 2006. Gil Martínez M., en Fertilización nitrogenada. Guía de actualización. Inf Técnica del Dpto de Agricultura y Alimentación - DGA.
8. Fertilización con purín en doble cultivo anual, en mínimo laboreo y riego por aspersión, 2010. Iguácel F., Yagüe MR., Orús F., y Quílez D. Inf. Técnica del Dpto de Agricultura y Alimentación - DGA, N° 223/2010
9. Interpretación de los Análisis de suelos. Betrán J. y Laboratorio Agroalimentario.DGA.
10. Fertilización nitrogenada, medio ambiente, agricultura y sociedad (Apuntes para una visión global), 2007. Orús F. VI Jornadas RUENA, Pamplona, oct 2007
11. El diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de campo y de laboratorio, 1985. López Ritas J., y López Melida J. 4º edic, edit Mundi Prensa.
12. III Programa de actuación en las Zonas Vulnerables de Aragón, 2009. BOA n° 104, de 3 de junio de 2009).
13. Guía práctica de la Fertilización Racional de los Cultivos en España. 2010. Varios autores. M.A.R.M.(Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino), 259 pags.
14. Buenas Prácticas Agrarias en la aplicación de fertilizantes. Teira M.R., y Ubach N., 2005. Dossier Technic N°6 Buenas Prácticas Agrarias (I). RuralCat - Generalitat de Catalunya
15. La fertilización de los cultivos en suelos calcáreos. Villar Mir J.M.,2005. Dossier Technic N ° 6. Buenas Practicas Agrarias (1). RuralCat - Generalitat de Catalunya.
16. Exploiter d'autres source d'azote, 2009. J.P. Cohan, A. Bouthier. Rev. Perspectives Agricoles, n° 352, janvier 2009.
17. Les engrais de ferme produits par l'aviculture, de Fertiliser avec les engrais de ferme 2001. Institut de l'Elevage - ITAVI - ITCF - ITP
18. Valeur fertilisante des engrais de ferme en phosphore et en potassium, de Fertiliser avec les engrais de ferme 2001. Institut de l'Elevage - ITAVI - ITCF - ITP
19. Valeur fertilisante des engrais de ferme en soufre, en magnesium et en oligo - éléments, de Fertiliser avec les engrais de ferme 2001. Institut de l'Elevage - ITAVI - ITCF - ITP
20. La dynamique de l'azote apporté par les engrais de ferme, 36 - 41, de Fertiliser avec les engrais de ferme 2001. Institut de l'Elevage - ITAVI - ITCF - ITP
21. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas : Una propuesta metodológica. Sarandon S.J. y Flores C.C., 2009. Rev Agroecología 4: 19 - 28, 2009.
22. La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones. Henning Steinfeld, Pierre Gerber, et al., F.A.O. Roma, 2009. Traducción española de la edición inglesa de "Livestock's Long Shadow, en 2006.
23. El secuestro de carbono en la agricultura de secano mediterránea. R.J. López Bellido, J.M.Fontán y L. López Bellido, 2010. Rev Vida rural, feb 2010.
24. Siembra directa en el secano aragonés: Efecto sobre el carbono orgánico en el horizonte superficial del suelo, 2009. López, M.V., Blanco, N., Limón, M.A., Gracia, R.. No Laboreo 4: 10 - 12.
25. Vallés, M. 2009. Análisis de una muestra de explotaciones agrarias vinculada con la práctica de la agricultura de conservación. Informaciones Técnicas del Dpto. de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón. N° 205, 12 p.
26. Uso de los estiércoles en la fertilización agrícola, y su justificación en relación con la normativa aragonesa. 2010. Orús F., Yagüe MR., e Iguácel F. Inf. Técnica del Dpto de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón, N° 219/ 2010.
27. REAL DECRETO 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. BOE, n° 171, de 19 de julio de 2005.
28. Fertilización Nitrogenada. Guía de actualización. 2006, Varios autores. N° extraordinario, de las Informaciones Técnicas del Departamento de Agricultura y Alimentación, Gobierno de Aragón, 196 pags.
29. Reglamento (CE) n° 834 /2007 del Consejo sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos, de 28 de junio de 2007.
30. XXII Jornadas de Ciencia y Tecnología, "Retos del abonado", 6 de abril 2011. Orús F. Escuela Politécnica Superior de Huesca.
31. El Código de Buenas Prácticas Agrarias (I). Fertilización nitrogenada y contaminación por nitratos, 2000. Orús F., Quílez D., y Betrán J. Información Técnica del Dpto. de Agricultura, Gobierno de Aragón, N° 93 / 2000.
32. IPCC (Grupo intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático), 4º Informe.
33. Decreto 94/2009, de 26 de mayo del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba la revisión de las Directrices Sectoriales sobre actividades e instalaciones ganaderas. BOA n° 106, de 05.06.2009.
34. Study on variation of manure N efficiency throughout Europe. J. Webb, P. Sorensen, G. Velthof., et al. European Commission-Dir Gral Environment (Customer reference: ENV.B.1/ETU/2009/0026).

