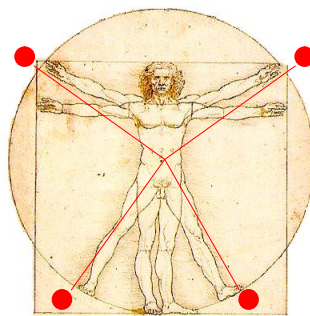


# TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

VOLUMEN IX. AÑO 2011



## FERTILIZACIÓN Y CORRECCIÓN EDÁFICA DE SUELOS AGRÍCOLAS CON PRODUCTOS ORGÁNICOS.

Dra. Rosalía Moreno Pérez; Dr. Tomás García Martín  
Dr. José María Storch de Gracia y Asensio  
Dra. Marta Muñoz Hernández  
Dra. Esther Yáñez Conde  
Dña. Esther Pérez Arellano



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO  
Escuela Politécnica Superior  
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: Rosalía Moreno Pérez; Tomás García Martín, José María Storch de Gracia y Asensio; Esther Yáñez Conde; Marta Muñoz Hernández; Esther Pérez Arellano

Septiembre, 2011

[http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD11\\_003.pdf](http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD11_003.pdf)

© De la edición: Revista *Tecnologí@* y desarrollo

Escuela Politécnica Superior.

Universidad Alfonso X el Sabio.

28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).

ISSN: 1696-8085

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

*Tecnologí@ y desarrollo. ISSN 1696-8085. Vol. IX. 2011.*

## FERTILIZACION Y CORRECCION EDAFICA DE SUELOS AGRICOLAS CON PRODUCTOS ORGANICOS.

**Rosalía Moreno Pérez <sup>(a)</sup>, Tomás García Martín <sup>(b)</sup>, José María Storch de Gracia y Asensio <sup>(c)</sup>, Esther Yáñez Conde <sup>(d)</sup>, Marta Muñoz Hernández <sup>(e)</sup>, Esther Pérez Arellano <sup>(f)</sup>**

(a) Máster en Ingeniería Ambiental para profesionales de la obra civil y la industria. Lcda. en Ciencias Ambientales. Responsable de los Laboratorios de Ingeniería Química de la Universidad Alfonso X El Sabio Tel: 91 810 91 65, email: [rmoreper@uax.es](mailto:rmoreper@uax.es)

(b) Dr. en Ingeniería Química, Jefe de Estudio de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, Ciencias Ambientales e Ingeniería Química y,. Subdirector de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Alfonso X El Sabio. Tel: 91 810 91 45 [tgarcmar@uax.es](mailto:tgarcmar@uax.es)

(c) Dr. en Química Industrial. Área de Tecnología Industrial de la Universidad Alfonso X El Sabio Tel: 91 810 91 16

(d) Dra. en Biología. Área de Tecnología Industrial de la Universidad Alfonso X El Sabio. Tel: 91 810 50 09 email: [evanez@uax.es](mailto:evanez@uax.es) .

(e) Dra. en Ciencias Químicas. Área de Tecnología Industrial de la Universidad Alfonso X El Sabio. Tel: 91 810 91 47 email: [marmuhe@uax.es](mailto:marmuhe@uax.es) .

(f) Máster en Ingeniería Ambiental para profesionales de la obra civil y la industria. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Tel: 91 810 92 17, email: [eprezare@uax.es](mailto:eprezare@uax.es)

### RESUMEN:

En el presente trabajo se estudia la alimentación de las plantas desde dos puntos de vista: 1) acondicionamiento del suelo y 2) fertilización para proporcionar nutrientes a las plantas. Se plantean cuestiones generales sobre la nutrición vegetal, las bases de la fertilización de suelos agrícolas y una clasificación de diferentes productos que pueden aplicarse como abonos, enmiendas o correctores de las propiedades del suelo.

PALABRAS CLAVE: fertilizante, corrector, suelo, valorización

### ABSTRACT:

The present paper deals with the nourishment of plants: 1) soil conditioning; 2) fertilization to provide plant nutrient. General questions appear on the vegetable nutrition, the bases of the fertilization of agricultural soils and a classification of different products that can be applied as fertilizer, amendments or correctors of the properties of the soil.

KEY-WORDS: fertilizer, soil conditioning, valorization

SUMARIO: 1 Introducción. 2. Nutrición vegetal. 3 Suelos agrícolas. 4 Suelos fatigados. 5 Fertilización. 6 Productos para mejorar el suelo y activar el desarrollo vegetal. 7 Productos fertilizantes clasificados como abonos orgánicos. 8 Conclusiones. 9 Referencias.

[http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD11\\_003.pdf](http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD11_003.pdf)

*SUMARY:* 1 Introduction. 2 Plant nutrition. 3 Agricultural soils. 4 Tired soils. 5 Fertilization. 6 Products to improve the soil and to activate the vegetable development. 7 Products fertilizers classified as organic credits. 8 Conclusions. 9 References.

## 1. Introducción

*“... Con frecuencia oigo quejarse de que la Tierra ha sido invadida por la esterilidad, como pudiera serlo por cierta dolencia, no es propio de una persona sensata pensar que la Tierra se ha envejecido como el hombre... Que la Tierra no se envejece ni se fatiga si se estercola...por nuestra pereza nos corresponden con menos liberalidad los campos. Y así se pueden recoger frutos más abundantes, si se vuelve a la Tierra por sí, estercolándola oportuna y moderadamente.”*

Lucio Junio Moderato Columela  
*“Los doce libros de la agricultura”* (Año 42 dC)

Sir Albert HHoward [5] desarrolló e implantó el sistema “Indore” en la India fermentando estiércol, lodos, pajas, restos de comida y, hojas secas y frescas. Todos estos materiales se apilan en capas y se voltean periódicamente. Las aguas lixiviadas por los montones se utilizan para abonar los cultivos. En los años 40, Howard publica “An Agricultural Testament” [5] con el que impulsó del desarrollo de la agricultura ecológica.

Durante la Segunda Guerra Mundial, los abonos orgánicos tuvieron un resurgimiento para los cultivos como los hortícolas pero, debido a la mala calidad de algunos productos y al elevado coste de los mismos, se sustituyeron por abonos como el compost por fertilizantes químicos. Después de la Segunda Guerra Mundial se incrementa la mecanización del laboreo y se elimina la práctica de aplicar estiércol y compost a los suelos para mantener su fertilidad. En un tratado de agricultura del siglo XI se cita que *“la utilidad del estiércol consiste en que aviva el calor natural de las plantas y en que ensancha con el suyo los poros de la tierra hasta penetrar a las raíces”*. A mediados del siglo XX la fabricación de amoníaco para su uso como componente de fertilizantes (nitrógeno amoniacal, N-NH<sub>3</sub>) era del orden de 10.000 T/año y en el año 2008 superó las 80.000 T/año [16].

Es evidente que el aumento de la población requiere un incremento en la producción de alimentos y, para ello es necesario que la superficie de cultivo esté disponible bajo condiciones físicas, químicas y biológicas óptimas. Debido a esto, la demanda de productos fertilizantes ha crecido en las últimas décadas y su consumo es cada vez más habitual. La práctica intensiva de cultivos, sin respetar los ciclos de los nutrientes ni de regeneración de humus, ha hecho habitual la aplicación de correctores (enmiendas) de la estructura del suelo. Según la Encuesta sobre Superficies y Cultivos en España [3], en su ejercicio del 2009, los barbechos (técnica de

recuperación de la tierra) han tenido un importante crecimiento respecto al ejercicio anterior. Debido a esto, muchas superficies no han estado disponibles para cultivar.

Este hecho junto a los precios de los terrenos agrícolas ha derivado en un ligero descenso en la superficie cultivada en España.

El presente trabajo pretende establecer las diferencias teóricas entre la “fertilización” con el objetivo de aportar nutrientes o corregir su carencia en suelos agrícolas, y la “fertilización como técnica de corrección” de la estructura edáfica del suelo para conseguir que esta se aproxime al modelo del complejo edáfico perfecto del suelo (imprescindible para la fertilización del suelo y la nutrición de las plantas) mediante la adición de humus. El estudio se ha desarrollado en el marco de un proyecto de investigación financiado por el Banco Santander a través de la Fundación Universidad Alfonso X El Sabio titulado “*Fabricación de fertilizantes líquidos y recuperación de suelos contaminados utilizando lixiviados tratados*”.

Uno de los objetivos del proyecto de investigación era estudiar la posibilidad de utilizar un lixiviado procedente de un proceso de compostaje de restos orgánicos como fertilizante ya que el contenido en materia orgánica del lixiviado es suficiente como para ser aprovechado en actividades agrícolas. Es imprescindible el acondicionamiento previo del efluente (si se quiere aplicar en suelos agrícolas y jardines) para eliminar los agentes patógenos, ajustar el pH y conductividad eléctrica, entre otros. Se realizaron muestreos y análisis para cuantificar en contenido en sustancias orgánicas e inorgánicas del lixiviado cuyos resultados se publicarán en artículos posteriores.

### 1.1 ¿Por qué abonar?

En el caso más favorable es la propia naturaleza la que se encarga de reponer los nutrientes consumidos por los cultivos [6], pero ocurre precisamente todo lo contrario, los suelos agrícolas se deterioran debido a su explotación masiva. Desde este punto de vista y, dado que el hombre debe parte de su existencia a los suelos agrícolas, es necesario un aprovechamiento sostenible de los mismos mediante la prohibición de laboreo a favor de pendientes, el uso racional de los recursos hídricos y productos fertilizantes teniendo en cuenta las zonas vulnerables. Para evitar la pérdida de fertilidad de los campos es necesario que en los Planes de acción comunitarios se desarrollen “buenas prácticas” como el buen uso de los restos de los cultivos, no quemar los rastrojos, respetar los ciclos fértiles del suelo, técnicas de cultivo de bajo consumo hídrico, recomendaciones de fertilización para reponer los nutrientes perdidos, aplicación de enmiendas para favorecer la formación de agregados en el suelo, etc. [23] [6] [8] [3].

