

ANÁLISIS DE SUELO Y CONSEJOS DE ABONADO

Por Elena Báscones Merino. Dra. Ing. Agrónomo. Profesora Titular de INEA. Directora de Calidad del Laboratorio de Análisis Agrícola.

(Publicación realizada con la Excm. Diputación Provincial de Valladolid)
(ver sección de publicaciones de la web de INEA)

Nota: esta versión en PDF no lleva fotos ni ilustraciones para no ser un archivo demasiado pesado.

1. INTRODUCCIÓN

La nutrición vegetal es el proceso mediante el cual la planta absorbe del medio que le rodea las sustancias que le son necesarias para desarrollarse y crecer. Estas sustancias son exclusivamente de tipo mineral o inorgánicas.

Para garantizar la nutrición de los cultivos y asegurar sus rendimientos en cantidad y calidad se suelen emplear fertilizantes minerales. Las exigencias de sostenibilidad económica y de producción de mínimos impactos ambientales que actualmente condicionan la actividad agrícola obligan a que la aplicación de fertilizantes minerales se calcule y aplique con el máximo rigor científico y técnico.

Los **elementos nutritivos** son aquellos elementos químicos que son absolutamente imprescindibles o esenciales para el desarrollo completo del ciclo vegetativo de las plantas. Son esenciales los siguientes:

Carbono (C)	Hidrógeno (H)	Oxígeno (O)
Nitrógeno (N)	Fósforo (P)	Potasio (K)
Azufre (S)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)
Hierro (Fe)	Zinc (Zn)	Manganeso (Mn)
Cobre (Cu)	Molibdeno (Mo)	Boro (B)
Cloro (Cl)		

A estos 16 elementos podrían añadirse algunos otros, tales como el sodio (Na), el silicio (Si) y el cobalto (Co), que sólo parecen ser necesarios para algunas especies. La anterior relación de elementos nutritivos no debe considerarse completa aún, pues podría incrementarse en el futuro.

De los 16 elementos nutritivos, los tres primeros se hallan libremente a disposición de la planta en el aire: anhídrido carbónico (CO₂) y oxígeno (O₂) y por medio del agua (H₂O) que absorbe. Por esto normalmente se consideran sólo como elementos nutritivos o fertilizantes los 13 restantes.

Los elementos nutritivos pueden clasificarse atendiendo a diferentes criterios. El más frecuente es aquél que responde a la cantidad utilizada por la planta y la frecuencia con que en la práctica es necesaria su aportación al cultivo. Según este criterio se clasifican en:

- ✓ **Macroelementos:** N, P, K, S, Ca y Mg. Son los elementos absorbidos por las plantas en mayores cantidades. Dentro de este grupo se suele distinguir por la frecuencia de la aportación a los cultivos en primarios (N, P y K) y secundarios (S, Ca y Mg).
- ✓ **Microelementos:** Fe, Co, Zn, Mn, Mo, B y Cl. Son elementos que se absorben por la planta en cantidades mínimas.

Esta clasificación es arbitraria y no indica orden de prioridad entre los elementos. Para la planta son todos igualmente esenciales. Solamente a efectos prácticos en relación con la fertilización, es útil esta clasificación, en la que quedan bien destacados como macroelementos primarios, los tres elementos nutritivos bases de la fertilización: N, P y K.

Foto 1: planta

2. EL SUELO

El suelo, parte superior de la corteza terrestre, es el medio ambiente en el cual se desarrollan las raíces y del cual extraen el agua y los elementos nutritivos que necesita la planta, además de servirle de sostén.

El suelo es un sistema complejo y heterogéneo compuesto por la mezcla de diversos materiales sólidos, líquidos y gaseosos. La fase sólida está constituida por una parte mineral, de partículas con formas, tamaños y composición química muy variada, y por una parte orgánica, que abarca desde organismos vivos hasta materiales orgánicos en distintas etapas de descomposición. La fase líquida consiste en agua que rellena parte de los huecos entre las partículas sólidas y que lleva disueltos distintos elementos químicos, según la composición del suelo. Por último, la fase gaseosa está integrada por el aire, que se difunde en el suelo desde la atmósfera, a través de los espacios entre las partículas y los gases producidos en el propio suelo, por lo que la composición y el volumen es variable.

Foto 2: muestra de suelo

La complejidad de este sistema disperso, no sólo se debe a la heterogeneidad de los elementos que lo componen, sino, sobre todo, a que se trata de un sistema muy dinámico, con una gran cantidad de interacciones entre los numerosos y variados factores que intervienen en él.

3. FERTILIDAD DEL SUELO

La nutrición vegetal, básica para un óptimo desarrollo de los cultivos, depende de la capacidad del suelo para suministrar todos y cada uno de los elementos nutritivos, en la forma, cantidad y momento adecuados a las exigencias de los mismos.

La situación del suelo en relación con esta capacidad de abastecer las necesidades de la planta en los diferentes elementos nutritivos es lo que se denomina **fertilidad del suelo**. En este sentido, los suelos de cultivo se pueden encuadrar dentro de alguno de estos grupos:

- ✓ **Suelos ricos**, en los que los cultivos no presentan una respuesta significativa ante el aporte de fertilizantes.
- ✓ **Suelos medios**, según las situaciones (clima, suelo y cultivos) presentan o no respuestas significativas al aporte de fertilizantes.
- ✓ **Suelos pobres**, en los que siempre hay una respuesta positiva de los cultivos al abonado.

Existen varios procedimientos para tratar de estimar el nivel de fertilidad del suelo, entre ellos se encuentran:

a) Análisis de suelos

Las determinaciones más frecuentes en los análisis de suelos son: textura, materia orgánica, pH, conductividad, sodio, calcio, magnesio, fósforo, potasio, nitrógeno, carbonatos, caliza activa, etc.

La primera dificultad relacionada con la estimación de la fertilidad mediante el procedimiento de analizar el suelo es la de obtener una muestra que sea razonablemente representativa, ya que el 85 % del error total del análisis de suelos se debe a la muestra. De aquí la importancia de la correcta toma de muestras.

Foto 3: destilador

b) Análisis de plantas

La determinación del contenido en la planta de un elemento en particular para estimar el grado de fertilidad del suelo parte del principio de que los elementos nutritivos absorbidos por la planta estaban en el suelo en forma asimilable.

Pero este método también tiene serias limitaciones, como es la gran variabilidad en el contenido de elementos que no sólo se produce entre cultivos diferentes, sino entre variedades de un mismo cultivo. Esta variabilidad se extiende a una misma planta y un mismo elemento, dependiendo de la parte de la planta, la edad y la interacción que existe entre los diferentes elementos nutritivos. Por último, el contenido de un elemento en la planta es representativo de la cantidad absorbida que puede haberse visto favorecida o perjudicada por determinados factores accidentales que enmascararían la verdadera fertilidad del suelo.

Foto 4: plantas secas para analizar

4. ANÁLISIS DE SUELOS

4.1. TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestra se hará después de la recolección y antes de abonar. La muestra tiene que ser representativa de la parcela y para ello se harán tomas en diversos puntos siguiendo un zigzagueo por cada zona homogénea de la parcela.

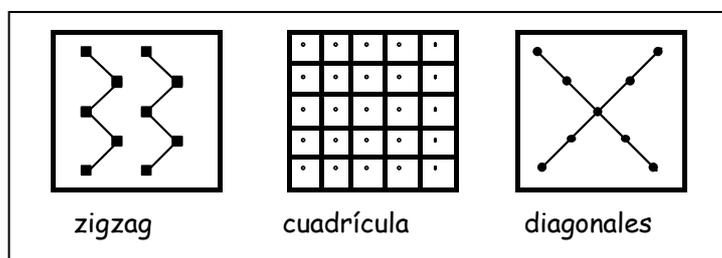


Figura 1: Toma de muestras

Hay que mezclar bien todas las tomas y enviar al laboratorio entre 1 y 2 kg. No se deben dejar las muestras al sol ni exponerlas a altas temperaturas.

Foto 5: barrena para la toma de muestras

Para cultivos herbáceos la muestra se tomará a una profundidad de 0 a 30 cm. Para cultivos leñosos se tomarán dos muestras, una de 0 a 30 cm de profundidad (suelo) y otra de 30 a 60 cm (subsuelo).

En la toma de muestras hay que tener cuidado con:

- ✓ No apurar hasta el límite la separación entre suelo y subsuelo para evitar contaminaciones entre estas capas ya que normalmente la capa de subsuelo es menos fértil que la capa de suelo.
- ✓ Retirar la cubierta vegetal antes de proceder al muestreo.
- ✓ Usar herramientas limpias.
- ✓ No usar herramientas galvanizadas o de bronce si se quieren analizar micronutrientes como cinc o cobre.

4.2. ANÁLISIS DE SUELO Y SU INTERPRETACIÓN

4.2.1. Textura

La textura expresa las proporciones de los diversos tamaños de las partículas inorgánicas que contiene una muestra de tierra. Se llama fracción textural al conjunto de partículas cuyos tamaños están comprendidos dentro de un cierto intervalo. Así, se definen dos macrofracciones texturales:

- ✓ Tierra gruesa: partículas de $\varnothing > 2 \text{ mm}$
- ✓ Tierra fina: partículas de $\varnothing < 2 \text{ mm}$

Desde un punto de vista edafológico nos va interesar la tierra fina ya que va a definir las propiedades físico-químicas del suelo.

Foto 6: tamiz de 2 mm

A su vez, en la macrofracción tierra fina se distinguen tres fracciones texturales: arcilla, limo y arena, que según la clasificación USDA (Departamento de Agricultura de USA):

- ✓ Arena: partículas de \varnothing entre 2,0 y 0,05 mm
- ✓ Limo: partículas de \varnothing entre 0,05 y 0,002 mm
- ✓ Arcilla: partículas de $\varnothing < 0,002$ mm

El Método Oficial para la determinación de la textura de una muestra de suelo es el Método del densímetro de Bouyoucos, que se basa en la diferente velocidad de sedimentación de las partículas del suelo en función de su tamaño.

Foto 7: determinación de la textura

Una vez determinados los correspondientes porcentajes de arena, limo y arcilla de una muestra de suelo, se determina la clase textural mediante el uso del triángulo textural. Este triángulo está dividido en diferentes recintos de diferentes texturas pero análogas propiedades físicas y químicas.