Relación de Informaciones Técnicas. Año 2011

ID	Nº	TÍTULO / Autores	Area	Especie	Técnica	Pags.
443	226/11	Ensayos de fertilización con purín porcino, en cereales de invierno, de secano. Azanuy (Huesca) en laboreo tradicional, y Farasdués (Zaragoza), en siembra directa (2003-2008). <i>Iguácel F., Yagüe MR., Betrán J., y Orús F.</i>	PIA/CITA/ Lab. Agroamb.	Cereales	Fertilización	16
444	227/11	Resultados de la red de ensayos de variedades de maíz y girasol en Aragón. Campaña 2010. <i>Gutiérrez M., Borruey A., Mula J., et al.</i>	Herbáceos	Maíz-girasol	Comparación variedades	28
445	228/11	Resultados económicos 2005-2009 del productor de porcino en Aragón. <i>Iguácel F., Espada M., Alendi y Coop de Caspe.</i>	PIA/ Ent Coop.	Porcino	Gestión tecn.- económica	16
446	229/11	Mejora de la calidad del fruto y reducción de costes de producción de melocotonero y neclarina: Innovaciones técnicas de poda y aclareo de flores y frutos. <i>Espada J.L., y Castañer P.</i>	Leñosos	Melocotón	Poda y aclareo	8
447	230/11	Orientaciones varietales para las siembras de cereales en Aragón. Resultados de los ensayos. Cosecha 2011. <i>Gutiérrez M., Albalat A., Borruey A., Mula J., Agracon, Arento, Cereales TE, y Cooperativas</i>	Herbáceos	Cereales guisante	Comparación variedades	28
448	231/11	Bases para el control de la salmonelosis en las explotaciones porcinas. Coordinación: <i>Mainar R.C. e Iguácel F.</i>	CITA/PIA et al.	Porcino	Sanidad animal	20
449	232/11	Fertilización con subproductos orgánicos (Hacia una gestión sostenible de los nutrientes en la agricultura). <i>Orús F., Betrán J., Iguácel F. y López Sánchez MV.</i>	PIA/Lab. Agro- ambiental/CSIC	Varios cultivos	Fertilización	72

Autores:

Orús Pueyo, F.⁽¹⁾, Betrán Aso, J.⁽²⁾, Iguácel Soterias, F.⁽³⁾ y López Sánchez, M. V.⁽⁴⁾

- ⁽¹⁾ Servicio de Recursos Agrícolas. Gobierno de Aragón.
- ⁽²⁾ Servicio de Seguridad Agroalimentaria. Gobierno de Aragón.
- ⁽³⁾ Servicio de Recursos Ganaderos. Gobierno de Aragón.
- ⁽⁴⁾ Estación Experimental de Aula Dei (C.S.I.C.)

Fotografías: Betrán, J., Iguácel, F. y Orús, F.

Se autoriza la reproducción íntegra de esta publicación, mencionando sus autores y origen: Informaciones Técnicas del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón.

Para más información, puede consultar a la UNIDAD DE TECNOLOGÍA VEGETAL:
Av. Montañana, 930 • 50059 Zaragoza • Teléfono 976 71 63 37 - 976 71 63 44

Correo electrónico: cta.sia@aragon.es - agricultura@aragon.es

■ Edita: Gobierno de Aragón. Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. Dirección General de Alimentación y Fomento Agroalimentario. Servicio de Recursos Agrícolas. ■ Composición: Unidad de Tecnología Vegetal ■ Depósito Legal: Z-3094/96. ■ I.S.S.N.: 1137/1730.