### *1.2 Abono racional*

El objetivo a alcanzar cuando se aplica un abono es la obtención de altos rendimientos en las cosechas y buena calidad en los productos. [6] [23]. Por esto, existen algunas razones para la práctica de la fertilización de modo racional. A continuación se citan algunas de ellas [6]:

- *“Es necesario obtener producciones rentables”* desde el punto de vista de los beneficios.
- *“Incremento en los costes energéticos”* que conlleva a un aumento en los precios de los productos fertilizantes.
- *“La exigencia de proteger el medio ambiente”* de las consecuencias de una fertilización mal realizada.

De lo que se trata es de limitar el abonado a las necesidades reales y aumentarlo cuando sea necesario. De esta forma se evitan tanto daños medioambientales (la lixiviación de nutrientes hacia las capas profundas de la tierra ocasionan contaminación de aguas subterráneas y acuíferos), como daños económicos (la pérdida de nutrientes por una fertilización excesiva produce pérdidas económicas).

Es evidente que existe una problemática generalizada en cuanto a la fertilización y corrección de los suelos agrícolas por lo que resulta importante conocer el comportamiento de los abonos y su correcta aplicación teniendo en cuenta los siguientes aspectos [6]:

- Las necesidades de los cultivos pueden variar con respecto a las actuales, por ejemplo, con la aparición de nuevas especies.
- Debido a las actividades de laboreo profundo, encalado o drenaje más profundo se pueden alterar las condiciones del suelo.
- Pueden aparecer en el mercado nuevos productos fertilizantes sintéticos más económicos y persistentes.

Es muy importante tener en cuenta todos los factores de crecimiento de los cultivos para obtener una producción elevada y de gran calidad [8]. Para ello es necesario saber, con la mayor exactitud, la relación del abonado con el resto de operaciones (desde el laboreo hasta los tratamientos fitosanitarios), es decir, la cantidad de fertilizante a aplicar debe adaptarse al desarrollo vegetal en todos los aspectos [25] [8]. Por ejemplo, las plantas de alta productividad demandan una cantidad de nutrientes abundante para poder desarrollar su potencial genético en un periodo de tiempo relativamente corto y, el diagnóstico previo de demanda de nutrientes debe ser muy exacto si se quieren alcanzar rentabilidades altas con gran calidad productiva.

### *1.3 Errores de la fertilización del pasado*

Se asocia el descenso en la producción y la pérdida de fertilización de los suelos agrícolas al descuido en el abonado con los elementos básicos (N, P, K) (error considerado como grave ya que los cultivos de alta productividad demandan gran cantidad de estos elementos como ya se ha comentado). Por otra parte, el descuido con el resto de elementos fertilizantes (magnesio, azufre y los oligoelementos como magnesio, cobre, boro, hierro o zinc) puede producir una disminución en la producción y, por tanto, un déficit de nutrientes en la reserva del suelo.

Por otra parte, el descuido de las condiciones del suelo (pH y estado de agregación), el abonado excesivo y los errores en los diagnósticos de las necesidades de fertilizantes son errores moderados que pueden derivar en daños graves tanto para el suelo como para los cultivos y, por tanto, para la supervivencia del hombre [6].

Por otra parte, el descuido de las condiciones del suelo (pH y estado de agregación), el abonado excesivo y los errores en los diagnósticos de las necesidades de fertilizantes son errores moderados que pueden derivar en daños graves tanto para el suelo como para los cultivos y, por tanto, para la supervivencia del hombre [6]. Según un viejo tratado de agricultura, “el objetivo del abonado debe ser el de disponer la aportación de los abonos y el laboreo del terreno de tal forma que la acción de los elementos fertilizantes y demás factores del crecimiento no resulte obstaculizada por un factor que no se haya tenido en cuenta”.

El Real Decreto 824 de 8 de julio de 2005, sobre Productos Fertilizantes, en su Artículo 5, dice que “los productos fertilizantes que pueden usarse como abonos o enmiendas en agricultura y jardinería deben pertenecer a alguno de los tipos incluidos en el Anexo I del Reglamento CE N° 2003/2003 y en el Anexo I del citado decreto:

*Grupo 1: Abonos Inorgánicos Nacionales*

*Grupo 2: Abonos Orgánicos*

*Grupo 3: Abonos órgano-minerales*

*Grupo 4: Otros productos y abonos especiales*

*Grupo 5: Enmiendas calizas*

*Grupo 6: Enmiendas orgánicas*

*Grupo 7: Otras enmiendas”*

Por otra parte, se ha caracterizado un *lixiviado* procedente de un proceso de compostaje de restos vegetales y lodos de depuración de aguas residuales urbanas. Este efluente contiene sustancias nutritivas para las plantas y se plantea la hipótesis de utilizar estos subproductos como materia prima para la fabricación de fertilizantes o correctores del complejo edáfico del suelo. La presencia de sustancias nutrientes para las plantas y su contenido en humus dota de cierto valor a este residuo. La valorización de estos lixiviados es una alternativa para recuperar nutrientes esenciales para las plantas y materia orgánica rica en humus.

## 2. Nutrición vegetal

De forma general, las plantas demandan 16 elementos nutritivos: C, H y O y 13 elementos que se clasifican como “principales o macronutrientes” (consumo en cantidades elevadas) (N, P, K) “nutrientes secundarios” (consumo en cantidades moderadas) (Ca, S y Mg) y los “oligoelementos o micronutrientes” (consumo en cantidades mínimas) (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn) [6][8][23] El carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) tienen una función clorofílica y son los principales componentes estructurales de la materia orgánica. [6][23] Gracias a la luz solar, las plantas verdes sintetizan sustancias de alto poder energético a partir de sustancias más simples de baja energía. En el proceso de fotosíntesis, el agua se hidroliza dando lugar a hidrógeno molecular (H<sub>2</sub>) y oxígeno molecular (O<sub>2</sub>) donde este último es desechado y el hidrógeno junto al dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se utiliza para sintetizar azúcares que son la base para la fabricación de gran cantidad de sustancias contenidas en ella como: almidón, hidratos de carbono complejos, grasas, proteínas, vitaminas, enzimas, etc. [6]

Los *macronutrientes* desempeñan una función vital en el desarrollo de la plantas y están directamente relacionados con la productividad de los cultivos [6] [8] [11]. El nitrógeno es esencial para la reproducción celular y se ha demostrado que la calidad de un abono está relacionada con su contenido en nitrógeno. Favorece el color verde oscuro de las hojas y tallo, así como el crecimiento rápido de la planta. La presencia de dicho elemento además, mejora la calidad y funcionamiento de las hojas, aumenta el contenido proteico y ayuda a mejorar la resistencia frente a enfermedades. El fósforo es fundamental para la formación de compuestos celulares ricos en energía, siendo necesario para el metabolismo microbiano. Acelera la fase de maduración de la planta y estimula el crecimiento de las raíces. El potasio ofrece resistencia frente a las enfermedades, impulsa el enraizamiento, ayuda a la formación de proteínas, tallo y frutos, y es esencial en la formación de almidón, azúcares y aceites.

Por otra parte, las plantas requieren cantidades relativamente importantes de otros elementos como el calcio (Ca), magnesio (Mg) o azufre (S), para su desarrollo normal. Estos son los denominados *nutrientes secundarios* [8]. El azufre forma parte de las proteínas, estimula la formación de las hojas y el crecimiento vigoroso de la planta y ayuda a mantener el color verde oscuro. El calcio da consistencia al tallo, mejora la producción de la semilla y estimula los microorganismos del suelo y, el magnesio es una parte esencial de la clorofila, básico para la formación de azúcar, regula la disposición de algunos nutrientes y transporta el fósforo en la planta [23].

En cuanto a los *oligoelementos o micronutrientes*, también aportan beneficios a la planta como por ejemplo: El hierro forma parte de la síntesis de la clorofila y participa en el metabolismo. El boro mejora el rendimiento y calidad de la fruta, es importante para la producción de semillas, contribuye al uso del calcio y el fósforo y transfiere azúcar a la planta. El cobre es esencial para la producción de semillas, participa en la regulación del agua y ofrece resistencia a



enfermedades. El zinc participa en la producción de clorofila y su principal función es que participa en la reproducción de la planta. El manganeso ayuda en la fotosíntesis, es esencial para la absorción del anhídrido carbónico, participa en la germinación y en la maduración de la planta. Por otra parte, el carbono procedente de la fotosíntesis, participa en la síntesis celular para formar protoplasma, lípidos, grasas y carbohidratos. Durante la etapa del metabolismo se oxida para producir energía y anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>). Este elemento constituye el 50% del contenido celular de los microorganismos (debe ser el mayoritario) y el 25% del dióxido de carbono se desprende durante la respiración celular.

Tabla 1: Elementos nutrientes de los vegetales

| ELEMENTO | VIA DE PENETRACION   | DESTINO EN EL VEGETAL      | CONTENIDO EN LA TIERRA UTIL         | EFICIENCIA = utilizado /añadido |
|----------|--|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| C        | Fotosíntesis (participan en la formación de la clorofila) <sup>1</sup> | GENERAL                    |                                     |                                 |
| H        |  |                            |                                     |                                 |
| O        |  |                            |                                     |                                 |
| N        | Absorción osmótica del medio acuoso <sup>2</sup> por las raíces.       | Tallos y hojas             | 0,14% N                             | 40 - 60%                        |
| S        |  | Proteínas.                 |                                     |                                 |
| P        |  | Semillas y frutos          | 0,14% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 5 - 25%                         |
| Ca       |  | Tallo y semillas           |                                     |                                 |
| K        |  | Almidón, azúcares y fibras | 1% K                                | 40 - 70%                        |
| Mg       |  | Azúcares y clorofila       |                                     |                                 |

Fuente: Storch de Gracia, 1997[23]

Las plantas pueden absorber sustancias nutritivas a través de las raíces (absorben agua, oxígeno, sustancias orgánicas y minerales) y de los estomas y microporos de las hojas (anhídrido carbónico, oxígeno, agua y otros solutos). Como puede verse en la Tabla 1, las plantas consiguen sus elementos esenciales mediante absorción osmótica radicular y el carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) a través de las hojas. Existe un doble equilibrio de transferencia de iones del que se profundiza en el siguiente punto.