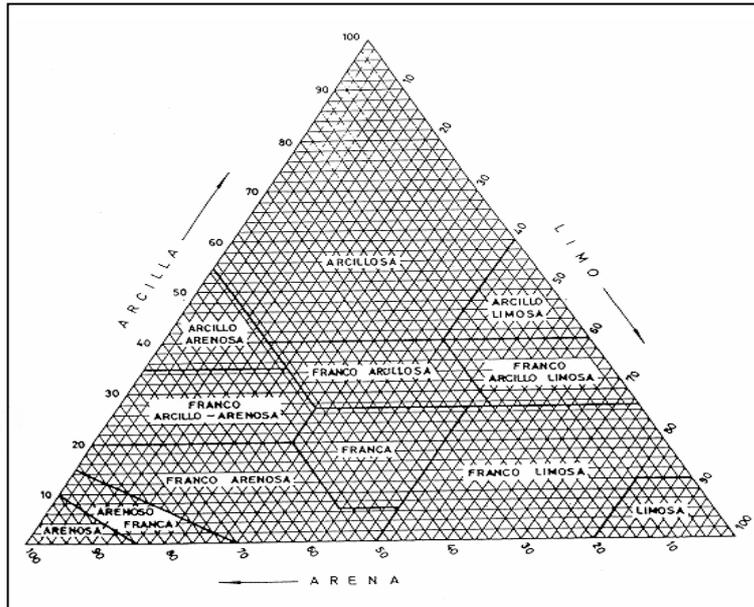


Figura 2: Diagrama triangular para la determinación de la textura, clasificación del USDA.

Las diferentes clases texturales se agrupan en tres categorías que definen el tipo de terreno:

	TIPO DE TERRENO		
	LIGERO	MEDIO	FUERTE
T E X T U R A	Arenosa Arenosa-Franca	Franco-Arenosa Franco-Arcillo- Arenosa Franco-Limosa Franca Limosa	Franco-Arcillosa Franco-Arcillo- Limosa Arcillo-Limosa Arcillosa Arcillo-Arenosa

Los terrenos ligeros presentan las siguientes características:

- ✓ Desde el punto de vista de las características físicas del suelo, tienen poca capacidad de retención de agua, elevada permeabilidad, buen drenaje, buena aireación y el tiempo de tempero es mayor.
- ✓ Desde un punto de vista químico, son suelos inertes, lavados y de pH ácido.

Por el contrario, los terrenos fuertes:

- ✓ Desde el punto de vista de las características físicas del suelo, son capaces de retener gran cantidad de agua, pero tienen peor permeabilidad, aireación y drenaje y son más difíciles de trabajar.
- ✓ Desde un punto de vista químico, son suelos fértiles, con una elevada Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y un pH más básico.

Por su parte, los terrenos medios presentan propiedades intermedias entre los ligeros y los fuertes y son los más adecuados para el desarrollo de los cultivos.

La corrección de la textura no es viable en grandes superficies.

4.2.2. pH

El pH expresa la concentración de iones hidrógeno (H^+) presentes en la solución del suelo y se define como:

$$pH = - \log [H^+]$$

Los Métodos Oficiales de Análisis de Suelos determinan la acidez activa midiendo el pH de una suspensión suelo-agua (1/2,5) y la acidez potencial midiendo el pH sobre suspensiones de suelo con KCl 0,1 M (1/2,5).

Foto 8: pHmetro

Según el pH, los suelos se clasifican en:

pH	Valoración
$\text{pH} \leq 5,5$	Muy ácido
$5,5 < \text{pH} \leq 6,5$	Ácido
$6,5 < \text{pH} \leq 7,5$	Neutro
$7,5 < \text{pH} \leq 8,5$	Alcalino
$\text{pH} > 8,5$	Muy alcalino

El pH es muy importante en las propiedades del suelo porque:

— Regula las propiedades químicas del suelo

- ✓ Determina la disponibilidad del resto de los cationes para las plantas.
- ✓ Influye sobre la CIC, que es menor en suelos ácidos que en los básicos.

— Influye sobre las propiedades biológicas del suelo: tanto las plantas como los microorganismos del suelo presentan un determinado intervalo de pH óptimo para su crecimiento, generalmente próximo a la neutralidad.

Los suelos ácidos y muy ácidos no son adecuados para el correcto desarrollo de los cultivos ya que provocan:

- ✓ Carencia de Ca para plantas y microorganismos.
- ✓ Exceso de Al y Mn en la solución del suelo, tóxico para la vegetación.

El control de la acidez exige neutralizar los H^+ de la solución del suelo (corrección de la acidez activa) y desplazar hidrogeniones del complejo de cambio que deberán ser sustituidos por bases (corrección de la acidez potencial), originando con ello una subida del pH. Se emplean

habitualmente compuestos cálcicos y magnésicos (carbonatos, óxidos e hidróxidos). Debido a que es más frecuente el uso de productos cálcicos, la operación destinada a corregir la acidez del suelo, se denomina **encalado**.

Para determinar la necesidad o no de encalar, se seguirán las siguientes recomendaciones, siendo el Ca^{2+} el extraído con una solución de acetato amónico 1 N pH 7:

pH	Ca^{2+} (mg/kg suelo)	Estado cálcico	Necesidad de encalar
$\text{pH} \geq 6,5$	Cualquiera	Satisfactorio	No necesita. Control cada 2 o 3 años
$5,5 < \text{pH} \leq 6,5$	$\text{Ca}^{2+} \geq 2000$	Satisfactorio	Encalado de conservación
	$\text{Ca}^{2+} < 2000$	No satisfactorio	Encalado de corrección
$\text{pH} \leq 5,5$	Cualquiera	No satisfactorio	Encalado de corrección

Cuando sea necesario efectuar un encalado de conservación para evitar la descalcificación del suelo, se utilizarán abonos calcificantes o un ligero encalado de mantenimiento.

Si es necesario hacer un encalado de corrección, el pH final que pretendemos alcanzar con el encalado será de 6,5, aunque en algunos cultivos como la patata se recomienda no pasar de $\text{pH} = 6$.

No debe aportarse en una vez una cantidad de enmienda que suponga una modificación de pH superior a una unidad. En los suelos muy ácidos se efectuará la corrección en varios años.

La cal viva necesaria (kg CaO /ha) para elevar una unidad de pH en diferentes tipos de suelos, de forma aproximada es:

Tipo de suelo	4,5 a 5,5	5,5 a 6,5
Arenoso	850	1250
Franco	1100	1700
Limoso	1600	2100
Arcilloso	2000	2400

Se emplearán cantidades proporcionales cuando el valor del pH a modificar sea diferente de 1 unidad y la profundidad del suelo que se trata de encalar sea diferente de 15 cm. Estas serían dosis teóricas que habría que corregir en función de la pureza del producto empleado y de la eficiencia del tratamiento.

Además de la cal viva, podemos emplear otros productos, cuyo poder neutralizante, dando un índice 100 a la cal viva, es de:

Cal viva CaO	100
Cal apagada Ca(OH) ₂	76
Dolomita CaCO ₃ •MgCO ₃	61
Caliza CaCO ₃	56
Silicato cálcico	48
Yeso CaSO ₄ •2H ₂ O	33
Espumas de azucareras	20

Las cales, vivas y apagadas, son las enmiendas de acción más rápida y se considera que prácticamente en un mes pueden reaccionar con el suelo y realizar su acción neutralizante. Con una velocidad intermedia pueden considerarse las espumas de azucareras y el yeso, y finalmente los productos más lentos son las calizas, dolomitas y silicatos.

Estas enmiendas se realizan con el suelo desnudo, en otoño o primavera (preferiblemente en otoño). Para evitar pérdidas de producto no deben hacerse aplicaciones con suelos muy

húmedos o en las épocas en que amenacen lluvias importantes.

De acuerdo con el calendario de siembras y según el producto a utilizar como enmienda, es recomendable:

- ✓ Anticiparse al menos un mes a la fecha de siembra para los encalados con cal viva.
- ✓ Para los encalados con espumas de azucareras, se aportará la enmienda entre uno y dos meses antes de la siembra.
- ✓ Para encalados con caliza, realizar el encalado unos tres meses antes de las siembras.
- ✓ Para encalados con dolomita, se deberá actuar con una antelación de tres a seis meses a las siembras.

No pueden mezclarse, ni permitir que se pongan en contacto, las enmiendas calizas con el estiércol ni con los fertilizantes nitrogenados amoniacales, por los riesgos de volatilización de nitrógeno amoniacal.

Tampoco deben mezclarse con los superfosfatos de cal o con las escorias fosfatadas, por existir el peligro de retrogradación de las formas asimilables a fósforo no asimilable.

4.2.3. Conductividad eléctrica

Un suelo salino es aquel que presenta una elevada concentración de sales en solución y que muestra las siguientes características:

- ✓ Elevada presión osmótica, por lo que disminuye la disponibilidad de agua para las plantas.
- ✓ Si las sales son de Na además destruyen la estructura del suelo.

- ✓ Toxicidad al sobrepasar una concentración determinada (toxicidades específicas a Na, Cl, B).

Los Métodos Oficiales de Análisis de Suelos determinan la prueba previa de salinidad midiendo la CE de una suspensión suelo-agua (1/5) a 25 °C. Al aumentar la concentración de sales, aumenta la CE.

Foto 9: determinación del extracto de saturación

Si la CE es superior a 2 dS/m, entonces la conductividad se mide en el extracto de saturación a 25 °C (CE_e). En este caso la valoración es la siguiente:

- ✓ Suelos *normales*: $CE_e \leq 4$ dS / m
- ✓ Suelos *salinos*: $CE_e > 4$ dS / m

Los suelos salinos se corrigen lavando el exceso de sales con un exceso de agua. Las necesidades de lavado (NL) serán:

$$NL = \frac{CE_{agua\ riego}}{CE_e} \times 100$$

Siendo CE_e la $CE_{m\acute{a}x}$ que se obtiene en función de los cultivos para que la producción no se vea afectada.

Para facilitar el lavado de las sales, será necesario asegurar un buen drenaje.

4.2.4. Materia Orgánica

La materia orgánica que aparece en el suelo natural está constituida por mezcla de microorganismos y restos vegetales y animales, en diferente grado de descomposición. En los suelos cultivados, puede haber además aportes de materias orgánicas de origen y características muy diversas.

Como consecuencia de la actividad biológica que se desarrolla en el suelo, la materia orgánica fresca se descompone en dos procesos de biodegradación que se realizan simultáneamente y cuya resultante determinará el equilibrio húmico del suelo. En el primer proceso, de evolución rápida, la materia orgánica fresca se transforma en humus y en el segundo, de evolución lenta, el humus desaparece al convertirse en elementos minerales, CO₂ y agua. El primer proceso se denomina humificación y el segundo, mineralización.

El contenido medio de materia orgánica en la parte superior de los suelos cultivados de la zona mediterránea suele variar entre el 1 y 3 %. Cuando se analiza este contenido a lo largo del perfil del suelo, se comprueba que disminuye rápidamente con la profundidad.

Los diferentes sistemas de cultivo influyen en el contenido de materia orgánica: los sometidos a fuerte laboreo y los que soportan rotaciones de alta densidad con cultivos que dejan pocos residuos, tienden a reducir su contenido.

En los suelos cultivados es más importante la velocidad con que evoluciona la materia orgánica y el equilibrio húmico al que tiende el agrosistema, como consecuencia de los procesos de humificación y mineralización combinados, que el propio contenido de materia orgánica. Los buenos suelos agrícolas humifican y mineralizan la materia orgánica con alta velocidad.

La materia orgánica influye positivamente en todas las propiedades del suelo, tanto físicas:

- ✓ Incrementa la capacidad de retención del agua del suelo.
- ✓ Aumenta la estabilidad estructural.
- ✓ Aumenta la aireación.
- ✓ Aumenta la permeabilidad.

- ✓ Facilita el laboreo al disminuir la cohesión cuando están secos y los hace más ligeros y menos encharcadizos cuando están húmedos, por lo que aumenta el tiempo de tempero.
- ✓ Los suelos son más oscuros, por lo que absorben más radiación y son más cálidos.

Como químicas:

- ✓ La mineralización de la materia orgánica libera al suelo gran cantidad de elementos esenciales.
- ✓ Regula el pH del suelo.
- ✓ Influye en la CIC, aumentándola y por lo tanto, aumentando la fertilidad química del suelo.
- ✓ Inmoviliza metales pesados.

Y biológicas:

- ✓ Favorece la germinación de las semillas.
- ✓ Favorece el estado sanitario de órganos subterráneos.
- ✓ Regula la actividad microbiana.
- ✓ Aporta reguladores del crecimiento vegetal.
- ✓ Activa la rizogénesis.

La determinación cuantitativa de la materia orgánica del suelo se realiza analizando el carbono orgánico oxidable por el método de Walkey y Black.

Foto 10: determinación de la materia orgánica

Ya hemos visto que la materia orgánica humificada ejerce una influencia favorable sobre la fertilidad del suelo y el desarrollo de los cultivos. Con niveles bajos de materia orgánica resulta difícil conservar en buen estado de productividad los

agrosistemas. Por lo tanto es necesario mantener un adecuado contenido de humus en el suelo.

El balance de humus en el suelo será la diferencia entre las pérdidas que se produzcan y las ganancias.

Las pérdidas se producen como consecuencia de la mineralización de la materia orgánica. Estas pérdidas (P) pueden calcularse multiplicando el contenido de materia orgánica del suelo (MO) por su velocidad de mineralización (Vm):

$$P = MO * Vm$$

El desarrollo de la expresión anterior permite calcular las pérdidas de materia orgánica, expresadas en kg/ha, a partir de diferentes factores del suelo:

$$P = MO * Vm = 10^3 * p * da * mo * Vm$$

siendo:

p la profundidad del perfil de suelo considerado (m).

da la densidad aparente del suelo (tn/m³): 1,6 tn/m³ para suelos arenosos, 1,4 tn/m³ para suelos francos y 1,2 tn/m³ para suelos arcillosos.

mo el porcentaje de materia orgánica en el suelo.

Vm la velocidad de mineralización de la MO (% anual).

El contenido de materia orgánica puede conocerse mediante el análisis del suelo. La velocidad de mineralización de la materia orgánica del suelo en ambiente mediterráneo puede considerarse que es de:

Clases de suelos	% anual
Arenosos	2,0-3,0
Francos	1,5-2,5
Arcillosos	1,0-2,0

La ganancia de humus en el suelo se consigue mediante las siguientes prácticas:

✓ Enterrado de los residuos de los cultivos: la cantidad de residuos que dejan los cultivos es diferente para cada especie cultivada y, además, variable de unos años a otros en la misma forma en que lo hacen los rendimientos de los cultivos. Es difícil mantener la fertilidad húmica del suelo con los residuos de los cultivos solamente. Las mejores alternativas de cultivo no suelen proporcionar más del 50 % del humus que se pierde por mineralización.

Cultivo	Humus formado
Raíces y rastrojo de trigo (paja excluida)	400-800 kg/ha
Maíz (raíces y rastrojo)	500-1000 kg/ha
Maíz (raíces, rastrojo y cañas)	700-1400 kg/ha
Remolacha (hojas y cuellos)	800-1300 kg/ha
Alfalfa (enterrando último corte)	1500-4000 kg/ha
Abonos verdes	40 kg/t
Paja enterrada	100-200 kg/t

✓ Abonos verdes: el cultivo de plantas para enterrarlas como abono verde es una práctica con la que se contribuye a mantener la actividad biológica del suelo mediante la formación de humus joven, de evolución rápida y, generalmente rico en nitrógeno. Además se consigue proteger el suelo de la erosión y puede contribuir al control de la vegetación adventicia. Se acepta un valor medio de 40 kg de humus por cada tonelada de abono verde que se entierra. Si se entierra un cultivo de leguminosa se produce además un enriquecimiento en nitrógeno que podrá aprovechar el cultivo siguiente y que se puede cuantificar en unas 25-35 unidades de N por hectárea.

✓ Enterramiento directo de pajas: produce entre 70 y 160 kg de humus/t, por lo que el enterramiento de 2 a 3 t de paja/ha puede equilibrar los balances de humus que presentan durante un año los suelos de las explotaciones cerealistas típicas de nuestros secanos.

La paja debe picarse y enterrarla con una labor ligera de grada de discos que no supere los 10-15 cm de profundidad. La operación debe hacerse a principios de otoño para que las lluvias durante las estaciones de invierno y primavera permitan su hidratación, y aportar, además, un mínimo de 8 kg de N por cada tonelada de paja enterrada para evitar el efecto depresivo de la inmovilización del nitrógeno. En los tratamientos de la zona mediterránea donde pueden enterrarse con las labores de otoño entre 2 y 3 t de paja/ha, será necesario aportar entre 16 y 24 kg de N/ha.

✓ Aporte de estiércoles: se estima que un estiércol de tipo medio produce 100 kg de humus por tonelada de estiércol. Además los estiércoles presentan buen contenido en elementos minerales que irán apareciendo durante su biodescomposición.

Estiércol de:	N (%)	P₂O₅ (%)	K₂O (%)	CaO (%)
Caballo	0,58	0,28	0,53	0,20
Vaca	0,34	0,16	0,40	0,30
Oveja	0,83	0,23	0,67	0,30
Cerdo	0,45	0,19	0,60	0,08
Valor medio	0,50	0,15	0,60	0,22

Se considera que el primer año aparecen el 50 % de los nutrientes minerales, el segundo el 35 % y el tercer año el 15 % restante.

Los estiércoles sólidos se aportan entre 2 y 5 meses antes de la siembra. Los líquidos poco antes de iniciar el cultivo o incluso en cobertera.

La fertilización orgánica puede cubrir dos objetivos:

- ✓ Generar el humus necesario para mantener un adecuado equilibrio húmico en el suelo, de manera que se conserven sus principales propiedades físicas, químicas y biológicas.
- ✓ Proporcionar elementos minerales que contribuyan a la nutrición de los cultivos. Este aspecto es fundamental en la agricultura ecológica ya que se pretende cubrir las necesidades de los cultivos empleando sólo fertilizantes orgánicos.

Para establecer el plan de fertilización orgánica es necesario conocer el humus necesario para mantener en buen nivel de fertilidad orgánica el sistema de cultivo. Para ello:

- ✓ En los suelos medianamente provistos de materia orgánica, es necesario aportar con la fertilización el humus necesario para equilibrar los balances de materia orgánica en los niveles de referencia (1,5 % en los secanos y 2 % en los regadíos). Se trata, en estos casos, de un abonado de mantenimiento, aportando las pérdidas de humus que se produzcan.
- ✓ En los suelos pobres en materia orgánica, se debe aportar con la fertilización no sólo las cantidades correspondientes a un abonado de mantenimiento sino una cantidad mayor para ir mejorando progresivamente la fertilidad del suelo. Esta fertilización representa una corrección del nivel de materia orgánica del suelo y se programa durante varios años para llegar a los niveles de referencia.

$$\Delta MO = 10^4 * p * da * (MO_f - MO_i)$$

siendo:

ΔMO el incremento deseado de humus en t/ha

p la profundidad considerada (m)
da la densidad aparente en t/m^3
 Mo_f y Mo_i los porcentajes de materia orgánica en tanto por uno, final e inicial respectivamente.

Sumando la dosis de conservación y la de corrección obtenemos la dosis total.

✓ En los suelos ricos en materia orgánica, se puede aprovechar la fertilidad natural del suelo y ahorrar la fertilización, pero controlando que el contenido de materia orgánica del suelo no descienda por debajo de los niveles de referencia.

De forma general, y cuando no se calcule el balance húmico del suelo, se propone aplicar las siguientes cantidades de estiércol:

Clase de suelos	Dosis de conservación	Dosis de conservación + corrección
Arenosos y calizos	15-20 t/ha (cada 2 años)	20-25 t/ha (cada 2 años)
Francos	25-30 t/ha (cada 3 años)	30-35 t/ha (cada 3 años)
Arcillosos	30-40 t/ha (cada 3 años)	40-50 t/ha (cada 3 años)

4.2.5. Relación C/N

Para caracterizar el estado más o menos avanzado de la evolución de la materia orgánica del suelo y, en consecuencia, de su nivel de humificación, se utiliza la relación C/N (carbono/nitrógeno). Esta relación es siempre elevada para las materias orgánicas frescas y desciende durante el proceso de humificación hasta estabilizarse en valores próximos a 10.