### 2.1 Balances de materia entre los sistemas planta, fase líquida y suelo [23]

Como se ha comentado antes existe un doble equilibrio entre los sistemas “suelo”, “fase líquida o acuosa” y “planta” (suelo ↔ fase acuosa ↔ planta). Los balances de materia entre los tres sistemas se pueden ver de forma gráfica en la Figura 1 que representa las operaciones de

<sup>1</sup> El carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) proceden de la fotosíntesis por acción de la luz (catalizador) y el agua

<sup>2</sup> Se encuentran disueltos en forma iónica en la fase líquida del suelo.

intercambio iónico y transferencia de elementos nutrientes para las plantas entre la fase acuosa o solución externa, que rodea las raíces y el suelo.

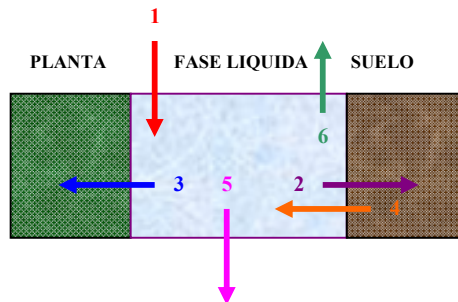


Figura 1: Balances de materia entre los sistemas “suelo”, “fase líquida” y “planta”

En la fase sólida del suelo, el intercambio se produce con la denominada solución interna, complejo de cambio o complejo adsorbente que tiene la capacidad de intercambio iónico con la fase acuosa o solución externa. La descripción de las líneas de flujo de entrada y salida para los balances es la siguiente:

- 1\_ Aportación de nutrientes (natural más abonado).
- 2\_ Adsorción de iones por el complejo edáfico que actúa como reservorio de nutrientes.
- 3\_ Absorción osmótica radicular (asimilación de nutrientes por las raíces desde la fase líquida)
- 4\_ Desorción desde el complejo edáfico (cuando la planta requiere iones adheridos a los coloides del complejo edáfico perfecto)
- 5\_ Lixiviación hacia capas profundas del terreno donde los nutrientes no están accesibles para las raíces.
- 6\_ Volatilización de algunos elementos nutritivos.

El “intercambio iónico” se realiza mediante la absorción/desorción (2 y 4) de iones desde el complejo edáfico mientras que la “absorción osmótica radicular” (3) se realiza en la fase acuosa del suelo. El equilibrio existente entre estos procesos (teniendo en cuenta las pérdidas por lixiviación y/o volatilización) constituyen el proceso de nutrición vegetal. El intercambio iónico permite la disponibilidad de los nutrientes en función de las necesidades de los mismos y la absorción osmótica permite la nutrición de las plantas favoreciendo su desarrollo. El equilibrio entre los procesos de adsorción/desorción desde el complejo edáfico depende del incremento de las concentraciones de iones en el agua y sobre los coloides del complejo edáfico, mientras que la absorción osmótica radicular depende directamente del incremento de concentraciones en el

agua y las células vegetales. En la Tabla 2 se puede ver el comportamiento de los iones nutrientes referido a los balances de materia anteriormente explicados.

Tabla 2: Comportamiento de los iones nutrientes dentro de los balances de materia

| ELEMENTO  | ION   | APORTACION GENERAL (1)  | ADSORCION (2) | ABSORCION (3) | DESORCION (4) | LIXIVIACION (5) | VOLATILIZACION (6) | DEGRADACION PREVIA  |
|-----------|---|---|---------------|---------------|---------------|-----------------|--------------------|---|
| NITROGENO | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                | KNO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> , Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>  | No            | Rápida        | No            | Rápida          | No                 | No  |
|           | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>                | NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> , (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> | Si            | No            | Si            | Poca            | Si (T>25°)         | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                                |
|           | NH <sub>3</sub>                             | DISUELTO AL 25%   | No            | No            | No            | No              | Si (T>25°)         | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> → NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
|           | AMIDA                                       | UREA (CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> )<br>CIANAMIDA (CN <sub>2</sub> Ca)   | No            | No            | No            |                 | No                 | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                                |
|           | BIOLOGICO                                   | ESTIERCOL COMPOST   | No            | No            | No            |                 | No                 | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> |
| FOSFORO   | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>               | (NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> PO <sub>4</sub><br>Inestable  | Si            | Si            | Si            |                 | No                 | N   |
|           | HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>              | Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>   |               |               |               |                 |                    |   |
|           | H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | Insoluble   |               |               |               |                 |                    |   |
| POTASIO   | K <sup>+</sup>                              | KNO <sub>3</sub> , KCl, K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>  | Si            | Si            | Si            |                 | No                 | No  |

Fuente: Storch de Gracia, 1997[23]

Hay que recordar que los iones de cambio ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ ) se adhieren al complejo edáfico del suelo mediante atracciones electrostáticas y el resto de iones son asimilados directamente por la planta mediante absorción osmótica radicular ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ ).

En lo relativo al *nitrógeno (N)*, se presenta en diferentes formas que se comportan de modo diferente como se observa en la Tabla 2. El nitrógeno solo es asimilable por las raíces en su forma nítrica, por lo tanto, todas las especies nitrogenadas deberán degradarse previamente a esta forma. El nitrógeno nítrico es asimilable mientras que el nitrógeno amoniacal se encuentra en la reserva del complejo edáfico. Este último se hace asimilable, por acción de las nitrobacterias, tras su conversión a nitrógeno nítrico.

El nitrógeno en forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) es asimilable por las plantas mediante absorción osmótica radicular de forma rápida desde la fase acuosa que rodea las raíces. No existe intercambio iónico con el complejo edáfico por lo que se pierde fácilmente por lixiviación. No es un compuesto volátil por lo que las pérdidas se reducen. Se aporta en forma de nitrato potásico ( $\text{KNO}_3$ ) (fosfato diatómico, FDA) y nitrato cálcico ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) (fosfato monoatómico, FMA).

Como se ha comentado anteriormente el ión amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) es retenido por los coloides presentes en el complejo edáfico del suelo formando parte de la reserva de nitrógeno en el suelo. Para poder ser asimilado por la planta debe degradarse a nitrato (proceso de nitrificación por acción enzimática de ciertas bacterias). Debido a que es inmovilizado en el suelo se pierde muy poco por lixiviación, sin embargo, por encima de los 25 °C se producen pérdidas por volatilización. Su aportación se realiza en forma de productos comerciales como el Nitrato de Chile (nitrato amónico,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), hidrogeno fosfato amónico ( $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ) y dihidrogenofosfato amónico ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) como se observa en la Tabla 2.

El nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3$ ) no es asimilable en su forma original por lo que debe degradarse a amonio y posteriormente a nitrato. También forma parte de la reserva de nitrógeno de la planta ya que su aportación se realiza mediante una disolución acuosa. El amoniaco en disolución se encuentra en equilibrio con su ácido conjugado (ión amonio) que es adsorbido por el complejo edáfico del suelo. Si el complejo se encuentra saturado, los iones amonio se perderán por lixiviación y si las temperaturas son altas, por volatilización según se observa en la Tabla 2. El nitrógeno ureico y la carboamina ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) debe degradarse previamente a amoniaco, después a amonio y finalmente a nitrato para poder ser captado por las raíces. En su forma original no presenta pérdidas por lixiviación y/o por volatilización pero cuando se degrada a su forma iónica (amonio) es susceptible de perderse como se ha comentado anteriormente.

El nitrógeno de origen biológico procede de procesos de degradación biológica de restos orgánicos. El estiércol y el compost contienen amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ). Se obtienen a partir de la fermentación aeróbica de compuestos orgánicos. Ya se ha comentado el comportamiento del amonio y el nitrato en base a los datos presentados en la Tabla 2.

En cuanto al *fósforo (P)*, las formas asimilables por las raíces son las especies iónicas ácidas de ácido ortofosfórico, en concreto los iones hidrogenofosfato ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ), dihidrogenofosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) y fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Son captados mediante absorción osmótica radicular y participa en los procesos de intercambio iónico. Puesto que el ión fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) es un ión de cambio, forma parte de la reserva de fósforo en el suelo. No es volátil y no requiere degradación previa para su asimilación. Según la Tabla 1, se aporta en forma de fosfato amónico inestable ( $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ ) y fosfato cálcico insoluble ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ).

Para terminar de comentar la Tabla 2, decir que el potasio (K) se asimila en su forma iónica oxidada ( $\text{K}^+$ ) mediante absorción osmótica radicular. Se trata de un ión de cambio porque es retenido por el complejo edáfico del suelo.

### 3. Suelos agrícolas

Podríamos definir el suelo agrícola como el medio complejo formado, a nivel macromolecular, por:

- A) Arcilla.- Está constituida por aluminio y silicatos coloidales. Es estructura en capas alternas de aluminato y silicato.
- B) Gruesos.- Están formados por los limos de naturaleza arcillosa pero con diámetro de partícula más grandes. El carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), el óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) son algunos ejemplos. Estos elementos gruesos esponjan la tierra aportando porosidad.
- C) Humus.- Material orgánico procedente e la descomposición de residuos de origen animal como el estiércol, y/o de origen vegetal como el compost. Presenta cargas eléctricas residuales negativas ( $\delta^-$ ) e incluye microorganismos esenciales para la nutrición vegetal como por ejemplo las bacterias nitrificantes que convierten el amonio en nitrato ( $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$ )
- D) Aire.- Aporta porosidad y esponjosidad al suelo.
- E) Agua.- Es el elemento imprescindible para el intercambio iónico y la transferencia de nutrientes.

La disposición vista en las Figuras 2, 3 y 4 indican o representan un modelo ideal denominado “**complejo edáfico perfecto**” que representa la realidad en forma muy aproximada. El complejo está formado por tres tipos de elementos *desde el punto de vista macromolecular*: estructurales (Fig. 2), de relleno (Fig. 3) y los iones de cambio (Fig. 4).