Para valorar este parámetro emplearemos el siguiente criterio:

Valoración	C/N
Bajo	$CN \leq 8$
Medio	$8 < CN \leq 12$
Alto	$12 < CN \leq 15$
Muy alto	$CN > 15$

La recomendación será:

- ✓ Si la relación $C/N \leq 8$, se da una fuerte liberación de nitrógeno y consecuentemente habrá que reducir las unidades.
- ✓ Si la relación $8 < C/N \leq 12$, se da una liberación media de nitrógeno y las unidades recomendadas de N serán las normales.
- ✓ Si la relación $C/N > 12$, se da una muy baja liberación de nitrógeno y consecuentemente habrá que aumentar las unidades.

4.2.6. Nitrógeno

Las rocas son muy pobres en N y su meteorización proporciona al suelo cantidades insignificantes de este elemento. Es la atmósfera terrestre, por su elevado contenido, la auténtica fuente de N para el suelo. El paso del N atmosférico al suelo puede hacerse por vía abiótica o biótica. Este N incorporado al suelo se acumula fundamentalmente en forma orgánica. Las formas orgánicas no son asimilables directamente por las plantas, pero pueden llegar a serlo después de transformarse en nitrógeno mineral durante el proceso de mineralización de la materia orgánica.

A su vez, el nitrógeno mineral del suelo se presenta en forma amoniacal ($N-NH_4^+$) y nítrica ($N-NO_3^-$). Los cultivos asimilan tanto las formas nítricas como las amoniacales, la

superioridad de una u otra en la nutrición de la planta depende de la especie cultivada y de las condiciones del medio.

El Método Oficial de determinación del nitrógeno total en una muestra de suelo es el método Kjeldahl. El contenido de nitrógeno total proporcionado por los análisis tiene escaso interés para evaluar la fertilidad nitrogenada del suelo. Las cifras analíticas obtenidas proporcionan solamente una representación de la fertilidad potencial (caso del nitrógeno total), de más o menos difícil activación, o de la fertilidad puntual (caso del nitrógeno nítrico) que, por su elevada variabilidad, tiene escasa significación cuando se desea garantizar la nutrición de los cultivos de forma sostenible.

Foto 11: destilación del N

La cantidad de N que las plantas cultivadas necesitan para producir las cosechas es muy variable y entre otros factores, depende del rendimiento del cultivo. Se define como unidad fertilizante de nitrógeno a 1 kg de N.

La cantidad de N a aportar será la diferencia entre las extracciones del cultivo y el N aportado como consecuencia de la mineralización de la materia orgánica del suelo. Se puede estimar que el N mineral que aparece en el suelo en las condiciones de clima templado propio de la zona mediterránea, como consecuencia de la mineralización de la materia orgánica, es del orden de:

	MO (%)	Vm (%)	N mineral (kg N/ha y año)
Secano	1,5	1	30
Regadío	2	3	120

Debido a su alta movilidad y potencial contaminante, la cantidad total de nitrógeno a aportar con los fertilizantes minerales no puede aplicarse de una sola vez, siendo necesario fraccionarla en varias dosis procurando adaptarse, tanto como sea posible, a las necesidades de los cultivos.

Habitualmente, la dosis de nitrógeno a aportar en presiembra suele representar entre el 20 y 50 % de las necesidades totales. Se utilizarán las dosis menores (< 30 %), con los fertilizantes convencionales o en los cultivos de siembra otoñal, ya que la planta va a pasar los meses de otoño e invierno con crecimiento lento y, además, en esta época existen riesgos evidentes de pérdidas por lixiviación del nitrógeno aportado. Las dosis mayores (> 30 %) se aportarán cuando se utilicen abonos de liberación controlada o en los cultivos que se siembran a finales de primavera o principios de verano, ya que en esta época el crecimiento es muy rápido y no son de temer pérdidas importantes.

El abonado de cobertera estará constituido por el restante 80-50 % que no se aportó en presiembra, hasta completar las necesidades totales. Se darán una, dos, tres o, incluso, más coberteras, previendo las épocas de fuerte crecimiento y los cambios que se producen en las fases del desarrollo del cultivo.

4.2.7. Fósforo

El fósforo en el suelo se encuentra combinado formando parte de diferentes fosfatos minerales y orgánicos. Se combina, también, con ácidos orgánicos.

En la solución del suelo se presentan diferentes especies iónicas del ácido fosfórico (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} y PO_4^{3-}), dependiendo la mayor o menor abundancia de unas u otras del pH.

El Método Oficial para la determinación del fósforo lábil del suelo (fijado pero fácilmente cambiante), denominado fósforo en reserva, es el método Olsen. Se recomienda utilizar este método para el análisis de los suelos con $\text{pH} \geq 5,5$, y pobres en materia orgánica. Para suelos francamente ácidos, con pH

< 5,5 y, para los ricos en materia orgánica ($MO \geq 3\%$), se recomienda el método de Bray.

Foto 12: determinación del P

La interpretación de la fertilidad del suelo, en función de la respuesta que los diferentes sistemas de cultivo ofrecen en las distintas clases de suelos, puede hacerse siguiendo las directrices de las tablas siguientes.

Tabla: criterios para interpretar la fertilidad del suelo según su contenido en fósforo asimilable (método Olsen)

Tipos de suelos y sistemas de cultivo	Niveles de fertilidad del suelo (mg P/kg)				
	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Secano					
Ligeros	$P \leq 5$	$5 < P \leq 10$	$10 < P \leq 15$	$15 < P \leq 20$	$P > 20$
Medios	$P \leq 6$	$6 < P \leq 12$	$12 < P \leq 18$	$18 < P \leq 28$	$P > 28$
Fuertes	$P \leq 8$	$8 < P \leq 16$	$16 < P \leq 24$	$24 < P \leq 40$	$P > 40$
Regadío					
Ligeros	$P \leq 6$	$6 < P \leq 12$	$12 < P \leq 18$	$18 < P \leq 29$	$P > 29$
Medios	$P \leq 8$	$8 < P \leq 16$	$16 < P \leq 24$	$24 < P \leq 32$	$P > 32$
Fuertes	$P \leq 10$	$10 < P \leq 20$	$20 < P \leq 30$	$30 < P \leq 40$	$P > 40$

Tabla: criterios para interpretar la fertilidad del suelo según su contenido en fósforo asimilable (método Bray)

Tipos de suelos y sistemas de cultivo	Niveles de fertilidad del suelo (mg P/kg)				
	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Todos	$P \leq 3$	$3 < P \leq 7$	$7 < P \leq 20$	$20 < P \leq 30$	$P > 30$

Las plantas absorben por vía radicular el fósforo de la solución del suelo, y lo hacen principalmente en forma de monoortofosfato ($H_2PO_4^-$), aunque en suelos con $pH \geq 7$

pueden absorberlo también como difosfato HPO_4^{2-} . Aunque la absorción por parte de la planta se hace en forma iónica, las cantidades absorbidas se expresan en forma de P_2O_5 . Se define como unidad fertilizante de fósforo a 1 kg de P_2O_5 .

Las cantidades extraídas por los cultivos son muy variables, dependiendo entre otros factores del rendimiento esperado. Una vez calculadas las necesidades del cultivo para un suelo de fertilidad media, se multiplican estas necesidades por un factor de corrección que tiene en cuenta el nivel de fertilidad del suelo y su pH. Estos factores de ajuste se muestran en la siguiente tabla:

Tipos de suelos y sistemas de cultivo	Niveles de fertilidad del suelo (mg P/kg)				
	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Secano y regadío					
pH ≤ 5,5	1,9	1,7	1,3	0,7	0,5
5,5 < pH ≤ 6,5	1,8	1,4	1,1	0,5	0,0
6,5 < pH ≤ 7,5	1,5	1,3	0,9	0,3	0,0
7,5 < pH ≤ 8,5	1,7	1,5	1,1	0,5	0,3
pH > 8,5	1,9	1,7	1,3	0,8	0,5

Una vez determinadas las necesidades de los cultivos, para calcular las unidades a aportar con los fertilizantes minerales habrá que deducir las que puedan proceder de los fertilizantes orgánicos.

La aplicación del fósforo se hará con tanta mayor antelación a la siembra cuanto menor sea la solubilidad del abono utilizado. Cuando se usen abonos insolubles, las aportaciones se harán, al menos, tres meses antes de la siembra; con hiposolubles, bastará anticiparse un mes a las siembras y con abonos solubles, puede realizarse la aplicación en el mismo momento de la siembra e, incluso, en cobertera.

En las parcelas que reciben regularmente abonos fosfatados, no suele obtenerse beneficio aparente cuando se hacen

aplicaciones en cobertera; sin embargo, pueden seguirse las siguientes recomendaciones:

- ✓ Suelos muy pobres en fósforo: dar en presiembra temprana un abonado de fondo con abonos hiposolubles, que son más baratos, y completar durante la vegetación del cultivo, en cobertera, con abonos solubles.
- ✓ Suelos con mucha caliza activa en los que el riesgo de retrogradación es elevado: los aportes de grandes dosis de fertilizantes fosfatados elevan la proporción de fosfatos retrogradados. El fraccionamiento siempre resulta favorable.
- ✓ Cultivos exigentes o de vegetación rápida: el fraccionamiento permite adaptarse mejor a las exigencias del cultivo y proporcionar fósforo asimilable en las condiciones más adecuadas.
- ✓ Después de algunos periodos críticos (heladas, encharcamientos, etc.): se suele activar la vegetación con una dosis de fertilizantes minerales. Aportar, en estos casos, un fertilizante que lleve los tres nutrientes suele dar buenos resultados.

En los casos en los que se decida hacer la fertilización fraccionando los fosfatos, se puede recomendar aplicar el 50 % de la dosis total en presiembra y el 50 % restante en la primera o llegando, como máximo, hasta la segunda cobertera. Estas últimas, siempre y en forma exclusiva, con abonos solubles.

Debido a la lenta movilización de los fosfatos en el suelo y a la pequeña distancia a que se difunden los fosfatos contenidos en los fertilizantes se recomienda localizar estos abonos en las proximidades de las semillas cuando se hace la siembra

con máquina sembradora-abonadora permitiendo, al mejorar la eficiencia del abono, ahorrar en la cantidad aportada.

El movimiento descendente de los fosfatos es muy pequeño por lo que en los cultivos polianuales con enraizamiento profundo se enterrarán estos abonos tan profundamente como se pueda.

4.2.8. Potasio

En la fracción mineral del suelo existe potasio combinado en diferentes silicatos que forman parte de las rocas de origen magmático (feldespatos, micas, etc.) y de las arcillas. También aparece potasio en compuestos de origen sedimentario, en forma de cloruros y sulfatos que, por su menor dureza y mayor solubilidad, se meteorizan más fácilmente que los silicatos.

Las formas iónicas se presentan libres en la solución del suelo, adsorbidas sobre el complejo de cambio y fijadas en la superficie, bordes e interior de la red cristalina de determinadas arcillas. Parte de este K^+ es fácilmente cambiante y presenta un equilibrio dinámico con el K^+ de la solución del suelo.

El potasio difícilmente cambiante se encuentra incluido en los espacios interlaminares de las arcillas, lo que representa una retrogradación que depende de la naturaleza de aquellas, de los espacios interlaminares y de que éstos no estén ocupados por otros cationes. La retrogradación es máxima en suelos con arcillas expansibles del tipo 2:1 como la illita y la vermiculita.

Las plantas absorben el potasio (K^+) por vía radicular a partir de la solución del suelo (1 unidad fertilizante de potasio es igual a 1 kg de K_2O). Debido a su baja carga y pequeño radio iónico, la absorción se efectúa con facilidad y pueden, incluso, absorberse cantidades de K superiores a las necesidades de

la planta originando lo que se denomina consumo de lujo. Según éste, la planta puede absorber cantidades elevadas de potasio sin que se observen variaciones significativas del rendimiento, en relación con el obtenido para menores cantidades de potasio absorbido.

El calcio y el magnesio presentan un claro efecto antagónico frente al potasio que puede dar lugar a situaciones de deficiencia potásica por excesos de calcio activo o de magnesio asimilable.

Con el sodio pueden darse situaciones de sustitución. En casos de deficiencia potásica, la planta puede absorber sodio, pero esta sustitución sólo resulta efectiva en el aspecto físico químico de ambos cationes, pero no en los aspectos fisiológicos.

Foto 13: extracción del K

El Método Oficial para la determinación del potasio en suelos es por fotometría de llama previa extracción en una solución de acetato amónico 1N a pH 7.

La interpretación de la fertilidad del suelo en potasio asimilable puede hacerse siguiendo los criterios de la tabla siguiente:

Tipos de suelos y sistemas de cultivo	Niveles de fertilidad del suelo (mg K/kg)				
	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Secano					
Ligeros	$K \leq 50$	$50 < K \leq 90$	$90 < K \leq 130$	$130 < K \leq 180$	$K > 180$
Medios	$K \leq 65$	$65 < K \leq 130$	$130 < K \leq 200$	$200 < K \leq 260$	$K > 260$
Fuertes	$K \leq 80$	$80 < K \leq 140$	$140 < K \leq 220$	$220 < K \leq 330$	$K > 330$
Regadío					
Ligeros	$K \leq 60$	$60 < K \leq 100$	$100 < K \leq 150$	$150 < K \leq 240$	$K > 240$

Medios	$K \leq 75$	$75 < K \leq 140$	$140 < K \leq 220$	$220 < K \leq 280$	$K > 280$
Fuertes	$K \leq 90$	$90 < K \leq 150$	$150 < K \leq 240$	$240 < K \leq 350$	$K > 350$

Las cantidades extraídas por los cultivos son muy variables, dependiendo entre otros factores del rendimiento esperado. Una vez calculadas las necesidades del cultivo para un suelo de fertilidad media, se multiplican estas necesidades por un factor de corrección que tiene en cuenta el tipo de suelo y los diferentes sistemas de cultivo. Estos factores de ajuste se muestran en la siguiente tabla:

Tipos de suelos y sistemas de cultivo	Niveles de fertilidad del suelo (mg K/kg)				
	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Secano y regadío					
Ligero	1,4	1,2	1,1	0,7	0,3
Medio	1,3	1,2	1,0	0,6	0,0
Fuerte	1,2	1,1	0,8	0,4	0,0

Una vez determinadas las necesidades de los cultivos, para calcular las unidades a aportar con los fertilizantes minerales habrá que deducir las que puedan proceder de los fertilizantes orgánicos.

Normalmente el potasio se aplica todo en presiembra. En cultivos permanentes, se aporta durante la parada invernal. En caso de decidir fraccionarlo, puede ser suficiente dar dos dosis: una de presiembra y otra de cobertera, preferiblemente en forma de abono compuesto para aprovechar el efecto sinérgico de los tres elementos.

Debido a la solubilidad de sus compuestos y a la movilidad del K^+ en el suelo, estos abonos pueden distribuirse en forma generalizada no siendo necesario localizarlos en la línea de siembra.

4.2.9. Carbonatos totales

La determinación de los carbonatos de un suelo tiene interés por su valor diagnóstico de diversas propiedades del suelo: estructura, actividad biológica, bloqueo de nutrientes, etc. Sin embargo, el contenido total no da una idea exacta de la importancia que los carbonatos tienen en los procesos químicos del suelo. Por este motivo, en aquellos casos en que el análisis de carbonatos sea positivo y superior a una cifra que se suele fijar entre un 8 y un 10 %, se deberá completar la información dada por el análisis de carbonatos totales con la referente a caliza activa.

Los suelos reciben el nombre de calizos cuando el contenido en carbonatos totales es superior al 20 %.

El Método Oficial para la determinación del contenido en carbonatos totales de una muestra de suelo es el método del calcímetro de Bernard. La valoración del suelo en cuanto a su contenido en carbonatos es la siguiente:

Valoración	% p/p
Muy bajo	carbonatos \leq 5
Bajo	5 < carbonatos \leq 10
Medio	10 < carbonatos \leq 25
Alto	25 < carbonatos \leq 40
Muy alto	carbonatos > 40

Foto 14: calcímetro de Bernard

4.2.10. Caliza activa

La caliza activa se define como la fracción de carbonatos de tamaño inferior a 50 μm . Por su gran superficie relativa es fácilmente soluble en agua cargada de CO_2 , enriqueciendo la solución del suelo en iones bicarbonato, lo que parece estar asociado a problemas de clorosis férrica.

El contenido en caliza activa de una muestra de suelo se determina también mediante el calcímetro de Bernard. La valoración del suelo en cuanto a su contenido en caliza activa es la siguiente:

Valoración	% p/p
Bajo	caliza \leq 3
Medio	3 < caliza \leq 6
Alto	6 < caliza \leq 9
Muy alto	caliza > 9

El valor de la caliza activa no siempre resulta suficiente para evaluar los riesgos de clorosis férrica. Se ha comprobado que se obtienen mejores correlaciones haciendo intervenir, además de la caliza activa, el hierro extraíble con EDTA, para calcular el índice de poder clorosante:

$$I.P.C. = \frac{\text{caliza activa (\%)}}{Fe\ ext (mg / kg)} \cdot 10^4$$

Los cultivos más sensibles a la presencia de caliza activa en el suelo son la vid, melocotonero y cítricos.

4.2.11. Calcio

El calcio en el suelo se encuentra combinado en compuestos minerales y orgánicos. Existe además calcio iónico (Ca^{2+}) fijado sobre el complejo adsorbente o libre en la solución del suelo. En el complejo de cambio suele ser el catión más abundante.

El calcio es muy importante para el suelo:

⇒ Desde un punto de vista físico:

- ✓ Es necesario para una buena estructura (floculante del complejo arcillo-húmico)
- ✓ Aumenta la ligereza de los suelos pesados

⇒ Desde un punto de vista químico:

- ✓ Es antagónico del H, por lo que los suelos ricos en Ca presentan un pH básico.
- ✓ Regula las posibilidades de solubilización del resto de los elementos del suelo.
- ✓ Permite el desarrollo de CIC más fuertes.

⇒ Desde un punto de vista biológico:

- ✓ Es necesario para la nutrición de plantas y microorganismos.
- ✓ Permite aumentar la velocidad de descomposición de la materia orgánica.
- ✓ Actúa sobre procesos de fijación de N₂.

Por todo lo expuesto, es necesario controlar la presencia de Ca en el suelo, y si fuera preciso se realizarán enmiendas cálcicas para alcanzar los niveles adecuados.

El Método Oficial para la determinación del calcio en una muestra de suelo es su extracción con una solución de acetato amónico 1 N a pH 7 y posterior determinación por absorción atómica. Para interpretar la fertilidad cálcica del suelo se puede seguir el siguiente criterio:

Valoración	Contenido mg Ca/kg suelo
Muy bajo	$Ca \leq 700$
Bajo	$700 < Ca \leq 2000$
Medio	$2000 < Ca \leq 4000$
Alto	$4000 < Ca \leq 6000$

Cantidades muy elevadas de calcio asimilable en el suelo originan problemas importantes en la fisiología de la planta por su interacción con otros macro y microelementos, como el antagonismo con el potasio que se presentan en los suelos calizos o después de fuertes encalados, donde pueden producirse carencias de potasio.

También se produce la precipitación de los fosfatos, tanto en las soluciones del suelo como en los jugos celulares, y los antagonismos con algunos microelementos (Fe, Mn, B, Zn) pueden originar estados carenciales por deficiente absorción por la planta.

El calcio como alimento de la planta suele formar parte de los fertilizantes nitrogenados y fosfatados. Al calcular las cantidades de fertilizantes a aportar, la decisión se adopta en función de las necesidades de nitrógeno y de fósforo, y el calcio que les acompaña en el abono elegido puede ser insuficiente asistiéndose, de esta manera, a una progresiva descalcificación del suelo cultivado.

Cuando se presentan situaciones de descalcificación del suelo, se emplearán abonos ricos en calcio y si es necesario puede hacerse un encalado de mantenimiento cada dos o tres años para evitar este problema.

4.2.12. Magnesio

El magnesio se encuentra en el suelo principalmente en forma mineral como silicatos, carbonatos, sulfatos y cloruros.

La planta puede absorber el Mg^{2+} de la solución del suelo, por vía radicular, o el de las soluciones fertilizantes, a través de los estomas, por vía foliar (1 UF = 1 kg de MgO).