Los elementos estructurales están formados fundamentalmente por sílice que presenta una carga eléctrica residual negativa ( $\delta^-$ ), y por alúmina que está cargada positivamente ( $\delta^+$ ). Un ejemplo de este tipo de disposición de elementos estructurales es el que presenta la estructura correspondiente a la Montmorillonita, tal y como puede observarse en la Figura 2.

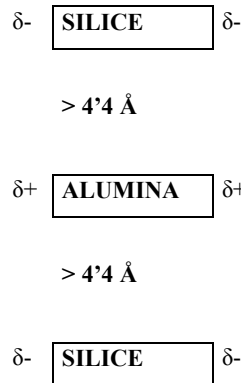


Figura 2: Estructura de la montmorillonita  
Fuente: Vian, 1999 [25]

Los elementos de relleno, para los huecos entre capas estructurales, están compuestos por iones calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y humus ( $\delta^-$ ) dispuestos de forma estable entre capas estructurales. A esta estructura se considera como el “complejo edáfico perfecto” (Fig. 3). Estos elementos solo se pueden movilizar mediante las técnicas el labrado o a partir de la meteorización del terreno. Esta estructura sirve de reservorio de iones nutrientes para las plantas.

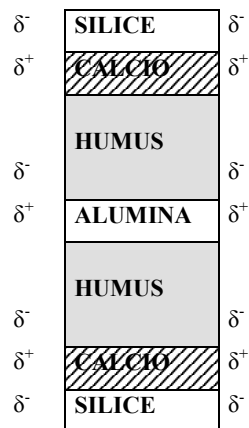


Figura 3: Complejo arcilla – humus - calcio  
Fuente: Vian, 1999 [25]

Los iones de intercambio son adheridos al complejo edáfico mediante atracciones electrostáticas no estables. Los cationes se unirán en aquellos elementos con cargas residuales negativas ( $\delta^-$ ) y los aniones en aquellos cargados positivamente ( $\delta^+$ ) como puede verse en la Figura 4

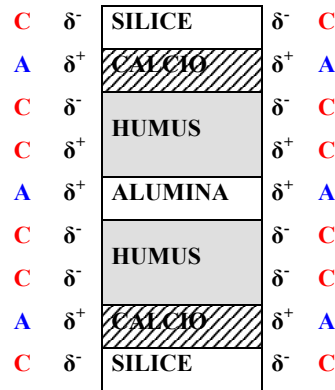


Figura 4: Complejo arcilla – humus – calcio con aniones (A) y cationes (C) de intercambio retenidos  
Fuente: Vian, 1999[25]

Gracias a la adhesión inestable de los iones de intercambio, estos elementos se encuentran disponibles para las plantas, es decir, se transfieren de un sistema a otro (planta ↔ fase acuosa ↔ suelo).

Los elementos de intercambio son los iones fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), los potasio ( $\text{K}^+$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y carbonatos ( $\text{CO}_3^{3-}$ ). Por otra parte, los iones nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) no se adhieren al complejo por lo que son susceptibles de ser lavados por lo que se pierden por lixiviación.

#### 4. Suelos fatigados

Cuando se habla de “fatiga del suelo” se está dando por hecho la pérdida de rendimiento productivo con respecto a la práctica repetitiva de un mismo tipo de cultivo sobre un mismo tipo de suelo. Este efecto se ve influido por los siguientes factores [6] [10].

Factores químicos:

- Carencia de nutrientes, por agotamiento o por bloqueo en el suelo.
- Contaminación por iones fitotóxicos.
- Contaminación por otro tipo de compuestos excretados por los microorganismos.

Factores biológicos:

- Baja o nula actividad microbiana y de la microfauna del suelo.
- Contaminación por organismos patógenos.
- Establecimiento de competencias entre los microorganismos y los cultivos.
- Pérdida del equilibrio biológico del suelo debido a la aplicación de desinfectantes, o por cualquier otra causa.

Factores físicos:

- Pérdida de las propiedades físicas del suelo, fundamentalmente, pérdida de la estructura del suelo.

Los suelos donde se practica la agricultura de forma intensiva son los más “fatigados” y, la pérdida de estructura en el suelo acelera la influencia de otros factores de naturaleza química o biológica. La contaminación y degradación de los suelos como consecuencia del uso antropogénico ha llegado incluso al abandono de superficies agrícolas por su escasa fertilidad. Es por esto por lo que se recomienda la restauración de estos ecosistemas agrarios mediante la aplicación de enmiendas orgánicas que favorezcan la recuperación de la estructura edáfica del suelo [6].

La estructura del suelo define el estado de agregación de las partículas de lo forman. En la Figura 5 se puede ver los diferentes estados de agregación de la materia en un suelo:



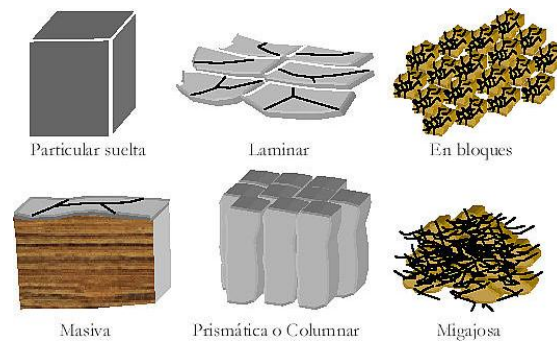


Figura 5: Estructura del suelo. Estados de agregación  
Fuente: <http://www.infoagro.es> [10]

La estructura ideal desde el punto de vista agronómico viene dada por la estructura “migajosa” y en “bloques” debido a que permite un adecuado movimiento del agua y el aire en el suelo, ofreciendo mayor resistencia a la erosión, resistencia térmica y favoreciendo el desarrollo radicular de las plantas. La estructura interna del suelo se distribuye según niveles de organización desde el nivel microscópico hasta el macroscópico. En la Figura 6 se puede observar la organización interna de la estructura de los suelos [10]:



Figura 6: Pirámide de organización de la estructura interna de los suelos.  
Fuente: <http://www.infoagro.es> [10]

Los *dominios* y *clusters* son un conjunto de partículas de arcilla que pueden alcanzar tamaños entre 1 – 5  $\mu\text{m}$ . La unión de varios dominios, da lugar a los cluster o flóculos. La formación de flóculos resulta esencial para la formación de una estructura adecuada del suelo, la existencia de floculación de coloides no implica necesariamente la formación de agregados. Los iones calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y sodio ( $\text{Na}^+$ ) desempeñan un papel fundamental en cuanto a que el calcio actúa como floculante agregando los coloides mientras que el sodio actúa como dispersante. Si la concentración de potasio en el suelo supera el 15%, los coloides no se mantienen floculados ni formarán agregados. Por otra parte, si los iones sodio se encuentran hidratados, la dispersión es mayor. En la Figura 7 se puede apreciar la influencia del sodio en la dispersión de los coloides:

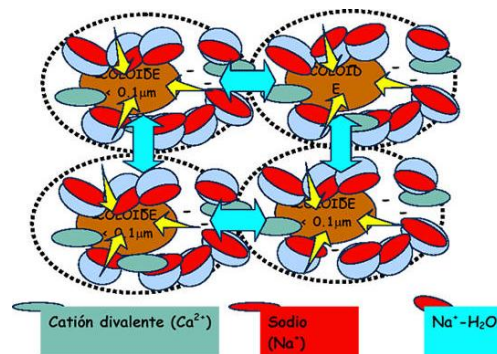


Figura 7: Efecto de los iones calcio y sodio en la floculación de los coloides del suelo.

Fuente: <http://www.infoagro.es> [10]

Cuando los clusters se floculan y alcanzan tamaños comprendidos entre 200 y 250  $\mu\text{m}$  (unidos a partículas de arena fina y limos) se forman los *microagregados*. Esta unión la realizan los ácidos húmicos (compuestos orgánicos altamente polimerizados) y es la que da lugar al complejo arcillo-húmico del suelo. Si estos agregados superan los 250  $\mu\text{m}$  dan lugar a los *macroagregados*. Los responsables de la unión de estos agregados pueden ser:

- sustancias cementantes (óxidos y carbonatos)
- sustancias orgánicas muy biodegradables como ácidos polihidroxicarboxílicos, ácidos fúlvicos, etc.

Para que tenga lugar la formación de macroagregados resulta indispensable que la materia orgánica se encuentre en su fase inicial de maduración, es decir, cuando es más rica en ácidos fúlvicos. Las raíces de los cultivos también contribuyen a mantener unidos los macroagregados proporcionando un desarrollo saludable de la raíz.

En la Figura 8 se muestran algunas propiedades físico-químicas de ácidos polihidroxicarboxílicos, ácidos fúlvicos y ácidos húmicos.

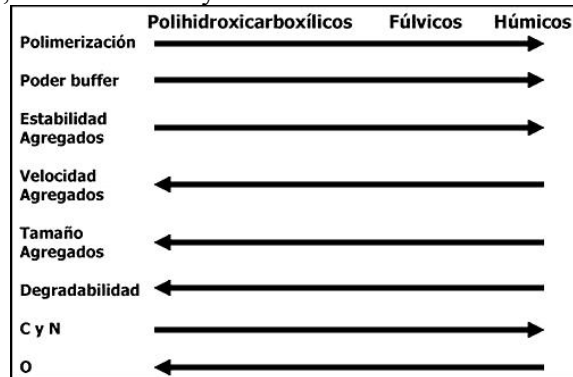


Figura 8: Características de algunos compuestos de origen orgánico.

Fuente: <http://www.infoagro.es> [10]

Como puede apreciarse, los ácidos húmicos son los compuestos con mayor grado de polimerización, con mayor capacidad reguladora de pH, con mayor contenido carbono (C) y nitrógeno (N) y siendo además los de menor contenido en oxígeno. Como se ha comentado anteriormente, son los ácidos húmicos los responsables de la formación de agregados de menor tamaño (proceso lento y producto estable) y los fúlvicos y polihidroxicarboxílicos son los que dan lugar a la formación de macroagregados (proceso rápido y producto inestable). Cabe destacar que la incorporación de estas sustancias al suelo aporta grandes beneficios al suelo y, por consiguiente al buen desarrollo de los cultivos.