Las cantidades absorbidas por las plantas cultivadas son variables, según las especies y los rendimientos de las cosechas. El conocimiento del contenido en magnesio cambiante del suelo, es necesario para caracterizar su capacidad para alimentar los cultivos. Sin embargo, estas cifras consideradas aisladamente no definen con precisión esta capacidad debido a los antagonismos que se presentan entre el magnesio y otros cationes.

El antagonismo más frecuente es el del $\text{Ca}^{2+} \Leftrightarrow \text{Mg}^{2+}$. Valores elevados de la relación Ca/Mg pueden originar carencias magnésicas aunque el nivel de Mg^{2+} en el suelo sea aceptable. Para que esto no ocurra, la relación Ca/Mg debe mantenerse por debajo de 10.

Otro antagonismo importante es el que se produce con el potasio ($\text{K}^+ \Leftrightarrow \text{Mg}^{2+}$). Cuando la relación K/Mg es superior a 3, pueden producirse carencias de magnesio en numerosos cultivos.

También se producen antagonismos entre Mg^{2+} y Na^+ , presentándose problemas de absorción de Mg en suelos sódicos o en los cultivos regados con aguas salinas ricas en sodio; con nitrógeno amoniacal (NH_4^+) e, incluso, con H^+ , presentándose estados carenciales comprobados en suelos ácidos o en los cultivos fuertemente fertilizados con compuestos amoniacales.

Foto 15: absorción atómica

El Método Oficial para la determinación del magnesio en una muestra de suelo es su extracción con una solución de acetato amónico 1 N a pH 7 y posterior determinación por absorción atómica. Para interpretar la fertilidad magnésica del suelo se puede seguir el siguiente criterio:

Valoración	Contenido mg Mg/kg suelo
-------------------	---------------------------------

Muy bajo	$Mg \leq 60$
Bajo	$60 < Mg \leq 80$
Medio	$80 < Mg \leq 100$
Alto	$100 < Mg \leq 120$
Muy alto	$Mg > 120$

En suelos pobres en magnesio y básicos, el magnesio se aportará en forma de sulfato de magnesio (16 % MgO y 37 % SO_4^{2-}) a una dosis de 200-300 kg/ha.

En suelos pobres en Mg y ácidos se deben aportar productos magnésicos que, además de satisfacer las necesidades de los cultivos, puedan contribuir a la corrección de la acidez del suelo (dolomitas, cales magnésicas, espumas de azucareras).

En cultivos leñosos y especialmente en el viñedo, son frecuentes las carencias de Mg. En estos casos, puede utilizarse el sulfato magnésico en pulverización para su absorción foliar.

4.2.13. Sodio

Se consideran suelos sódicos aquellos en los cuales el Na ocupa más del 15 % de la capacidad de cambio del suelo. Estos suelos tienen normalmente un pH elevado del orden de 8,5 o más.

La presencia de Na en proporciones elevadas frente al Ca y al Mg, provoca la dispersión de los coloides arcillosos y húmicos originando fuerte inestabilidad estructural. Además pueden aparecer problemas de fitotoxicidad.

El Método Oficial para la determinación del sodio en una muestra de suelo es mediante fotometría de llama, previa extracción con una solución de acetato amónico 1 N a pH 7.

Foto 16: fotometría de llama

La corrección de los suelos sódicos requiere la eliminación del Na del complejo de cambio. Para ello, se utilizan enmiendas que aporten al suelo cationes solubles, principalmente calcio, que sustituyen al sodio de sus posiciones de cambio.

Vamos a definir el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) como:

$$PSI = \frac{[Na^+]}{CIC} \times 100$$

Siendo:

- $[Na^+]$ la concentración de sodio en meq/100 g de suelo (1 meq Na^+ = 23 mg Na^+ \Rightarrow 1 mg Na^+ /kg suelo = 0,0043 meq/100 g suelo).
- CIC la capacidad de intercambio catiónico que nos proporciona el análisis

La cantidad de sodio a desplazar se calculará como:

$$[Na^+]_i - [Na^+]_f = \frac{(PSI_i - PSI_f) \times CIC}{100}$$

Siendo:

- PSI_i el valor de PSI obtenido a partir del análisis de suelo.
- PSI_f el valor de PSI al que queremos llegar.

Se recomienda que el PSI no supere el 10 %, aunque en algunos casos de suelos con arcillas expansibles sea necesario reducir el PSI hasta 7,5 %.

La cantidad de producto, del 100 % de riqueza y con una eficacia del 100 %, necesaria para desplazar 1 meq de Na^+ en

un espesor de suelo correspondiente a un peso de 4000 t/ha sería:

Yeso	3500 kg/ha
Cloruro cálcico	2220 kg/ha
Azufre	640 kg/ha
Sulfato ferroso	5560 kg/ha
Sulfato aluminico	4440 kg/ha
Polisulfuro de calcio	2666 l/ha
Caliza	2000 kg/ha

Estas serían dosis teóricas que habría que corregir en función de la pureza del producto empleado y de la eficiencia del tratamiento (en el caso del yeso se considera que se obtiene un rendimiento del 75 %).

De estas enmiendas, la caliza no debe emplearse en suelos que contengan carbonatos alcalinotérreos.

4.2.14. Hierro

Generalmente los suelos están bien provistos de hierro pero se producen en las plantas estados carenciales por inactivación del Fe^{2+} . Se trata en la mayoría de las ocasiones de carencias inducidas o secundarias, conocidas como clorosis por ser, precisamente, la falta de clorofila el síntoma manifiesto.

Debido a la fuerte influencia que el pH y el Ca^{2+} del suelo ejercen sobre la asimilabilidad del hierro, los análisis de suelo deben considerarse solamente como indicativos. Para una interpretación más consciente, debe acudirse siempre al estado nutricional del cultivo, o al índice de poder clorosante (IPC) anteriormente visto.

La forma de corregir las carencias es mediante la aplicación de quelatos al suelo, para absorción radicular, o en pulverización, para absorción foliar, a una dosis que varía

entre 30 y 50 kg/ha en cultivos herbáceos y entre 50 y 500 g/árbol, según tamaño, en cultivos leñosos.

4.2.15. Boro

En los suelos ácidos existe mayor cantidad de boro asimilable para las plantas, mientras que en los suelos con un alto contenido de caliza disminuye la disponibilidad del boro.

Valoración	mg B/kg suelo
Pobre	$B \leq 0,5$
Medio	$0,5 < B \leq 1$
Rico	$B > 1$

Las necesidades de boro de los cultivos suelen cubrirse mediante aplicación, al suelo o a la planta, de compuestos borados o fertilizantes con boro. Las aportaciones al suelo se hacen normalmente con bórax a razón de 15 a 30 kg/ha.

Para suelos de $\text{pH} > 8$ y cuando se desea mayor velocidad de actuación del boro porque se observan en el cultivo síntomas carenciales, se recomienda aplicar compuestos de boro mediante pulverizaciones foliares.

4.2.16. Otros microelementos

Manganeso: las carencias de manganeso pueden solucionarse mediante aportes de MnSO_4 al suelo o a la planta. Al suelo se emplean 50-100 kg/ha en suelos neutros o débilmente ácidos y hasta 500 kg/ha en suelos fuertemente básicos. Son más eficaces y económicas las pulverizaciones foliares con soluciones de MnSO_4 al 1 %, aplicadas en primavera, con buena temperatura y alta humedad ambiente.

Zinc: las carencias se suelen tratar pulverizando con soluciones de ZnSO_4 al 0,1-1 %.

Cobre: cuando se observen estados carenciales, pueden hacerse aplicaciones al suelo de sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) u oxiclорuro de cobre ($\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$) a razón de 10-30 kg/ha.

Molibdeno: en la mayoría de los casos, las carencias desaparecen aumentando el pH con un encalado, aireando el suelo o mejorando el drenaje. Se puede aportar al suelo molibdato sódico o molibdato amónico a razón de 0,3 a 1 kg/ha, mezclándolos con otros abonos o con tierra para facilitar su distribución.

5. RECOMENDACIÓN DE ABONADO

La fertilización del suelo tiene como objetivo mantener en el suelo un contenido adecuado de elementos minerales, en condiciones de asimilabilidad, para que la planta pueda absorberlos en el momento preciso y en la cantidad necesaria.

Se ha comprobado que la insuficiencia de uno solo de los elementos nutritivos indispensables compromete el rendimiento de las cosechas, aunque los elementos restantes se encuentren en cantidades suficientes. Habrá que buscar, en consecuencia, el equilibrio de la fertilización más que el valor absoluto de cualquier elemento.

Por otro lado, un abonado excesivo, además producir problemas medioambientales, puede ocasionar una reducción del rendimiento al aparecer problemas de fitotoxicidad y un incremento innecesario en los costes del cultivo.

Para poder calcular correctamente el abonado es necesario conocer las necesidades del cultivo y hacer una estimación objetiva del rendimiento esperado.

A continuación mostraremos las necesidades de diferentes cultivos en suelos de fertilidad media. Para calcular el abonado necesario habrá que utilizar lo visto en el apartado

anterior. Así mismo, se indica la forma más frecuente de fraccionar este abonado. Obviamente, si se realiza fertirrigación, el abonado se podrá fraccionar tanto como se desee.

5.1. CEREALES DE INVIERNO

Aunque las cifras pueden variar sensiblemente de unas variedades a otras, las necesidades medias por tonelada de producción son de:

Especie	kg N/ha	kg P₂O₅/ha	kg K₂O/ha
Trigo	28	13	23
Cebada	23	11	23
Avena	23	13	23
Centeno	23	11	20

Foto 17: trigo

Normalmente se aplica todo el fósforo y el potasio en sementera junto a parte del N, y el resto del N se aplica en cobertera.

Si es en secano se aplicará una sola cobertera a la salida del invierno en la fase del ahijado.

Si es en regadío:

- ✓ Para las siembras de otoño o cereales de ciclo largo se aplicará la mitad del nitrógeno a la salida del invierno en la fase de ahijado y la otra mitad un mes después y siempre antes del encañado.
- ✓ Para las siembras de primavera o cereales de ciclo corto se aplicará el nitrógeno en una sola cobertera de forma temprana en la fase del ahijado.

5.2. MAÍZ

Las necesidades medias por tonelada de producción son de 24 kg N/ha, 11 kg P₂O₅/ha y 20 kg K₂O/ha.

Foto 18: maíz

Normalmente se aplica todo el fósforo y el potasio en sementera junto a parte del N, y el resto del N se aplica en cobertera.

En cobertera se aplicará la mitad cuando las plantas tengan unos 30 cm de altura y la otra mitad cuando tengan los 60 cm.

5.3. LEGUMINOSAS

Aunque las cifras pueden variar sensiblemente de unas variedades a otras, las necesidades medias por tonelada de producción son de:

Especie	kg N/ha	kg P₂O₅/ha	kg K₂O/ha
Garbanzo	46	15	33
Lenteja	46	15	33
Judía	57	19	38
Guisante	50	19	38
Veza	50	15	33

Foto 19: guisante

Las leguminosas pueden crecer en ausencia de nitrógeno en el suelo gracias a la simbiosis que establecen en sus raíces con bacterias de la familia *Rhizobiaceae*. Estas bacterias suministran a la planta el nitrógeno que necesita, por lo que no es necesario efectuar abonado nitrogenado. Únicamente se pueden aportar unas 20 unidades de N en presiembra para favorecer el crecimiento de la planta hasta que la simbiosis sea efectiva.

El fósforo y el potasio se aplican en fondo. No se efectuarán coberteras.

5.4. ALFALFA

Las necesidades medias por tonelada de producción son de 5,5 kg N/ha, 1,8 kg P₂O₅/ha y 2,3 kg K₂O/ha.

Foto 20: alfalfa

La alfalfa es una leguminosa, por lo que es de aplicación lo visto en el apartado anterior. La alfalfa permanece varios años en el suelo, por lo que el abonado se hará en presiembra el primer año y a la salida del invierno el resto de los años.

5.5. REMOLACHA

Las necesidades medias por tonelada de producción son de 2,8 kg N/ha, 1,7 kg P₂O₅/ha y 3,5 kg K₂O/ha.

Foto 21: remolacha

Normalmente se aplica todo el fósforo y el potasio en sementera junto a parte del N, y el resto del N se aplica en cobertera.

Se suelen hacer dos coberteras, aplicando la mitad del nitrógeno cuando la planta tiene las primeras hojas verdaderas y la otra mitad 3 ó 4 semanas después.

5.6. PATATA

Las necesidades medias por tonelada de producción son de 4,5 kg N/ha, 2,8 kg P₂O₅/ha y 6,5 kg K₂O/ha.

Foto 22: patata

Normalmente se aplica todo el fósforo y el potasio en sementera junto a parte del N, y el resto del N se aplica en cobertera. La cobertera será:

- ✓ Para variedades de ciclo corto se aplicará el nitrógeno de una sola vez cuando las patatas estén nacidas en su totalidad.
- ✓ Para variedades de ciclo largo se aplicará la mitad del nitrógeno cuando las patatas estén bien nacidas y el resto 3 semanas después.

5.7. GIRASOL

Las necesidades medias por tonelada de producción son de 35 kg N/ha, 18 kg P₂O₅/ha y 35 kg K₂O/ha.

Foto 23: girasol

En secano se aplicarán todos los fertilizantes en fondo.

En regadío y a veces en secano fresco, se aplicará todo el fósforo, el potasio y parte del nitrógeno en fondo y se realizará una cobertera 3 o 4 semanas después de la nascencia.

5.8. ZANAHORIA

Las necesidades medias por tonelada de producción son de 4,5 kg N/ha, 2,8 kg P₂O₅/ha y 3,5 kg K₂O/ha.

Foto 24: zanahoria

El fósforo se aplica todo en fondo. Es conveniente fraccionar el aporte de potasio entre fondo y 1 o 2 coberteras y no emplear KCl. El nitrógeno se fraccionará en fondo y cobertera. Las coberteras conviene hacerlas pronto.

Si se estercola, hay que hacerlo pronto en otoño y con estiércol bien descompuesto.

5.9. VIÑEDO

Las necesidades medias por tonelada de producción son de 5,5 kg N/ha, 9 kg P₂O₅/ha y 7,5 kg K₂O/ha.

Foto 25: viñedo

El abonado se aplicará todo en fondo antes de la plantación, o a la salida del invierno en plantaciones de más de un año.

6. ABONOS

6.1. SIMPLES

Aportan uno solo de los elementos nutritivos: N, P o K.

6.1.1. Nitrogenados

Los fertilizantes minerales nitrogenados simples son los siguientes:

Fertilizante	Fórmula	Riqueza en N (%)
Amoniacal		
Sulfato amónico	(NH ₄) ₂ SO ₄	21
Cianamida cálcica	CN ₂ Ca	14
Urea	CO(NH ₂) ₂	46
Amoníaco anhidro	NH ₃	82
Soluciones amoniacales	NH ₄ OH	20-25
Nítrico		
Nitrato cálcico	Ca(NO ₃) ₂	16
Nitrato sódico	NaNO ₃	16
Nitrato magnésico	Mg(NO ₃) ₂	11
Mixto		
Nitrato amónico	NH ₄ NO ₃	33,5

Nitrato amónico cálcico (NAC)	NH_4NO_3	20-26-30
Nitrosulfato amónico		26
Soluciones nitrogenadas		20-32
De acción controlada		
Urea formaldehído		38
Urea azufre		19-35
Isobutilidendiurea		32
Crotonilendiurea		30
Oxamida		32

Foto 26: nitrato amónico

La utilización de las diferentes formas de los fertilizantes nitrogenados, depende de la velocidad de actuación del fertilizante, de las condiciones climáticas dominantes en la época de empleo, de las características de empleo, de las características del suelo y del coste de la fertilización. Hay que tener en cuenta que:

- ✓ Las formas amoniacales son retenidas por el complejo adsorbente y los riesgos de pérdidas son menores. Las formas nítricas no son fijadas, permanecen libres en la solución del suelo y se desplazan con los movimientos del agua en el suelo.
- ✓ Las formas nítricas son de acción inmediata. Aunque las formas amoniacales también pueden ser absorbidas directamente, en su mayor parte sufren el proceso de la nitrificación previamente a su absorción.
- ✓ Las formas nítricas presentan escaso efecto residual, en tanto que las amoniacales son de acción más lenta y duradera.

- ✓ Los impactos medioambientales por contaminación y eutrofización son más elevados utilizando las formas nítricas.
- ✓ A igualdad de otras condiciones, el uso de formas amoniacales es generalmente más económico que el de las nítricas. Asimismo, para formas similares, resulta más económico utilizar los fertilizantes comerciales de mayor riqueza.
- ✓ Las formas mixtas presentan características intermedias entre las amoniacales y las nítricas.
- ✓ Las formas de acción controlada permiten liberar N en forma progresiva durante la vegetación del cultivo, lo que se traduce en una mayor eficiencia del abono y menores impactos ambientales.
- ✓ El sobreprecio de las formas de acción controlada se compensa con la posible reducción de las cantidades a aplicar y el ahorro de operaciones de distribución.

6.1.2. Fosfatados

Se clasifican en función de su solubilidad:

- ✓ Los abonos fosfatados solubles presentan, en cualquier condición de suelo y clima, una solubilidad muy superior a 1 mg P_2O_5/l . Su valor fertilizante se expresa por su contenido en P_2O_5 soluble en agua.
- ✓ Los abonos fosfatados hiposolubles, presentan en medio ácido y en caliente, una solubilidad superior a 1 mg P_2O_5/l , pero en medio básico y a la temperatura ordinaria, reducen su solubilidad bajando a unos pocos mg P_2O_5/l . Su valor

fertilizante se expresa por su riqueza en P_2O_5 soluble en ácido cítrico o en citrato amónico.

- ✓ Los abonos fosfatados insolubles, su solubilidad en medio neutro y a la temperatura ordinaria, es inferior a 1 mg P_2O_5/l .

Las riquezas mínimas exigibles a los diferentes abonos fosfatados son las siguientes:

Fertilizante	Fórmula	Riqueza en P_2O_5 (%)
Solubles		
Superfosfato de cal simple	$Ca(PO_4H_2)_2$	16
Superfosfato de cal doble	$Ca(PO_4H_2)_2$	25
Superfosfato de cal triple	$Ca(PO_4H_2)_2$	38
Hiposolubles		
Fosfato bicálcico	$CaPO_4H$	38
Escorias Thomas		12
Insolubles		
Fosfato natural parcialmente solubilizado	$Ca_3(PO_4)_2$	20
Fosfato calcinado	$Ca_3(PO_4)_2$	25
Fosfato aluminocálcico		30
Fosfato natural blando	$Ca_3(PO_4)_2$	25

6.1.3. Potásicos

Los fertilizantes minerales potásicos simples de uso habitual son:

- ✓ El cloruro potásico (KCl) con una riqueza del 50-60 %.
- ✓ El sulfato potásico (K_2SO_4), con una riqueza del 48-50 %.

No es recomendable usar KCl en suelos ácidos, pobres en cal, por su efecto descalcificante y potencialmente acidificante. En el caso opuesto, es decir, en suelos calizos o con alto contenido de calcio activo y fuerte efecto clorosante, es el KCl el abono potásico recomendable.

El KCl puede acentuar los problemas del cultivo en suelos salinos o cuando se utilizan aguas salinas en el riego. Debido a la menor solubilidad de los sulfatos frente a los cloruros, su efecto salino es mucho menos marcado. Por ello, tanto en los suelos salinos estrictos como en los alcalinos, resulta siempre favorable la utilización de sulfato potásico pudiendo sumar, además, su acción liberadora del sodio.

Desde el punto de vista de la economía de la fertilización, el cloruro potásico es el fertilizante más barato de los que se utilizan en agricultura.

6.2. COMPUESTOS

Se denominan compuestos, los abonos que contienen más de uno de los tres elementos: N, P o K.

De acuerdo con el contenido en elementos fertilizantes, se consideran los siguientes tipos de abonos compuestos:

- ✓ **Binarios:** cuando llevan dos elementos fertilizantes. Incluyen las familias: Nitrogenados-fosfatados (N-P), Nitrogenados-potásicos (N-K) y Fosfopotásicos (P-K).
- ✓ **Ternarios:** cuando llevan los tres elementos fertilizantes (N-P-K). Según la forma en que se reúnen los elementos fertilizantes, los abonos compuestos se denominan compuestos de mezcla, si se obtienen por mezcla de abonos simples; o complejos, que son aquellos abonos compuestos en los que las materias primas que contienen los elementos fertilizantes han reaccionado entre sí y se

presentan en forma que su composición química es diferente a la primitiva, no siendo posible su separación ni reconocimiento inmediato.