Los suelos degradados que pierden los nutrientes sufren “fatiga”, las poblaciones bacterianas presentes no disponen de energía suficiente y la pérdida de materia orgánica provoca compactación de los agregados del suelo originando la pérdida de porosidad [19]. El principal problema de la contaminación de los suelos es la propia dinámica interna de los mismos. Un suelo contaminado puede transferir los contaminantes hacia otros sistemas como aguas subterráneas y acuíferos, limitando la disponibilidad del uso del recurso hídrico contenido en ellas [14] [16].

Por otra parte, conviene tener en cuenta otro tipo de factores como la mala gestión de los residuos, fallos de instalaciones, accidentes, vertidos incontrolados, fugas, etc., que suelen producir contaminación puntual de los suelos.

Los residuos típicos en este tipo de contaminación suelen tener origen industrial fundamentalmente. Finalmente, cabe destacar la práctica de la agricultura, la ganadería o la silvicultura se asocia también a la pérdida de fertilidad de los suelos.

## 5. Fertilización

Como se ha comentado en el apartado 1, los productos fertilizantes pueden aplicarse como abonos o enmiendas, pero hay que señalar que la fertilización hace referencia al abonado propiamente dicho ya que las enmiendas no deben considerarse fertilización desde el punto de vista nutritivo [21]. Por lo tanto, diferenciamos la “fertilización como abono” de la “fertilización como corrector edáfico”.

En la Tabla 2 se han comentado las necesidades de nutrientes N, P, K para una cosecha y para mantener la fertilidad cuando se efectúan los diferentes cultivos. Hemos observado en dichos valores que existe precariedad en la aportación natural de los nutrientes y la necesidad de aplicar alguna alternativa como:

- Dejar las tierras con poco uso productivo en barbecho, sin cultivar o rotando a leguminosas que son capaces de nitrificar la tierra.
- Abonado con fertilizantes biológicos, aunque su producción es insuficiente.
- Abonado con fertilizantes químicos, irremediable ante la demanda creciente de alimentos y fibras vegetales. Ante la necesidad de producción se intensifican y extienden los cultivos mediante el empleo de abonos e insecticidas químicos.

### 5.1 Definición y objetivos de los abonos o productos fertilizantes

Se pueden definir los abonos como “productos destinados a la alimentación de las plantas” [6]. En la legislación [21] se definen como “sustancias que se aplican directa o indirectamente a las plantas, para favorecer su crecimiento, aumentar su producción o mejorar su calidad”.

También se podrían definir como “cualquier sustancia orgánica o inorgánica, natural o sintética que aporte a las plantas uno o más elementos nutritivos de los reconocidos como esenciales para el crecimiento y desarrollo vegetal” [9].

De esta forma, los abonos deberían [6]:

- 1) Favorecer el crecimiento, lo que equivale a favorecer el incremento de la masa vegetal aunque también puede significar la regulación del crecimiento de ciertas partes de la planta para alcanzar producciones importantes.
- 2) Aumentar la producción ya que lo más interesante es el producto neto como por ejemplo las hojas, o los frutos.
- 3) Mejorar la calidad, desde el punto de vista del comercio (valor en el mercado), de la calidad nutricional, para aumentar la resistencia de la planta frente a ataques externos que pueden dificultar el crecimiento o desbordarlo y, desde el punto de vista de la conservación de la fertilidad del suelo.

En función del tipo de fertilizante utilizado existen “abonos orgánicos” y “abonos inorgánicos” y, según las sustancias utilizadas en los abonos, éstos se clasifican en dos grandes grupos: “abonos simples” o “abonos compuestos”. Los abonos simples están compuestos por un solo nutriente (N, P o K) y los compuestos pueden ser dobles (dos nutrientes: N+P, N+K o P+K) o triples (tres nutrientes: N, P y K). [6][23][25]

Como se ha comentado antes, el objetivo principal de las operaciones de abonado o fertilización es conseguir altos rendimientos de gran calidad en los cultivos. Para ello, la acción fertilizante de los abonos debe centrarse en: [6][8]

- a) Mejorar el suelo como sustrato nutritivo, es decir, debe permitir la mejora en la alimentación de las plantas desde el punto de vista de la retención y disponibilidad de los nutrientes.
- b) Complementar el suministro natural de nutrientes que, en ciertos casos es deficitario.
- c) Reponer los nutrientes que han sido extraídos por el propio cultivo o se han perdido por otras razones.

La mejora del suelo como sustrato nutritivo se refiere a que es necesario mantener la estructura edáfica del suelo para que se aproxime al máximo al modelo del “complejo edáfico perfecto”. Si esto es así, la propia estructura del suelo hará que se comporte como un buen sustrato ya que podrá retener los nutrientes y podrá permitir el flujo de éstos hacia el sistema radicular, donde serán asimilados.

La segunda premisa hace referencia a suelos que, de forma habitual, son deficitarios en algún nutriente. En estos casos, no se produce una pérdida de fertilidad por el desarrollo de los cultivos sino que es el suelo el que es “poco fértil” desde el punto de vista del elemento deficitario.

La tercera premisa hace referencia a que los suelos pierden fertilidad o se “fatigan” debido a las explotaciones agrícolas que soportan, o a la pérdida de nutrientes por lixiviación o evaporación de los mismos. Cuando esto ocurre se encuentran con carencias de muchos de los elementos nutritivos que pueden ser macronutrientes, nutrientes secundarios o micronutrientes. En estos casos es necesario corregir el déficit mediante la aplicación de productos fertilizantes.

La aplicación de productos fertilizantes a los cultivos proporcionan grandes beneficios entre los que se encuentran: [11] [13]:

- Regulan del pH del suelo.
- Favorecen la disponibilidad de nutrientes para la planta.
- Estimulan el sistema inmunológico de la planta.
- Aumentan la fertilidad de los suelos gracias a la presencia de sustancias orgánicas.
- Estimulan el crecimiento y el desarrollo del color verde oscuro.
- Pueden aplicarse en cualquier época del año según necesidades.
- Su composición varía en función de las necesidades de los suelos y los cultivos.

La aplicación de los sustratos debe ser lo más óptima posible ya que un exceso de ésta podría alterar los ciclos biogeoquímicos del suelo [19] [10].

### 5.2 Composición o riqueza de los nutrientes en los abonos

La concentración o riqueza de los elementos fertilizantes en un abono se indica en tanto por ciento en peso, en base a una o varias sustancias de referencia. En el caso del nitrógeno (N), su contenido se expresa mediante el tanto por ciento de nitrógeno total. El contenido en fósforo (P) se expresa mediante el porcentaje de pentóxido de fósforo equivalente, y la riqueza del potasio se indica mediante el tanto por ciento de óxido de potasio equivalente como se indica a continuación: [23][25].

Nitrógeno (N) → % (p/p) de NT contenido

Fósforo (P) → % (p/p) de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> equivalente

Potasio (K) → % (p/p) de K<sub>2</sub>O equivalente

Para la denominación general del abono, se escriben las cifras en el siguiente orden y separadas por el signo de los dos puntos: (%N, %P, %K). La suma de las tres cifras indica la concentración total del fertilizante. A continuación se muestran dos ejemplos de designación de abonos:

“ABONO NPK 10:12:15”

Se trata de un abono compuesto (triple) que contiene un 10% en nitrógeno (N<sub>T</sub>), un 12% de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y un 15% de potasio (K<sub>2</sub>O). Presenta una riqueza total de nutrientes del 37% (10+12+15).

“ABONO NK 14:46”

Se trata de un abono compuesto (doble) que contiene un 14% en nitrógeno (NT) y un 46% en potasio (K<sub>2</sub>O) con una concentración total de nutrientes del 60% (14+46).

Para determinar la concentración de nutrientes en los abonos es necesario realizar ensayos analíticos normalizados que cuantifiquen exactamente el contenido en cada una de las sustancias.

### 5.3 Operaciones de fertilización

Se podrían considerar dos operaciones fundamentales para la fertilización desde los puntos de vista del abonado y la corrección edáfica. A continuación se describen brevemente [23]:

El abonado se ha definido en punto 5.2 y en este punto vamos a aportar que es una operación que puede realizarse una o varias veces al año, según las necesidades de los cultivos y de los suelos.

Las enmiendas tienen como objetivo la modificación o mejora de las condiciones mecánicas, físicas, químicas y biológicas del suelo agrícola. Estas operaciones se suelen realizar antes de iniciar el cultivo en un suelo nuevo o de forma periódica para corregir el complejo edáfico en suelos ya cultivados. Se puede realizar mediante encalado, acidificación o humidificación.

El encalado consiste en alcalinizar el suelo mediante la adición de cal apagada fundamentalmente ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) hasta conseguir un pH ligeramente superior a 7. Cuando los suelos son demasiado alcalinos, se realiza una acidificación con sulfato amónico ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ). En el caso de los suelos degradados por la mineralización se puede corregir mediante la adición de materia orgánica en forma de estiércol o compost (abono verde orgánico).

## **6. Productos para mejorar el suelo y activar el desarrollo vegetal**

En este apartado se clasifican algunos productos utilizados para la corrección edáfica de los suelos, corrección del déficit de algún elemento, mejorar la estructura y esponjosidad del suelo, corrección de la acidez, etc.

### *6.1 Productos para mejorar el pH del suelo*

Para favorecer y mejorar las reacciones químicas que tienen lugar en el suelo es necesario ajustar el pH a unos valores óptimos que permitan el correcto desarrollo de la planta y favorezcan la retención de iones nutrientes en el complejo edáfico del suelo [6]. En suelos considerados como ácidos o con pH demasiado bajo, se realiza la elevación del pH por medio de encalados de efecto alcalinizante. Mientras que en los suelos con pH demasiado alto se corrige el valor del pH mediante enmiendas de efecto acidificante.

#### *6.1.1 Enmiendas calizas o encalados*

Actúan frente a sustancias ácidas para subir el pH hasta valores ligeramente superiores a 7, como ya se ha comentado. No se utilizan los álcalis habituales como la sosa, por ejemplo, debido a su coste, entre otras razones. Se emplean como enmiendas calizas las sustancias de la Tabla 3.

Tabla 3: Sustancias de carácter básico utilizada en las enmiendas calizas

| Acción correctora    | Sustancias básicas                | Fórmula química     | Actuación frente a la acidez   |
|----------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| Directa              | Hidróxido de calcio (cal apagada) | Ca(OH) <sub>2</sub> | En medio acuoso.               |
|                      | Hidróxido de magnesio             | Mg(OH) <sub>2</sub> |                                |
| Indirecta            | Óxido de calcio (cal)             | CaO                 | En medio acuoso.               |
|                      | Óxido de magnesio                 | MgO                 |                                |
|                      | Carbonato cálcico (caliza)        | CaCO <sub>3</sub>   | Con dióxido de carbono y agua. |
|                      | Carbonato magnésico               | MgCO <sub>3</sub>   |                                |
|                      | Silicato de calcio                | CaSiO <sub>4</sub>  | Por hidrólisis.                |
| Silicato de magnesio | MgSiO <sub>4</sub>                |                     |                                |

Fuente: Información contenida en la tabla, Finck, 1998. [6]

Los productos de acción directa y, por tanto, más rápida son los hidróxidos de calcio y magnesio ya que liberan iones hidroxilo (OH<sup>-</sup>) directamente al medio acuoso. Los iones hidroxilo tienen un carácter muy básico y neutralizarán el medio aumentando el valor del pH.

Por otra parte, como puede verse en la Tabla 3, los productos de acción indirecta son los óxidos, carbonatos y silicatos de calcio y magnesio. Estas sustancias deben degradarse previamente a los hidróxidos comentados anteriormente. En el caso de los carbonatos presentados en la Tabla 3, reaccionan con el anhídrido carbónico y el agua dando lugar a los hidróxidos correspondientes. Los óxidos de calcio y magnesio tienen carácter básico por lo que su disolución en agua dará lugar a los hidróxidos correspondientes. Por último, en el caso de los silicatos de la Tabla 3, se degradan mediante hidrólisis en hidróxido de calcio e hidróxido de magnesio que, como ya hemos dicho, actúan directamente, corrigiendo en pH.

Los productos más utilizados para el encalado de los suelos agrícolas son los óxidos de calcio y magnesio ya resulta más sencillo trabajar con ellos en vez de con los hidróxidos como sería lógico pensar. La base de referencia para la denominación de este tipo de enmiendas es la "CAL" (CaO) aunque realmente corresponde a mezclas de cal y óxido de magnesio [6]. La incorporación del óxido de magnesio como óxido de calcio solo es posible a efectos prácticos puesto que el contenido en calcio suele ser mucho mayor que el de magnesio. En este caso hay que comentar que el magnesio tiene un 40% más de poder neutralizante en comparación con el calcio. Por ejemplo, 200 mg de óxido de magnesio tiene el mismo efecto que 280 mg de óxido de calcio [6].

La utilización de calcio como referencia para denominar una enmienda en forma análoga a como se hace con los abonos no tiene más sentido que el de designación del producto ya que el calcio como tal no tiene propiedades alcalinizantes sino nutritivas. Por tanto, cabe la duda de si estos productos son considerados como abonos o como correctores de pH mediante operaciones de



encalado. Visto desde otro punto de vista, puede plantearse la duda de si las enmiendas como tal deberían clasificarse como abonos en toda su definición.

En este punto debemos comentar que es necesario diferenciar la función real de los productos fertilizantes de los correctores de las propiedades químicas, físicas, biológicas o mecánicas de los suelos. Los efectos del encalado se pueden ver en la Figura 9:

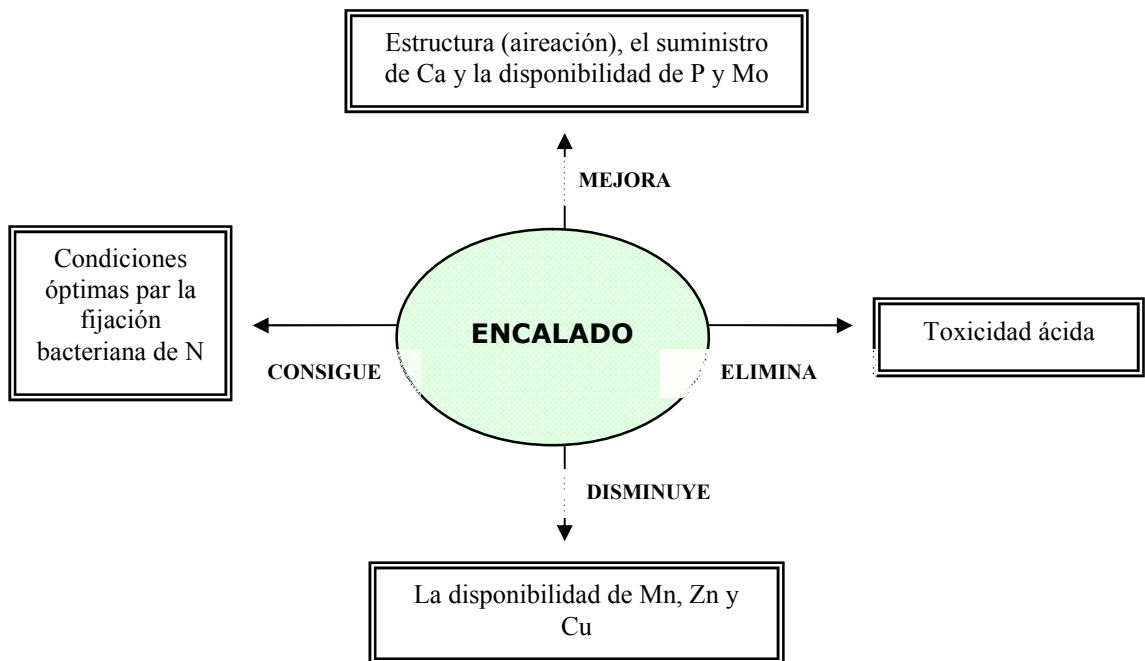


Figura 9: Efectos del encalado sobre los suelos agrícolas.  
Fuente: Información de la figura, Finck, 1998. [6]

El encalado de suelos ácidos o acidificados mejora la estructura porque airea el suelo, favorece el suministro de calcio (Ca) y la disponibilidad del fósforo (P) y del magnesio (Mg). También consigue mejorar las condiciones para la fijación del nitrógeno (N) por acción bacteriana y elimina la toxicidad ácida. Por otra parte disminuye la disponibilidad de oligoelementos como manganeso (Mn), cobre (Cu) o zinc (Zn).

#### 6.1.2 Enmiendas acidificantes

Se pueden utilizar estos productos cuando las condiciones de pH en suelos agrícolas se encuentran por encima de las condiciones óptimas. En este caso se aplican ácidos o productos que se degraden en ácidos cuando entran en contacto con agua. El ácido mas utilizado es el

fosfórico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) en disolución al 1%. Este elemento es de acción directa porque libera protones al medio [6].

### 6.2 Productos para mejorar la estructura del suelo

Estos productos tienen como función principal la mejora de los agregados del suelo para que la estructura del suelo se acerque lo máximo posible al modelo del “complejo edáfico perfecto” (explicado en el punto 3). Como ya se ha detallado en los puntos 3 y 4 del presente trabajo, en la agregación de partículas del suelo intervienen sustancias inorgánicas (recubrimientos de óxido, cal, yeso o silicatos) y sustancias orgánicas (sustancias húmicas). Las sustancias orgánicas que participan en la formación de agregados suelen ser las hifas de los hongos, polisacáridos y sustancias húmicas [6][10][16].

Como se ha comentado, para que el estado de agregación sea bueno es necesario que el complejo edáfico esté saturado con calcio. Por tanto, la adición de cal a los suelos aporta mejoras en la estructura del complejo edáfico del suelo y neutraliza la acidez.

En este punto nos volvemos a cuestionar si estos productos pueden considerarse como abonos en toda su definición. Está claro que la adición de cal aporta un nutriente secundario para las plantas, favorece la disponibilidad de otros nutrientes, satura el complejo edáfico del suelo al saturarlo con calcio (favoreciendo la formación de agregados) y corrige la acidez de los suelos. Por ejemplo, la adición de yeso ( $\text{CaSO}_4$  hidratado) mejora los niveles de calcio, mejorando la estructura del suelo pero no es capaz de modificar el pH. Por esto podría considerarse como fertilizante por la aportación de un nutriente secundario o como enmienda para mejorar la estructura del suelo.

### 6.3. Productos acondicionadores de la estructura del suelo

Generalmente se aplican para proporcionar esponjosidad a suelos pesados o para la estabilización de suelos ligeros. [6][10]. A continuación se muestran algunos productos comerciales que se utilizan para acondicionar o consolidar la estructura del suelo:

**Sulfato de amonio y hierro** ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ .- Presenta una riqueza del 85% y un contenido en materia orgánica del 10% (generalmente es turba). Actúan recubriendo las partículas del suelo con óxido de hierro. Esta sal contiene nitrógeno en forma de amonio que es asimilable por las plantas, una vez degradado a nitratos, por lo que también desempeña una función fertilizante.

**Coloides de silicato**.- Tienen la capacidad de elevar la reserva de agua y nutrientes en el suelo. Suele ser hidrosilicato de sodio y algunas veces fosfatos. Un ejemplo es el *Agrosil LR* que tiene un contenido del 36% en óxido silícico ( $\text{SiO}_2$ ) y un 7% de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

**Acondicionadores o estructurantes orgánicos.-** Intentan imitar la agregación natural de las partículas del suelo mediante moléculas lineales de gran longitud y tienen una degradabilidad baja. En el mercado existen suspensiones u productos en polvo de polímeros orgánicos que actúan como acondicionadores. Se pulverizan en el suelo de forma mecánica esponjando el suelo o se distribuye en seco sobre el suelo. Algunos ejemplos podrían ser el *Krilium* (ácido poliacrílico), *Acronal* (ésteres del ácido poliacrílico), *VAMA* (acetato de polivinilo y anhídrido del ácido maleico).

**Productos para la mejora de la aireación del suelo.-** Tienen una función esponjante en el suelo al abrir poros entre los agregados. En el mercado se pueden encontrar diversos productos como el *polvo de roca* (aumenta el tamaño de los agregados) o el *Styromull* que son copos de espuma de poliestireno llenos de aire. Este producto es químicamente inerte para las reacciones del suelo y es poco degradable.

**Productos para la mejora del poder de retención de agua.-** Se aplican para evitar o remediar la sequedad del suelo. Los más habituales están compuestos por sustancias orgánicas como la urea-formaldehído en forma de copos con poros abiertos que son capaces de retener entre el 40 y el 60% de agua.

**Productos para la activación biológica del suelo.-** Se trata de introducir cultivos bacterianos a los suelos. Se suele utilizar como técnica de biorremediación en casos de contaminación puntual de suelos o aguas subterráneas.

**Sustancias minerales que mejoran la textura del suelo.-** Como ya se ha comentado a lo largo del presente trabajo, la estructura de un suelo puede mejorarse en función de la capacidad de éste de formar agregados. Es recomendable que los agregados sean de tamaño medio. Una granulometría muy fina (ejemplo arenas) indica que son suelos deficientes en partículas gruesas, y el caso contrario, suelos con una granulometría muy gruesa son carentes en partículas finas. Se denominan “suelos ligeros” aquellos suelos arenosos con falta de partículas de arcilla y “suelos pesados” aquellos que no contienen partículas gruesas [6][25].

Una granulometría muy fina o muy gruesa puede originar alteraciones en la estructuración del suelo. Este poder estructurante no se puede sustituir pero sí se puede potenciar mediante enmiendas o estructurantes del suelo. Se recomienda la adición de arcillas a los suelos ligeros y arenas a los suelos pesados para modificar su granulometría.

## 7. Productos fertilizantes clasificados como abonos orgánicos

Diversos autores diferencian los abonos orgánicos generados en las explotaciones agroganaderas de los abonos orgánicos comerciales [6] [9]. En este punto se van a estudiar los productos fertilizantes clasificados como “abonos orgánicos de granja” y “abonos orgánicos comerciales”.

Los abonos orgánicos de granja se conocen como “fertilizantes propios de la explotación” y su importancia radica en el contenido en materia orgánica. Aportan energía degradable y alimento para la fauna bacteriana propia del suelo. Por otra parte, los abonos orgánicos comerciales se valoran fundamentalmente en cuanto al contenido en materia orgánica. Hay que tener en cuenta que el humus estable supone de 1/3 a 1/4 de la materia orgánica. Gran parte permanecerá en el suelo y el resto participa en la formación de los agregados como se ha explicado en el punto 4 de este trabajo.

### 7.1 Abonos orgánicos de granja

Como se observa en la Tabla 4, se han clasificado cuatro grupos de abonos orgánicos de granja: estiércol sólido, estiércol líquido o purín, estiércol semilíquido y abono verde, paja o compost.

Tabla 4: Clasificación de los productos considerados como abonos orgánicos de granja

| Tipo de abono                  | Estado  | Composición   | Funciones   | Efectos principales                          |
|--------------------------------|---------|---|---|--|
| Estiércol                      | Sólido  | Excrementos, orina y paja.  | Aporte de materia orgánica y nutrientes ( $\text{NO}_3^-$ y $\text{NH}_4^+$ ) | Aumento en el contenido en humus y nitrógeno |
| Purín <sup>3</sup>             | Líquido | 50% orina, partículas sólidas de excrementos, lixiviados del estiércol sólido y agua de lluvia. | Materia seca (urea) 1-3% Nitrógeno (ácido hipúrico) y Potasio                 | Aumento del contenido en N y K               |
| Estiércol semilíquido          | Pastoso | 50% orina, partículas sólidas de excrementos, lixiviados del estiércol sólido y agua de lluvia. | Aporte de materia orgánica  | Aumento en el contenido en humus             |
| Paja<br>Compost<br>Abono Verde | Sólido  | Variable  | Aporte de materia orgánica y nutrientes                                       | Aumento en el contenido en humus             |

Fuente: Información contenida en la tabla, Finck, 1998. [6]

El *estiércol* siempre ha sido el fertilizante más importante en la granja y, antiguamente se pensaba que tenía multitud de funciones por lo que se consideraba como el “abono universal” [6][9]. Es una mezcla de excrementos, una pequeña parte de orina y paja, por lo que fundamentalmente contiene materia orgánica. También presenta nitrógeno en forma nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ) y amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) pero su mayor aportación al suelo es de humus. Los *purines* son suspensiones formadas por orina (en una proporción de 50% aproximadamente) fermentada biológicamente y mezclada con partículas de excrementos, líquidos que percolan del estiércol y agua de lluvia. Es considerado como “abono NK” y su efecto es rápido ya que los nutrientes que

<sup>3</sup> El purín es conocido como estiércol líquido.

contiene están en su forma asimilable:  $K^+$  y  $NO_3^-$ . El nitrógeno ureico y el procedente del ácido hipúrico, se degrada a nitratos cuando se encuentra en medio acuoso y, por tanto, tiene una función nutritiva. Por otra parte el *estiércol semilíquido* se diferencia del purín porque contiene mayor cantidad de partículas sólidas de excrementos. Tiene las mismas funciones y efectos que el purín. La paja, compost y abonos verdes son los materiales de origen vegetal producidos en la propia explotación y que se utilizan como abono.

Actualmente se pueden encontrar en el mercado productos preparados similares a los generados en las explotaciones como el estiércol estabilizado, el compost comercial, guano (gallinaza, palomina, excrementos de murciélago, etc.), turba, extractos húmicos, entre otros. El compost es un ejemplo de ello cuando se obtiene en instalaciones de biometanización o compostaje de residuos orgánicos urbanos. La EPA (Environmental Protection Agency) reconoce que el compost ayuda a solucionar los problemas de los residuos sólidos y, clasifica el proceso de compostaje como una forma de reciclaje.

Existen países donde la fertilización de los cultivos se basa en la incorporación de elementos inorgánicos. Este hecho es lo que hace que los suelos sean pobres en materia orgánica; por otra parte, la incorporación de materia orgánica en cultivos está dando resultados positivos. Por ejemplo, en diversos cultivos de Chile se han podido observar respuestas positivas de las plantaciones después de la adición de materia orgánica en forma de compost [4]. Por otro lado, la utilización del lixiviado como abono orgánico líquido está obteniendo resultados muy positivos en estos cultivos. El compostaje es uno de los procesos de acondicionamiento y saneamiento de los residuos orgánicos frescos, ya que prepara el material para su posterior aplicación y manipulación. Las acciones que tienen lugar en estos procesos son [18]:

- Disminución del contenido en humedad.
- Enriquecimiento con nutrientes esenciales.
- Destrucción de los patógenos.
- Adaptación de la granulometría para una correcta dosificación y aplicación al suelo.

Los objetivos que se consiguen con estas acciones son los siguientes:

- a) Nutrientes disponibles para las plantas.
- b) Eliminación de patógenos y malos olores.
- c) Mejora de la estructura del suelo gracias al aporte de sustancias húmicas.

El lixiviado generado en la fase de fermentación contiene nutrientes asimilables para las plantas y materia orgánica, por tanto también puede considerarse como un subproducto (residuo generado en un proceso determinado que es susceptible de ser utilizado como materia prima de otro proceso) y valorizarse como producto fertilizante o producto corrector del suelo, por su puesto, tras un proceso de acondicionamiento.

### 7.2 Abonos orgánicos comerciales

Estos abonos se clasifican en “abonos orgánicos” y “abonos orgánico-minerales” y se encuentran bajo regulación legislativa (RD824/2005 sobre Productos fertilizantes). Se pueden encontrar más de 50 tipos de sustancias que debido a su parecido se agrupan bajo la misma denominación. En la Tabla 5 se recogen algunos abonos orgánicos comerciales bajo la denominación de “orgánicos” y “orgánico-minerales” [6].

Tabla 5: Algunos ejemplos de abonos comerciales

| Denominación       | Tipo                                | Materia orgánica de partida  | Riqueza                             |
|--------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|
| ORGANICOS          | Abonos orgánicos                    | Turba y residuos orgánicos   | 30-50% de materia orgánica          |
|                    | Abonos N orgánicos                  | Harinas de sangre, cuernos y otros                                   | 5-14% N                             |
|                    | Abonos P orgánicos                  | Harina de huesos   | 13% P                               |
|                    | Abonos NP orgánicos                 | Mezclas de harina de huesos y cuernos                                | 4-10% N<br>2-10% P                  |
|                    | Abonos NPK orgánicos                | Guano y residuos animales. Compost                                   | 4-6% N<br>4-5% P<br>2% K            |
| ORGANICO MINERALES | Abonos mezclados orgánico-minerales | Basuras urbanas, lodos de decantación, residuos animales y vegetales | 25-40% Materia orgánica<br>1-3% NPK |
|                    | Mezclas con turba                   | Turba blanca o negra   | >35% Materia orgánica<br>1-3% NPK   |
|                    | Abono N orgánico mineral            | Lignina  | 15-19% N                            |
|                    | Abono NP orgánico mineral           | Residuos animales o vegetales  | 6% N<br>3-4% P                      |
|                    | Abono NPK orgánico mineral          |  | 4-14% NP<br>3-14% K                 |

Fuente: Finck, 1998 [6]

La importancia de la utilización de este tipo de abonos radica en su gran contenido en humus. La materia orgánica contiene “humus nutritivo” y “humus estable” [6][8]. El primero aporta nutrientes y energía a los microorganismos del suelo y el segundo mantiene los agregados del suelo durante más tiempo mejorando la fertilidad del suelo. Como se observa en la Tabla 5, existen abonos orgánicos sencillos (con un solo nutriente) y complejos (con dos o tres nutrientes) aunque todos ellos se caracterizan por su contenido en materia orgánica. Los abonos

enriquecidos con nutrientes además de aportar humus al suelo, contienen nutrientes esenciales para las plantas como se observa en la Tabla 5. La principal diferencia entre los abonos orgánicos y los orgánico-minerales comerciales es su concentración o riqueza. Esto es lógico puesto que se trata de productos preparados a bajo condiciones específicas de uso. Por ejemplo, los abonos N orgánicos se fabrican con riquezas hasta del 14% en N mientras que los abonos N orgánico minerales presentan riquezas hasta del 19%.

Tabla 15: Productos de sustitución sintéticos con funciones específicas

| Característica del abono | Efecto  | Ejemplo producto de sustitución sintética |
|--------------------------|---|---|
| Color oscuro             | Elevación de la temperatura   | Carbón<br>Hollín                          |
| Retención de agua        | Aumento en la capacidad de agua   | Resina de urea-formaldehído porosa        |
| Aumento de la porosidad  | Mejora la aireación   | Espuma de poliestireno inerte             |
| Agregación de partículas | Mejora la estructura del "complejo edáfico" del suelo   | Polímeros con capacidad adherente         |
| Superficie de adsorción  | Mejora el "complejo edáfico" para la retención de nutrientes  | Resinas de cambio iónico                  |
| Formación de complejos   | a) Movilización de metales pesados<br>b) Inmovilización de nutrientes para la saturación de la fase líquida | EDTA y resinas con capacidad quelante     |
| Poder reductor           | Movilización de Fe y Mn   | Ácido ascórbico<br>Hidroquinona           |
| Reserva de nutrientes    | Suministro lento  | Abonos de efecto retardado                |

Fuente: Finck, 1998 [6]

Como se observa en la Tabla 15, las propiedades características de los abonos orgánicos pueden sustituirse por productos sintéticos de fácil obtención aunque hay que comentar que la sustitución total del abono por uno o varios de estos productos no asegura que las reacciones del suelo, y los balances de materia esenciales para el crecimiento vegetal, se desarrollen bajo las condiciones esperadas. La sustitución de los abonos por productos sintéticos puede causar carencias en otros elementos, es por esto que hay que tener en cuenta todos los factores que interactúan en el proceso de cultivo.

## **8. Conclusiones**

Los suelos agrícolas se deterioran y pierden fertilidad como consecuencia de la explotación de cultivos por lo que es necesario corregir sus carencias mediante la aplicación de productos fertilizantes.

Los componentes de los productos fertilizantes son nutrientes y, en algunos casos, compuestos orgánicos.

El calcio se comporta como nutriente o como elemento favorecedor de la estructura edáfica del suelo. Es considerado como nutriente secundario y favorece la retención de nutrientes debido a que, si el suelo está saturado en calcio, mejora el intercambio iónico.

Los errores cometidos en las operaciones de fertilización reducen en gran medida la producción y los beneficios y perjudican al medio ambiente. Un déficit en la aportación de nutrientes inhiben el crecimiento vegetal y, un exceso puede descontrolar el crecimiento y ocasionar contaminación de aguas subterráneas por lixiviación de nutrientes.

Los productos fertilizantes deberían utilizarse solamente para corregir los factores limitantes de los cultivos por lo que, estos productos deben cubrir todas las necesidades para el buen desarrollo del potencial productivo y para amortiguar cualquier efecto negativo.

Cuando se habla de abonar un suelo se hace desde el punto de vista de la aportación de nutrientes para las plantas y del de mejora de su estructura como sistema edáfico capaz de retener nutrientes.

Para conseguir los objetivos de la fertilización es necesario realizar un diagnóstico correcto de las necesidades de las plantas y/o del tipo de suelo.

Desde el punto de vista económico, los campos de cultivo se abonan para alcanzar grandes producciones y de gran calidad en poco tiempo, para que el producto alcance el máximo valor en el mercado.

Desde el punto de vista de la sostenibilidad, se utilizan productos fertilizantes para conservar la fertilidad de los suelos agrícolas y aumentar las superficies de cultivo entre las cosechas.

Existen en el mercado multitud de productos fertilizantes tanto inorgánicos, como orgánicos y combinaciones de estos pero, en las explotaciones agroganaderas se siguen utilizando como complemento los deshechos orgánicos generados en ellas, por ejemplo el estiércol, el compost y los restos de los cultivos.



El proceso de compostaje es una forma de recuperación de sustancias aprovechables contenidos en los residuos orgánicos de origen urbano o industrial como por ejemplo la materia orgánica (humus) o los nutrientes (nitrógeno, fósforo, calcio, potasio, etc.).

Durante el proceso de compostaje se producen pérdidas de nutrientes y compuestos húmicos solubles por lixiviación. El subproducto (lixiviado) obtenido contiene, por tanto, en estas sustancias. Ello será objeto de estudios posteriores al presente trabajo.

## 9. Referencias bibliográficas

- [1] BOIXADERA, JAIME Y TEIRA, M.ROSA. (2001) Libro: “Aplicación agrícola de residuos orgánicos”. Laboratorio de Ingeniería Ambiental, Departamento de Medio Ambiente y ciencias del Suelo. ISBN: 84-48-09-0.
- [2] CARPINTERO, ÓSCAR (2006). Artículo: “Biocombustibles y uso energético de la biomasa: un análisis crítico”. Instituto Juan de Herrera. ISSN: 1578-0971. Disponible para su consulta en <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n37/aocar.html>
- [3] *Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos en España-Ejercicio 2009*. Disponible para su consulta en: <http://www.mapa.es/estadistica/pags/encuestacutivos>
- [4] Corporación de Investigación Tecnológica de Chile: “Manual de Compostaje”, sep. 1999.
- [5] HOWARD, A (1930). Capítulo disponible para su consulta en: <http://journeytoforever.org/farlibrary/howard.html>. Agosto 2006
- [6] FINCK, A. (1988), *Libro electrónico: “Fertilizantes y fertilización”* Cap 1, 2, 3 y 4. Ed. Reverté. ISBN: 84-291-1010-0. Disponible para su consulta en <http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=IIL8KcUQAQ0C&oi=fnd&pg=PR13&dq=FERTILIZACION+&ots=VUILKpBc32&sig=ZDGgkzqi5AEHMA8X6XwsC3QVx1U#v=onepage&q=FERTILIZACION&f=false>
- [7] HANS RAMÍREZ MUÑOZ, ALEJANDRO:”Control de calidad en el proceso de compostaje”. Presentación que puede consultarse en <http://www.lamolina.edu.pe/eventos/cemtrar/compost/.../5.pdf>
- [8] IFDC (International Fertilizer development Center), UNIDO (United Nations Industrial development Organization). “Fertilizer. 3ª Ed. Kliber Academic Publisher, Netherland. ISBN: 0-7923-5032-4 (HB); ISBN: 0-7923-5011-1 (PB).
- [9] IGUE, K (1984): “Dinámica de la materia orgánica y sus efectos en las propiedades del suelo”. Fundación Cargill, Campimas, SP, Brasil
- [10] Infoagro S.L. Página web\_ <http://www.infoagro.es>
- [11] KIELHT, F. J. (1985) “Fertilizantes Orgánicos” Editorial Agronómica. Ceres Ltda. Sao Paulo. Brasil.
- [12] KIELY G. (2003): “Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión”. Ed. MacGraw-Hill.
- [13] LABRADOR MORENO J.,(1996): “La materia orgánica en los agrosistemas”. Ed. Mundi Prensa, S.A. Madrid.

- [14] MARTÍN MORENO, CARMEN; GONZÁLEZ BECERRA, ALDO; BLANCO SANTOS M<sup>a</sup> J. (2004): “Tratamientos biológicos de suelos contaminados. Aplicaciones de Hongos en tratamientos de biorrecuperación” Rev Iberoam Micol. CIEMAT y CIB-CSIC, Madrid.
- [15] MATA CABRERA, FRANCISCO (2003). Artículo: “Energía y Medio Ambiente. Propuestas para un desarrollo sostenible. Revista electrónica Técnica Industrial. Diciembre 2003. Disponible para su consulta en <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-1772-Energia-medio-ambiente--Propuestas-desarrollo-sostenible.aspx>.
- [16] MORENO CASCO, JOAQUÍN. “COMPOSTAJE” (2008). Ed. Científicas. Cap. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 18 y 20 ISBN: 978-84-8476-346-2008
- [17] MURAOKA, T.; AMBROSIO, E.J.; ZAPATA, F.; BARTOLETTO, N.; TRIVELÍN, P.C.O.; SCIVITTARO, W.B. ARTÍCULO (2002): “Eficiencia de abonos verdes y urea aplicados solos o conjuntamente como fuentes de nitrógeno para el cultivo de arroz”. Terra Latinoamericana, enero-marzo, Vol 20, N°001 Universidad Autónoma de Chapingo, Méjico. ISSN: 0187-5779
- [18] NAVARRO PEDREÑO, MORAL HERRERO, GÓMEZ LUCAS, MATAIX BENEYTO (1995): “Residuos Orgánicos y agricultura”, Universidad de Alicante.
- [19] PASTEUR. L (1864). “Conferencia de Louis Pasteur acerca de las generaciones espontáneas. Ciencia Hoy, Vol. 10 Pág. 59
- [20] Proyecto de norma “Calidad y requisitos del compost” disponible para su consulta en [http://www.conama.cl/568/articles-28706\\_recurso\\_2.pdf](http://www.conama.cl/568/articles-28706_recurso_2.pdf)
- [21] RD824/2005, de 8 de julio, sobre Productos Fertilizantes. BOE n° 171
- [22] SOLIVA, M., (1993). “Control de la Qualitat del Compost” En el libro: La gestió municipal dels residus sòlids urbans. Editado por la Diputació de Barcelona ISBN 84-7794-233-1
- [23] STORCH DE GRACIA Y ASENSIO, J.M. (1997): “Notas para clase de Química Industrial” Madrid 1997 y siguientes.
- [24] TCHOBANOGLIOUS G., THEISEN H., VIGIL SAMUEL A. (1994): “Gestión Integral de Residuos Sólidos”. Ed. Mc Graw Hill ISBN 84-481-1830-8. Cap. 3, 4, 6, 14
- [25] VIÁN, A (1999): “Introducción a la Química Industrial”. Cap 10, 2<sup>a</sup> Ed., Reverté, Barcelona.