Foto 27: abono compuesto.

Cualquiera que sea la forma de presentarse, los abonos compuestos se designan por un fórmula que incluye tres cifras. La primera indica el contenido en N, la segunda expresa el contenido en P_2O_5 y la tercera el contenido en K_2O , todos ellos en 100 kg de producto comercial. Si se trata de un abono binario y, en consecuencia, falta algún elemento fertilizante, se coloca, en su lugar, un cero. Así, el conocido 15-15-15 es un abono ternario que proporciona 15 kg de cada uno de los elementos N, P_2O_5 y K_2O , por cada 100 kg de producto, y el 0-14-7 es un binario con 14 kg de P_2O_5 y 7 kg de K_2O por 100 kg de producto comercial. A veces, detrás de la tercera cifra aparece la letra S que indica que la potasa se ha aportado al complejo en forma de K_2SO_4 . Asimismo, puede aparecer una cuarta cifra, pero ésta llevará especificado el elemento a que se refiere. Así, el complejo 20-8-14-0,1B, además de los 20 kg de N, 8 kg de P_2O_5 y 14 kg de K_2O , lleva 100 g de boro, todo ello por 100 kg de producto comercial.

Se denomina equilibrio del fertilizante a la relación entre los tres elementos, tomando el nitrógeno como unidad.

Cuando se utilizan abonos complejos, el coste de las correspondientes unidades fertilizantes es más alto que cuando se emplean abonos simples, pero, generalmente, este mayor costo queda justificado por las ventajas que representa el empleo de estos abonos.

Entre los aspectos positivos de los abonos complejos, su presentación en forma granulada con alta solubilidad y uniforme granulometría permite mejorar la uniformidad de su distribución y la rapidez de actuación. Además, la acción sinérgica de los tres elementos N-P-K se traduce en un

incremento de la eficiencia fertilizante de cada uno de ellos que permite reducir la dosis o mejorar los rendimientos. Desde el punto de vista económico, la fabricación de complejos con altas graduaciones permite reducir los costos secundarios de la fertilización: saquerío, transporte, acarreo y distribución.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la formulación que presenta el complejo quizás no sea la requerida por el cultivo, en función del suelo y sistema de producción. El fertilizante ofrece un equilibrio en el abono, pero el agricultor lo que necesita es un equilibrio para sus suelos y sus cultivos. En numerosas ocasiones, estos equilibrios no coinciden y el éxito de la fertilización residirá en hacer que se aproximen, lo más posible, estos equilibrios.

Los principales complejos binarios son:

Denominación	Sigla o formulación	Riqueza (%)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Superfosfato potásico	0-14-7	0	14	7
Fosfato monoamónico	MAP	10,5	52	0
Fosfato diamónico	DAP	18	46	0
Nitrato potásico	KNO ₃	13	0	44

Los principales complejos ternarios utilizados en la agricultura española son:

Pobres en nitrógeno	Medias en nitrógeno
4-12-8	9-18-27
5-15-5	10-15-24 (5S)(3MgO)(0,8Zn)
7-12-7	12-10-17 (3MgO)
8-8-8	12-12-24
8-10-30 (3S)(2MgO)(0,1B)	12-24-8
8-15-15	
8-24-8	Ricas en nitrógeno
8-24-16	15-15-15

8-24-24	15-15-15S
8-18-27	17-8-13 (4MgO)(4S)
8-36-16	28-8-14 (0,1B)(3S)
	20-10-5S (3,3MgO)
	20-10-10

7. EJEMPLOS

7.1. ANÁLISIS 1

Limo	18 %
Arena	67,3 %
Arcilla	14,7 %
pH (1/2,5)	8,1
CE (1/5)	0,09 dS/m
M.O.	1,36 %
C/N	8,4
Carbonatos	3,4 %
Fósforo Olsen	8 mg P/kg suelo
Potasio	225 mg K/kg suelo
Calcio	4200 mg Ca/kg suelo
Sodio	20 mg Na/kg suelo
Magnesio	340 mg Mg/kg suelo
Cultivo anterior	Maíz
Cultivo siguiente	Patata (regadío)

La textura es franco-arenosa, por lo que el terreno es medio.

Los valores de pH y conductividad son normales.

Los niveles de Mg, Ca y Na son adecuados para el cultivo.

El nivel de materia orgánica es necesario aumentarlo al 2%.

Pérdidas por mineralización de la materia orgánica del suelo:

$$P = 10^3 * 0,25 * 1,4 * 1,36 * 2 = 952 \text{ kg humus/ha.}$$

Aporte por enterrado de restos del cultivo anterior (maíz) : 750 kg humus/ha

Las necesidades de mantenimiento serán la diferencia:

$$202 \text{ kg humus/ha} \Rightarrow 2 \text{ t estiércol/ha}$$

Para aumentar el nivel de materia orgánica al 2 %:

$$\Delta\text{MO} = 10^4 * 0,25 * 1,4 * (0,02-0,0136) = 22,4 \text{ t humus/ha}$$

Para un programa de mejora a 20 años: 1120 kg humus/ha y año \Rightarrow 11,4 t estiércol/ha y año.

En total habrá que aportar 13 t de estiércol de vacuno por ha y año \Rightarrow aportaremos 26 t/ha cada dos años.

Patata en regadío: 40000 kg/ha de producción

Para un suelo medio	Coef. de corrección	Necesidades corregidas	Por estercolado	Necesidades totales
4,5 * 40 = 180 kg N		180	- 44	136
2,8 * 40 = 112 kg P ₂ O ₅	* 1,7	190	- 21	169
6,5 * 40 = 260 kg K ₂ O	* 0,6	156	- 52	104

Como abonado se podrían aportar por ejemplo, 700 kg/ha del complejo 8-24-16 en presiembra y 250 kg/ha de nitrato amónico (33,5 %) en cobertera. De esta manera estamos aportando 140 kg N, 168 kg P₂O₅ y 112 kg K₂O.

7.2. ANÁLISIS 2

Limo	8,4 %
Arena	82,4 %

Arcilla	9,2 %
pH (1/2,5)	5,6
CE (1/5)	0,10 dS/m
M.O.	1,40 %
C/N	8,6
Carbonatos	< 0,01
Fósforo Olsen	31 mg P/kg suelo
Potasio	85 mg K/kg suelo
Calcio	600 mg Ca/kg suelo
Sodio	35 mg Na/kg suelo
Magnesio	40 mg Mg/kg suelo
Cultivo anterior	Barbecho
Cultivo próximo	Cebada

La textura es arenosa-franca, por lo que el terreno es ligero.

Los valores de conductividad son normales.

Los niveles de Na son adecuados para el cultivo.

El nivel de materia orgánica es aceptable para este cultivo.

El suelo es ácido, por lo que es necesario corregir el pH. Para subir el pH a 6,5 en un espesor de 25 cm son necesarios 1875 kg/ha de cal viva, o 3075 kg/ha de dolomitas, o 9375 kg/ha de espumas de azucarera. Como el contenido en magnesio es muy bajo, se recomienda emplear dolomitas.

Cebada en secano: 3000 kg/ha de producción.

Para un suelo medio	Coef. de corrección	Necesidades corregidas
23 * 3 = 69 kg N		69
11 * 3 = 33 kg P ₂ O ₅	* 0	0
23 * 3 = 69	* 1,2	83

kg K ₂ O		
---------------------	--	--

Como abonado se podrían aportar por ejemplo, 175 kg/ha de K₂SO₄ (50 %) y 100 kg/ha de sulfato amónico (20 %) en presiembra, y 200 kg/ha de NAC (26 %) en cobertera. De esta manera estamos aportando 72 kg N y 88 kg K₂O.

Si no se aplicaron las dolomitas, aportar 200 kg/ha de sulfato magnésico.

8. GLOSARIO

Adsorción: fijación de un catión a una superficie sólida.

Alcalino: que tiene un pH básico.

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): es la cantidad máxima de elementos electropositivos de toda clase, expresados en meq, que es capaz de retener una muestra de 100 g de suelo.

Complejo de cambio: parte del suelo que presenta la propiedad de fijar sustancias sobre su superficie sólida. Estos elementos adsorbidos están en continuo intercambio con los elementos de la solución del suelo.

Humus: conjunto de sustancias orgánicas de colores pardo y negruzco que resultan de la descomposición de materias de origen vegetal y animal y de la que resultan productos muy polimerizados, de estructura amorfa y propiedades coloidales e hidrofílicas.

9. BIBLIOGRAFÍA

Bustamante Alonso, I. y P. Corral Barbero, 1999. Laboratorio de Análisis Agrícola I.N.E.A. INEA

Domínguez Vivancos, A., 1997. Tratado de Fertilización. Mundi Prensa.

Junta de Extremadura, 1992. Interpretación de análisis de suelo, foliar y agua de riego. Consejo de abonado (Normas básicas). Mundi Prensa.

López Ritas, J. y J. López Melida, 1990. El diagnóstico de suelos y plantas. Mundi Prensa.

Métodos Oficiales de Análisis tomo III, 1994. M.A.P.A.

Personal del laboratorio de salinidad de U.S.A., 1980. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed. Limusa.

Porta Casanellas, J., 1986. Técnicas y experimentos en Edafología. Col.legi Oficial d'Enginyers Agronomes de Catalunya.

Urbano Terrón, P., 1989. Tratado de Fitotecnia General. Mundi Prensa.

Urbano Terrón, P., 2002. Fitotecnia: ingeniería de la producción vegetal. Mundi Prensa.

Villalbí Forcadell, I. y M. Vidal Pericas, 1988. Análisis de suelo y foliares: interpretación y fertilización. Fundación Caja de Pensiones.

Páginas web:

<http://www.aimcra.com>: página de la Asociación de Investigación para la mejora del cultivo de la remolacha azucarera, donde se proporciona información sobre el abonado de este cultivo.

<http://www.inea.uva.es>: la página de INEA tiene un portal sobre el Laboratorio de Análisis, en el que se analizan suelos, abonos, aguas, foliares, etc.

<http://www.jcyl.es>: