GUÍA PRÁCTICA DE LA FERTILIZACIÓN RACIONAL DE LOS CULTIVOS EN ESPAÑA

AUTORES

PARTE I

Pilar García-Serrano Jiménez
Juan José Lucena Marotta
Sebastián Ruano Criado
Mariano Nogales García

PARTE II

Luis López Bellido
Jesús Betrán Aso
Álvaro Ramos Monreal
Horacio López Córcoles
Prudencio López Fuster
José Luis Bermejo Corrales
Pedro Urbano Terrón
Juan Piñeiro Andino
Juan Castro Insua
Ricardo Blázquez Rodríguez
Carlos Ramos Mompó
Fernando Pomares García
Ana Quiñones Oliver
Belén Martínez Alcántara
Eduardo Primo Millo
Francisco Legaz Paredes
José Luis Espada Carbó
Enrique García-Escudero Domínguez
Casimiro García García
Jésica Pérez Rodríguez

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

Esta publicación es resultado de un estudio, incluido en el programa de estudios del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, del año 2009. El citado trabajo fue asignado a la Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes (ANFFE), que contó con la colaboración de la Asociación Comercial Española de Fertilizantes (ACEFER), bajo la dirección de personal técnico de la Subdirección General de Medios de Producción, del MARM. En la redacción de esta guía han participado expertos en la fertilización de diferentes cultivos, procedentes de la Universidad o de Centros de Investigación.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

Secretaria General Técnica: Alicia Camacho García. **Subdirección General de Información al Ciudadano, Documentación y Publicaciones:** José Abellán Gómez. **Director del Centro de Publicaciones:** Juan Carlos Palacios López. **Jefa del Servicio de Producción y Edición:** M.ª Dolores López Hernández. **Coordinación de la Guía:** Pilar García Serrano-Jiménez y Yago Delgado de Robles (ANFFE), Sebastián Ruano Criado (ACEFER), Jaume Lloveras Vilamanya (Universidad de Lleida), Pedro Urbano Terrón (UPM), y Mariano Pérez Minguijón, Javier Ortiz de Frutos y Bibiana Mª Rodríguez Sendón (MARM).

Edita
© Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino
Secretaría General Técnica
Centro de Publicaciones

Distribución y venta:
Pº de la Infanta Isabel, 1
Teléfono: 91 347 55 41
Fax: 91 347 57 22

Plaza San Juan de la Cruz, s/n
Teléfono: 91 597 61 87
Fax: 91 597 61 86

Fotografías: cedidas por cortesía de los autores y coordinadores de la Guía y por las empresas Fertesa Patrimonio, S.L.; Fertiberia, S.A.; Herogra Fertilizantes, S.A. y Semillas Batlle, S.A.
Maquetación: B&H Editores-Miguel Igartua Pascual
Impresión y encuadernación: V.A. Impresores, S.A.

NIPO: 770-10-150-4
ISBN: 978-84-491-0997-3
Depósito Legal: M-27226-2010

Tienda virtual: www.marm.es
centropublicaciones@marm.es

Catálogo General de Publicaciones Oficiales:
http://www.060.es
(servicios en línea/oficina virtual/Publicaciones)

Datos técnicos: Formato: 17 x 24 cm. Caja de texto: 13,4 x 19,4 cm. Composición: una columna. Tipografía: Frutiger Light a cuerpos 9,5 y 11,5. Papel: Interior en estucado con certificación FSC (Material de Crédito) de 115 g. Cubierta en Symbol Card de 300 g. con certificación FSC (Material de Crédito). Tintas: 4/4. Encuadernación: Rústica, cosido con hilo vegetal.

El certificado FSC (Forest Stewardship Council) asegura que la fibra virgen utilizada en la fabricación de este papel procede de masas certificadas con las máximas garantías de una gestión forestal social y ambientalmente responsable y de otras fuentes controladas. Consumiendo papel FSC promovemos la conservación de los bosques del planeta y su uso responsable.

MIXTO
Papel procedente de fuentes responsables
FSC® C023840
FSC www.fsc.org

PRESENTACIÓN

Uno de los objetivos del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino es la racionalización en el uso de los medios de producción, con el fin último de conseguir una agricultura económicamente rentable, cuidadosa con el medio ambiente y, en resumen, sostenible.

La fertilización es una práctica insustituible en la actividad agraria, consistente en reponer al suelo aquellos nutrientes que se van agotando por la propia extracción de los cultivos. Los fertilizantes representan uno de los principales insumos de la producción agraria, por lo que el uso eficiente constituye una importante fuente de ahorro y de reducción de los impactos medioambientales. Así, una fertilización excesiva, no ajustada a las necesidades reales del cultivo, ya sea por cantidad, tipo de abono o época de aplicación, puede provocar problemas por lixiviación de nitratos, eutrofización de aguas y emisiones de gases de efecto invernadero, además de un gasto innecesario que no repercute en un incremento equivalente de la producción. Del mismo modo, una fertilización insuficiente acarrea no sólo una reducción en el rendimiento del cultivo sino también una pérdida de la fertilidad del suelo.

Entre las medidas urgentes de la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia, aprobadas en Consejo de Ministros el 20 de julio de 2007, se encontraba el Plan de reducción del uso de fertilizantes nitrogenados, cuyo objetivo último es la racionalización de la fertilización en España. Uno de los ejes sobre los que se articula este Plan es la divulgación al agricultor de los principios de una buena fertilización. El primer paso para alcanzar este objetivo es la publicación de esta Guía que recoge, de forma clara y sencilla, tanto conceptos básicos y generales sobre nutrición vegetal como aspectos concretos de la fertilización de los cultivos más representativos del agro español.

La información que presenta la Guía, gracias a la colaboración de expertos, procedentes de la Universidad o de reputados Centros de Investigación de todas las regiones de España, resulta ser casi de obligada consulta para que los agricultores y técnicos puedan elegir y valorar los abonos disponibles y más adecuados a sus necesidades concretas.

Con la publicación de esta Guía, se sientan las bases para conseguir una fertilización racional en España, quedando la importante tarea de hacer llegar esta valiosa información al agricultor.

Finalmente, quiero agradecer a todos sus autores, el excelente trabajo de recopilación y síntesis para conseguir una Guía práctica y fácil de manejar, que contempla los principales cultivos españoles, teniendo en cuenta la variabilidad que caracteriza a nuestra agricultura.

Elena Espinosa Mangana
Ministra de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino

ÍNDICE

Parte I

El suelo, los nutrientes, los fertilizantes y la fertilización

1.-INTRODUCCIÓN

LOS FERTILIZANTES Y LAS COSECHAS 14
NECESIDAD DE LOS FERTILIZANTES 15
FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y MINERAL 16
FERTILIZANTES: UN MEDIO FUNDAMENTAL DE PRODUCCIÓN 17
LOS FERTILIZANTES MEJORAN EL BALANCE ENERGÉTICO DE LA AGRICULTURA Y LA CAPTACIÓN DE CO_2 17

2.- LA NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS

CÓMO SE ALIMENTAN LAS PLANTAS 19
NUTRIENTES ESENCIALES 20
PAPEL DE LOS ELEMENTOS NUTRITIVOS 20
Macronutrientes
Micronutrientes
PRINCIPIOS GENERALES DE LA FERTILIZACIÓN 22
Ley de la restitución
Ley del mínimo
Ley de los rendimientos decrecientes

3. - EL SUELO: MEDIO FÍSICO

FORMACIÓN DEL SUELO 25
COMPOSICIÓN DEL SUELO 25
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO 26
AGUA DEL SUELO 27
pH DEL SUELO 28
Corrección de suelos ácidos
Corrección de suelos alcalinos
SUELOS SALINOS 30
EROSIÓN DEL SUELO 31

4.- EL SUELO: MEDIO BIOLÓGICO

LA VIDA EN EL SUELO 33
MATERIA ORGÁNICA (MO) DEL SUELO 34
PAPEL DE LA MATERIA ORGÁNICA 34
BALANCE DEL HUMUS 34
Ganancias
Pérdidas
CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA DE LOS SUELOS ESPAÑOLES 36

5.- EL SUELO: MEDIO QUÍMICO

COMPLEJO ARCILLO-HÚMICO 37
SOLUCIÓN DEL SUELO 37
INTERCAMBIO CATIÓNICO 38
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO (CIC) 38
ABSORCIÓN DE LOS ELEMENTOS NUTRITIVOS POR LAS PLANTAS 39

6.- ABONOS Y MATERIAS ORGÁNICAS

CONSIDERACIONES GENERALES 41
ABONOS ORGÁNICOS, ÓRGANO-MINERALES Y ENMIENDAS ORGÁNICAS 42
Abonos orgánicos
Abonos órgano-minerales
Enmiendas orgánicas
FUENTES DE HUMUS EN LAS EXPLOTACIONES 46
Subproductos ganaderos
Residuos vegetales
Residuos urbanos

7.- FERTILIZANTES MINERALES

FABRICACIÓN DE FERTILIZANTES MINERALES 51
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS 52
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS 53
TIPOS DE FERTILIZANTES 53
Abonos nitrogenados simples
Abonos fosfatados simples
Abonos potásicos simples
Abonos compuestos (complejos y de mezcla)
Abonos complejos líquidos
Abonos de liberación lenta, de liberación controlada o fertilizantes estabilizados
ABONOS PARA APLICACIÓN FOLIAR 62

8.- LA FERTILIZACIÓN EN LA GESTIÓN INTEGRADA DE LAS EXPLOTACIONES

FACTORES LOCALES 63
MANEJO DE LA MATERIA ORGÁNICA 64
ROTACIÓN DE CULTIVOS 65
EVALUACIÓN DE LAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS 66

9.- FERTILIZACIÓN NITROGENADA

FORMAS DEL NITRÓGENO EN EL SUELO 67
TRANSFORMACIONES DEL NITRÓGENO EN EL SUELO 68
NECESIDADES DE NITRÓGENO DE LOS CULTIVOS 68
NITRÓGENO MINERAL DISPONIBLE Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA 70
NITRÓGENO Y MEDIO AMBIENTE 72

10.- FERTILIZACIÓN FOSFATADA

FORMAS DEL FÓSFORO EN EL SUELO 75
TRANSFORMACIONES DEL FÓSFORO EN EL SUELO 75
NECESIDADES DE FÓSFORO DE LOS CULTIVOS 75
FÓSFORO ASIMILABLE Y FERTILIZACIÓN FOSFATADA 77
FÓSFORO Y MEDIO AMBIENTE 78
CONTENIDO EN FÓSFORO DE LOS SUELOS ESPAÑOLES 79

11.- FERTILIZACIÓN POTÁSICA

FORMAS DEL POTASIO EN EL SUELO 81
TRANSFORMACIONES DEL POTASIO ENEL SUELO 82
NECESIDADES DE POTASIO DE LOS CULTIVOS 82
FERTILIZACIÓN POTÁSICA 83
CONTENIDO EN POTASIO DE LOS SUELOS ESPAÑOLES 84

12.- FERTILIZACIÓN CON ELEMENTOS SECUNDARIOS Y MICRONUTRIENTES

CALCIO: SITUACIÓN EN EL SUELO
ENTRADAS/SALIDAS
RECOMENDACIONES PRÁCTICAS 85
MAGNESIO: SITUACIÓN EN EL SUELO
ENTRADAS/SALIDAS
RECOMENDACIONES PRÁCTICAS 87
AZUFRE: SITUACIÓN EN EL SUELO
ENTRADAS/SALIDAS
RECOMENDACIONES PRÁCTICAS 88
MICRONUTRIENTES: SITUACIÓN EN EL SUELO
CARENCIA REAL/INDUCIDA
RECOMENDACIONES PRÁCTICAS 89
Hierro
Manganeso, zinc y cobre
Boro
Molibdeno

13.- EQUIPOS PARA LA DISTRIBUCIÓN DE FERTILIZANTES

EQUIPOS PARA LA DISTRIBUCIÓN DE ABONOS MINERALES SÓLIDOS 93
Tipos de abonadoras
Ensayos de la uniformidad en la distribución
Conceptos básicos sobre las abonadoras de proyección
Manual de regulación de la abonadora
Regulación de la abonadora
Otras características de una buena abonadora
Manejo en campo
EQUIPOS PARA LA DISTRIBUCIÓN DE ABONOS MINERALES LÍQUIDOS 98
EQUIPOS PARA LA DISTRIBUCIÓN DE ABONOS GASEOSOS: AMONIACO ANHIDRO 100
EQUIPOS PARA LA DISTRIBUCIÓN ABONOS ORGÁNICOS 101
Remolques para distribuir estiércol y lodos
Cisternas de purín

14.- LA FERTIRRIGACIÓN

RIEGO LOCALIZADO 103
VENTAJAS QUE APORTA LA FERTIRRIGACIÓN 104
PROCESO DE LA FERTIRRIGACIÓN 104
DINÁMICA DE LOS NUTRIENTES 104
FERTILIZANTES UTILIZADOS EN FERTIRRIGACIÓN 105
SOLUCIONES MADRE 107
SOLUCIONES NUTRITIVAS 107
DISPOSITIVOS PARA LA FERTIRRIGACIÓN 108
FUTURO DE LA FERTIRRIGACIÓN 108

15.- LA FERTILIZACIÓN Y LOS SISTEMAS DE CULTIVO

ZONAS VULNERABLES A LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS POR NITRATOS 109
PRODUCCIÓN INTEGRADA (PI) 110
AGRICULTURA ECOLÓGICA (AE) 111
AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN (AC) 112
AGRICULTURA DE PRECISIÓN (AP) 114

Parte II

Abonado de los principales cultivos en España

16.- ABONADO DE LOS CEREALES DE INVIERNO: TRIGO Y CEBADA

CONSIDERACIONES GENERALES 123
Importancia del cultivo en España
Ecología
Nutrición
FERTILIZACIÓN 125
Fertilización nitrogenada
Fertilización fosfopotásica
Aplicación de otros nutrientes
RECOMENDACIONES DE ABONADO 132

17.- ABONADO DE LOS CEREALES DE PRIMAVERA: MAÍZ

CONSIDERACIONES GENERALES 135
Exigencias de suelo y clima
REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES 137
Ritmo y forma de extracción de los nutrientes
Fuentes de nutrientes
RECOMENDACIONES DE ABONADO 140
Dosis y fraccionamiento
Programa de fertilización

18.- ABONADO DE LAS LEGUMINOSAS DE GRANO

CONSIDERACIONES GENERALES 143
Características de los cultivos
Descripción botánica y fisiológica
Exigencias climáticas y edáficas
Importancia en España
NECESIDADES NUTRICIONALES 146
Papel de los nutrientes
Extracciones del cultivo
RECOMENDACIONES DE ABONADO 147

19.- ABONADO DE LA PATATA

CONSIDERACIONES GENERALES 150
Breve descripción botánica de la planta
Exigencias climáticas y edáficas
Importancia en España
Ciclo de cultivo
NECESIDADES NUTRICIONALES 152
Papel de los nutrientes y micronutrientes
Necesidades y absorción de nutrientes a lo largo del ciclo del cultivo
Fisiopatías
RECOMENDACIONES DE ABONADO 153
Cálculo de la dosis
Épocas y momentos de aplicación
Forma en que se aportan los elementos nutritivos (mineral/orgánica)
Programas de fertilización

20.- ABONADO DE CULTIVOS INDUSTRIALES: REMOLACHA AZUCARERA Y ALGODÓN

ABONADO DE LA REMOLACHA AZUCARERA

CONSIDERACIONES GENERALES 155
Descripción botánica y fisiológica
Exigencias climáticas y edáficas
Importancia en España
NECESIDADES NUTRICIONALES 156
Extracciones del cultivo
Deficiencias nutritivas
RECOMENDACIONES DE ABONADO 157
Macronutrientes
Micronutrientes
Fertilización orgánica y enmiendas

ABONADO DEL ALGODÓN

CONSIDERACIONES GENERALES 160
Descripción botánica y fisiológica
Exigencias climáticas y edáficas
Importancia en España
NECESIDADES NUTRICIONALES 161
Función de los nutrientes en la planta
Extracciones del cultivo
Deficiencias nutritivas
RECOMENDACIONES DE ABONADO 162
Nitrógeno
Fósforo y potasio
Correciones de carencias

21.- ABONADO DE LAS OLEAGINOSAS HERBÁCEAS: GIRASOL, SOJA Y COLZA

ABONADO DEL GIRASOL

CONSIDERACIONES GENERALES 165
Breve descripción botánica y fisiológica de la planta

Exigencias climáticas y edáficas
Importancia en España
NECESIDADES NUTRICIONALES 167
Papel de los nutrientes y micronutrientes
Necesidades y absorción de nutrientes a lo largo del ciclo del cultivo
Deficiencias nutritivas
RECOMENDACIONES DE ABONADO 168
Cálculo de la dosis
Épocas y momentos de aplicación
Formas en que se aportan los elementos nutritivos (mineral/orgánica)
Programas de fertilización

ABONADO DE LA COLZA
PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN 170

ABONADO DE LA SOJA
PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN 171

22.- ABONADO DE LOS CULTIVOS FORRAJEROS
CONSIDERACIONES GENERALES 173
CRITERIOS PARA EL MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN 173
Caso de explotaciones ganaderas
Caso de explotaciones agrícolas
Caso de puesta en cultivo de tierras de matorral
ELEMENTOS FERTILIZANTES 175
Nitrógeno
Fósforo y potasio
CORRECIÓN DE LA ACIDEZ DEL SUELO 176
RECOMENDACIONES DE ABONADO NITROGENADO 177
Alfalfa
Praderas
Maíz y sorgo forrajeros
Cereales de invierno y raigrás italiano
Mezclas de cereal de invierno con veza o guisantes forrajeros
RECOMENDACIONES DE ABONADO FOSFATADO Y POTÁSICO 179

23.- ABONADO DE LOS CULTIVOS HORTÍCOLAS
CONSIDERACIONES GENERALES 181
NECESIDADES NUTRICIONALES 181
Papel de los nutrientes en la producción y calidad de los cultivos hortícolas
Necesidades de nutrientes
Deficiencias nutritivas
RECOMENDACIONES DE ABONADO 185
Cálculo de la dosis
Dosis de nutrientes recomendadas
Épocas y momentos de aplicación
Formas en que se aportan los nutrientes
Enmiendas orgánicas
CONSEJOS PRÁCTICOS DE ABONADO 191

24.- ABONADO DE LOS CÍTRICOS
CONSIDERACIONES GENERALES 193
Descripción botánica y fisiológica
Exigencias climáticas y edáficas
Importancia en España. Superficie y localización
NECESIDADES NUTRICIONALES 194
Papel de los nutrientes
Deficiencias nutritivas
Consumo de nutrientes a lo largo del ciclo del cultivo
RECOMENDACIONES DE ABONADO 197
Eficiencia en el uso de los fertilizantes
Cálculo de la dosis
Optimización de la dosis anual estándar
Distribución estacional de la dosis estándar y la optimizada (épocas y momentos de aplicación)
Formas en que se aportan los elementos nutritivos
CONSEJOS PRÁCTICOS DE ABONADO 203

25.- ABONADO DE LOS FRUTALES CADUCIFOLIOS
CONSIDERACIONES GENERALES 205
Importancia del cultivo de frutales en España
Exigencias de clima y suelo
ITINERARIO DE LA FERTILIZACIÓN 207
NECESIDADES DE FERTILIZANTES 207
Fósforo y Potasio
Nitrógeno
Necesidades totales de fertilizantes por especies
ÉPOCAS PARA APLICAR LOS FERTILIZANTES 210
PRÁCTICA DE LA FERTILIZACIÓN 210
VIGILANCIA DEL ESTADO NUTRICIONAL DE LOS ÁRBOLES 211
Análisis del suelo
Análisis de material vegetal (hojas)
Resumen final

26.- ABONADO DEL VIÑEDO

CONSIDERACIONES GENERALES 213
Clasificación botánica
Exigencias edáficas y climáticas
Importancia del cultivo de la vid en España
NECESIDADES NUTRICIONALES 214
Papel de los elementos nutritivos
Exportaciones y ritmo de absorción
Desequilibrios nutricionales
RECOMENDACIONES DE ABONADO 217
Abonado de plantación
Abonado de mantenimiento

27.-ABONADO DEL OLIVAR

CONSIDERACIONES GENERALES 223
Características del olivo
Exigencias climáticas y edáficas
Importancia del cultivo en España
NECESIDADES NUTRICIONALES 226
Papel de los nutrientes en el olivar
Deficiencias nutritivas
RECOMENDACIONES DE ABONADO 230
Olivar de secano. Aplicación al suelo
Olivar de riego. Fertirrigación en riego por goteo
Aportación de abonos vía foliar
Producción Integrada (PI)

28.- ABONADO DE LOS FRUTALES TROPICALES Y SUBTROPICALES EN LAS ISLAS CANARIAS

CONSIDERACIONES GENERALES 235
PLATANERA 236
Taxonomía y descripción botánica
Exigencias climáticas y edáficas
Necesidades de riego
Necesidades nutricionales
Fertilización
AGUACATE 239
Descripción botánica y exigencias edafoclimáticas
Necesidades de riego y fertilización
MANGO 241
Descripción botánica y exigencias edafoclimáticas
Necesidades de riego y fertilización
PAPAYA 242
Descripción botánica y exigencias edafoclimáticas
Necesidades de riego y fertilización
PIÑA TROPICAL 243
Descripción botánica y exigencias edafoclimáticas
Necesidades de riego y fertilización

Apéndice

Legislación

29.- LEGISLACIÓN SOBRE FERTILIZANTES

REGLAMENTO (CE) nº 2003/2003, RELATIVO A LOS ABONOS 251
Estructura y adaptaciones al progreso técnico
REAL DECRETO 824/2005, SOBRE PRODUCTOS FERTILIZANTES 254
Estructura, desarrollo y modificaciones
ASPECTOS DESTACADOS DEL REGLAMENTO (CE) nº 2003/2003 Y DEL REAL DECRETO 824/2005 255

30.- LEGISLACIÓN SOBRE FERTILIZACIÓN

REAL DECRETO 261/1996, SOBRE LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS CONTRA LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR LOS NITRATOS PROCEDENTES DE FUENTES AGRARIAS 257
REAL DECRETO 1310/1990, QUE REGULA LA UTILIZACIÓN DE LOS LODOS DE DEPURACIÓN EN EL SECTOR AGRARIO 259

GUÍA PRÁCTICA DE LA FERTILIZACIÓN RACIONAL DE LOS CULTIVOS EN ESPAÑA

Parte I

El suelo, los nutrientes, los fertilizantes y la fertilización

Autores:

Pilar García-Serrano Jiménez

Química Agrícola

Sebastián Ruano Criado

Ingeniero Técnico Agrícola

Con la colaboración de:

Juan José Lucena Marotta

Catedrático de Química Agrícola - UAM - *Capítulo 12*

Mariano Nogales García

Profesor Titular de Mecanización Agraria - UV - *Capítulo 13*

1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de los siglos, se han llevado a cabo numerosos descubrimientos que han permitido avanzar en el conocimiento de la nutrición vegetal.

El agricultor inicialmente se cambiaba de lugar a medida que iba agotando la tierra y, ya en la época de los romanos, comenzó a utilizar el estiércol para dar "calor" al suelo, como cuenta Plinio el Viejo en alguna de sus obras.

En el siglo VIII se estableció un régimen de rotaciones de cultivos, en el que se dejaba descansar la tierra e introducía una leguminosa. También, se fueron mejorando las labores, lo que permitió mantener el escaso rendimiento de los cereales.

En 1577 Van Helmont intentó averiguar de donde procedía el peso de las plantas. Para ello, plantó una rama de sauce en un recipiente de tierra, que pesó tras secar en una estufa.

Después de 5 años, en los que la tierra no había recibido más que el agua de lluvia, el sauce había crecido y pesaba 167 libras. Al final del ensayo volvió a secar la tierra, la pesó y comprobó que sólo había perdido 2 libras, llegando a la errónea conclusión de que al menos 165 libras procedían "exclusivamente" del agua.

Ensayos de laboratorio

Más adelante, Woodward, en 1699, a través de otros ensayos, concluyó que era la tierra y no el agua la base del crecimiento de las plantas, y unos años más tarde, se consideró que era la materia orgánica el principal nutriente de los cultivos.

Justus Von Liebig, en 1840, desechó la teoría de que la materia orgánica era la base de la alimentación de las plantas y tras analizar los elementos que éstas contenían, formuló algunas recomendaciones para la nutrición de los cultivos. Entre ellas, Liebig formuló la "ley del mínimo" e incluso llegó a fabricar el primer fertilizante inorgánico, que fue un completo fracaso.

Poco antes, en 1804 en el desierto de Atacama (Chile), se descubrió que una sal contenía nitrógeno, iniciándose la explotación de los

Reforming (planta de amoniaco)

yacimientos del "nitrato de Chile". En 1890, se exportaron un millón de toneladas de este primer fertilizante mineral, que se complementaron con las exportaciones de "guano", otro producto nitrogenado natural, procedente de las deyecciones de los pájaros.

La síntesis del amoniaco, patentada en 1908 por Fritz Haber en Alemania y el desarrollo a escala comercial de este descubrimiento, realizado por Carl Bosch, que diseñó la primera planta industrial, puede considerarse como uno de los más relevantes hitos en la historia de la fertilización. A partir de entonces, se produjo un empleo generalizado del nitrógeno en la agricultura.

En 1842, J. B. Lawes, en el Reino Unido, patentó la fabricación del superfosfato procedente de huesos y de yacimientos de fosfatos naturales. En cuanto al potasio, el aprovechamiento comercial de las minas, de donde se extrae, se inició en 1860, en Stassfurt (Alemania).

Se puede resumir que, aunque se llevan siglos investigando cómo se nutren las plantas, sólo se lleva unos 150 años aplicando fertilizantes químicos a los cultivos.

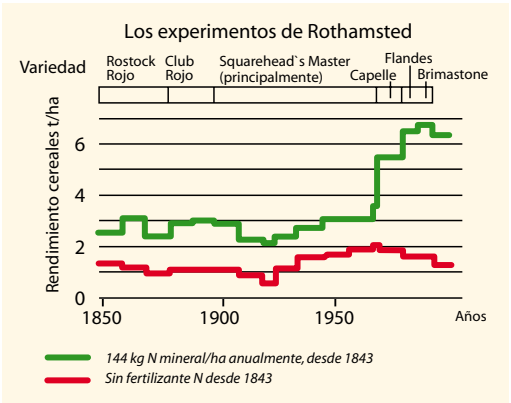
Los fertilizantes tienen un papel fundamental en la producción de alimentos, piensos, fibras y energía. Decir que "*los fertilizantes alimentan al mundo*", como ha dicho IFA (International Fertilizer Association), parece una exageración, pero no lo es tanto, ya que el suelo, por si mismo, no es capaz de abastecer las necesidades nutritivas de los cultivos y sólo es posible hacerlo en su totalidad gracias a los abonos.

Los fertilizantes permiten restituir a los suelos los elementos nutritivos que las plantas extraen, o que los suelos pierden por lavado, retrogradación y erosión, poniendo a disposición de los cultivos los nutrientes que precisan en cada momento. Dicho de otro modo, el agricultor con los fertilizantes mantiene llena la despensa de nutrientes, que en parte, es el suelo.

LOS FERTILIZANTES Y LAS COSECHAS

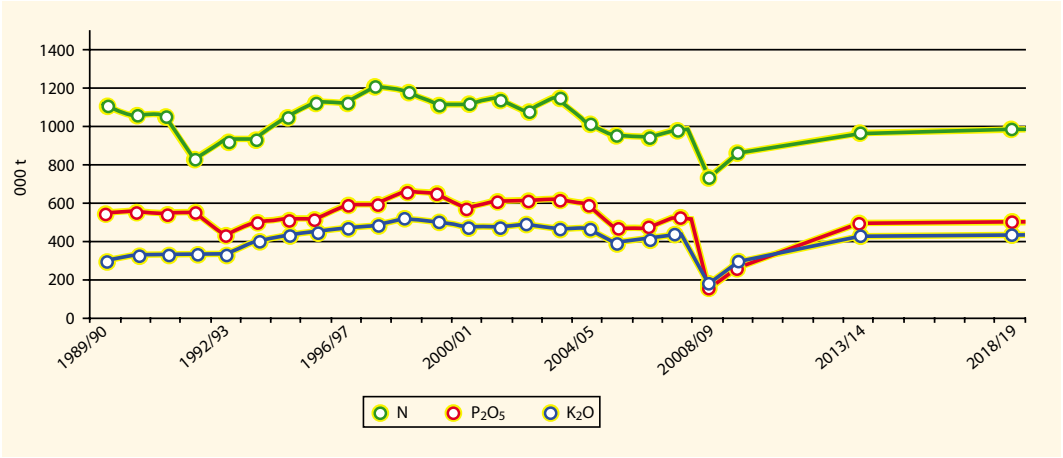
Cuando no se aplican nutrientes, bien de origen orgánico o mineral, la fertilidad del sue-

Figura 1.1. Rendimientos de cereales con y sin fertilizantes



Fuente: Jenkinson (1982, 1988/89)

Figura 1.2. Evolución y previsión del consumo anual de N, P_2O_5 y K_2O en España. Periodo 1989/90-2018/19



Fuente: ANFFE (2009)

Tabla 1.1. Consumo de N, P_2O_5 y K_2O por cultivos en España. Año 2006/2007

CULTIVOS	Superficie (000 ha)	N (kg/ha)	P_2O_5 (kg/ha)	K_2O (kg/ha)
Cereales	6.256	80	40	27
Leguminosas	313	20	10	5
Patata	91	130	70	95
Girasol	601	10	5	3
Forrajeras	1.082	30	25	25
Hortícolas	358	150	75	95
Cítricos	273	260	80	150
Frutales	274	95	60	80
Olivar	2.395	45	12	20
Viña	1.052	35	27	30
Otros cultivos	818	47	25	16
TOTAL	**13.513**	**65**	**32**	**21**

Fuente: BNAE (2007) y BPAE (2007) del MARM (N y P_2O_5) y Elaboración propia (K_2O) (2009)

lo disminuye, y como consecuencia su capacidad para proporcionar buenas cosechas. Los ensayos, con y sin fertilizantes, llevados a cabo en muchos países así lo atestiguan. Los más antiguos, con más de 150 años, se sitúan en Rothamsted (Reino Unido).

Estos ensayos a largo plazo demuestran claramente la acción de los abonos sobre la productividad de los cultivos, sobre todo a partir de los años sesenta, cuando se introdujeron nuevas variedades con mayor potencial genético y se mejoraron las técnicas de protección de los cultivos.

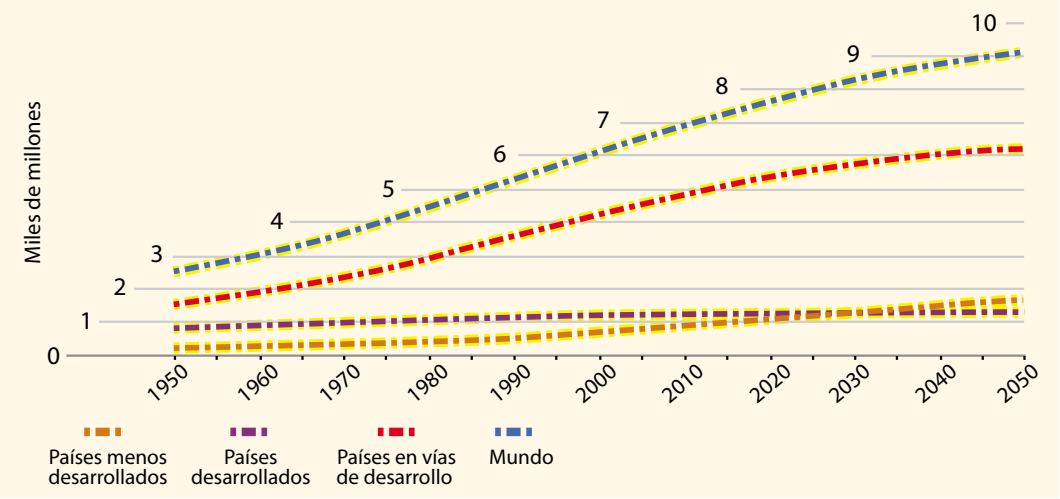
NECESIDAD DE LOS FERTILIZANTES

Las últimas predicciones de FAO (Food and Agriculture Organization) indican que para el año 2050 la población mundial será de 9.100 millones de habitantes, frente a las 6.800 millones actuales. Esto representa un incremento del 34% para los próximos 40 años.

Si se analiza el consumo global de cereales previsto para el año 2050, en base a los datos del consumo per cápita que se indica en la figura 1.4, se estima que para una población de 9.100 millones de personas y un consumo per cápita de unos 340 kg por persona y año, el consumo total será de unos 3.094 millones de toneladas.

Por otra parte, el crecimiento de la superficie agrícola está limitado, ya que las selvas y bosques que aún quedan en el mundo son absolutamente necesarios para mantener el clima del planeta.

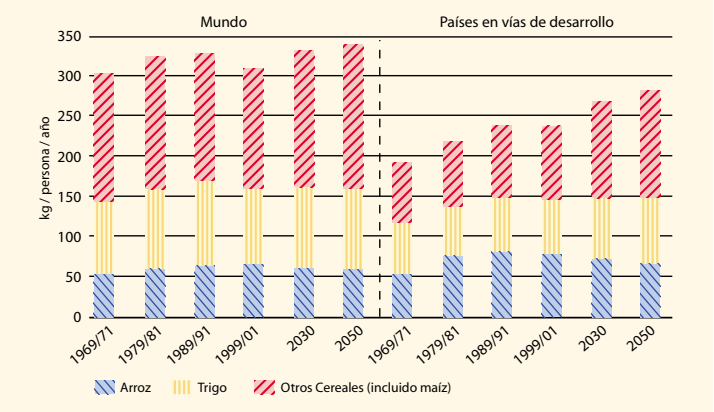
Figura 1.3. Población mundial



Fuente: FAO (2009)

Se hace pues necesario mantener e incrementar los rendimientos de los cultivos, empleando técnicas que permitan practicar una agricultura productiva, pero también sostenible, en la que los fertilizantes se empleen de forma racional, con máxima eficiencia y respeto al medio ambiente.

Figura 1.4. Consumo per cápita (todos los usos) de los cereales por especies



Fuente: FAO (2009)

FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y MINERAL

La fertilización racional debe conjugar la utilización de fertilizantes orgánicos y minerales, que se complementan. Los orgánicos, aunque también aportan nutrientes actúan, sobre todo, mejorando las propiedades físico químicas de los suelos y su actividad biológica, y los minerales, en cambio, aportan la mayor parte de los nutrientes que la planta precisa.

Los abonos minerales permiten producir plantas sanas y vigorosas, que en parte después se incorporan al suelo, manteniendo e incluso elevando su contenido en humus.

Todos los recursos orgánicos que estén al alcance del agricultor (estiércol, purín, restos de cosecha, compost, etc.) deben incorporarse al suelo en

cantidades adecuadas, previendo su mineralización y la cantidad de nutrientes que pueden liberar en cada momento. Estas aportaciones anuales serán tenidas en cuenta a la hora de practicar el abonado mineral.

FERTILIZANTES: UN MEDIO FUNDAMENTAL DE PRODUCCIÓN

La fertilización, para conseguir su máxima eficiencia (producción económica con responsabilidad medioambiental), debe formar parte de un conjunto integrado de prácticas agrícolas orientadas, todas, hacia este objetivo.

Los fertilizantes son un factor más a considerar en la explotación, junto al suelo, variedad, rotación, agua, etc. Y del buen manejo de todos los factores, de su adaptación a las condiciones únicas de cada finca, y del buen hacer del agricultor, dependerá que se obtengan en la explotación agraria unos buenos resultados, tanto económicos como medioambientales.

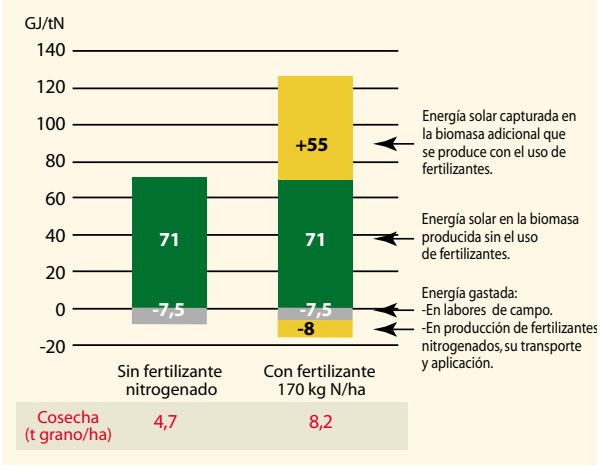
LOS FERTILIZANTES MEJORAN EL BALANCE ENERGÉTICO DE LA AGRICULTURA Y LA CAPTACIÓN DE CO_2

El balance energético de la producción agrícola es positivo y los fertilizantes, sobre todo los nitrogenados, contribuyen de manera significativa a optimizarlo.

El incremento de biomasa conseguido por la aplicación racional de fertilizantes supone más energía que la gastada en la producción, transporte y aplicación de los mismos.

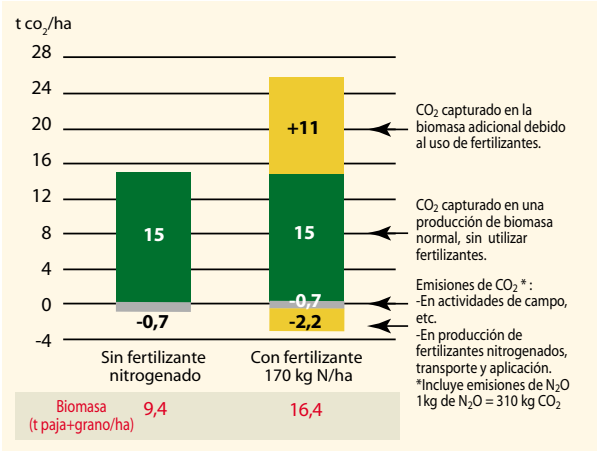
De igual forma, la aplicación de fertilizantes mejora de forma importante el poder de fijación de CO_2 de los cultivos. La mejora de rendimientos que se obtiene con la fertilización, y en consecuencia la fijación suplementaria de CO_2 y otros gases de efecto invernadero, compensan, claramente, los gases emitidos en la producción, transporte y aplicación de fertilizantes.

Figura 1.5. Energía producida en 1 ha de trigo



Fuente: Küsters and Lammel (1999)

Figura 1.6. CO_2 fijado en 1 ha de trigo



Fuente: Küsters and Lammel (1999)

2 LA NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS

CÓMO SE ALIMENTAN LAS PLANTAS

Las plantas son consideradas los únicos productores netos de energía de nuestro sistema biológico, con la excepción de algunos microorganismos. Son capaces de elaborar compuestos orgánicos complejos a partir del agua, del dióxido de carbono del aire, de la energía solar y de los elementos nutritivos del suelo.

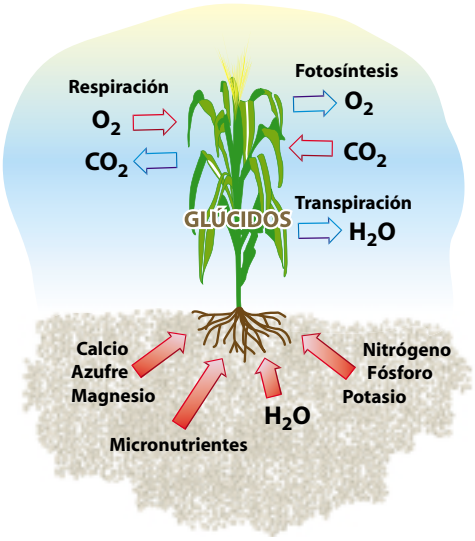
Para llevar a cabo los procesos fisiológicos y metabólicos que les permiten desarrollarse, las plantas necesitan tomar del medio una serie de elementos indispensables. Es, a partir del análisis de la materia seca de los vegetales, como se describen sus constituyentes esenciales:

Nutrientes plásticos. Suponen el 99% de la masa y son: carbono (C), oxígeno (O), hidrógeno (H), nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg).

- El C y O son tomados del aire a través de la fotosíntesis y el O por la respiración.
- El agua proporciona H y O, además de tener múltiples papeles en la fisiología vegetal.
- El resto de elementos minerales son absorbidos principalmente por las raíces de la solución del suelo. Sólo las leguminosas utilizan N del aire.

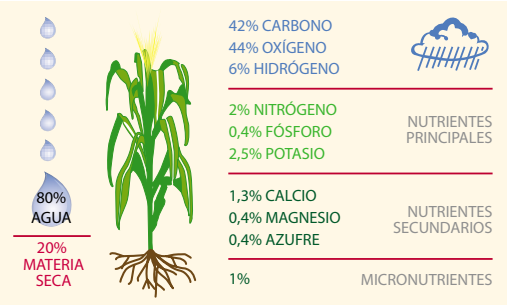
Micronutrientes. Necesarios en muy pequeñas cantidades. Son: hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo), níquel (Ni) y cloro (Cl). Los micronutrientes son asímismo absorbidos de la solución del suelo. Algunas especies vegetales precisan también sodio (Na), silicio (Si), cobalto (Co) y aluminio (Al).

Figura 2.1. Esquema básico de la nutrición de los cultivos



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.2. Composición media de una planta (% de materia seca)



Fuente: Fertiberia (2005)

NUTRIENTES ESENCIALES

Al menos catorce elementos químicos son imprescindibles para el desarrollo vegetal: germinar, crecer, llevar a cabo la fotosíntesis y la reproducción. Su clasificación como nutrientes principales, nutrientes secundarios y micronutrientes, obedece tan sólo a su mayor o menor contenido en la composición de las plantas.

Los criterios de esencialidad de un nutriente, en relación a la fisiología vegetal, son:

- Aparece en todos los vegetales.
- No puede ser sustituido por otro nutriente.
- Su deficiencia o carencia provoca alteraciones en el metabolismo, fisiopatías o la muerte de la planta.

A continuación se indican los nutrientes esenciales y la forma química en la que las plantas los asimilan.

NUTRIENTES ESENCIALES

MACRONUTRIENTES (6)
NUTRIENTES PRINCIPALES (3)
Nitrógeno-absorbido como NO_3^- y NH_4^+
Fósforo-absorbido como $H_2PO_4^-$
Potasio-absorbido como K^+

NUTRIENTES SECUNDARIOS (3)
Azufre-absorbido como SO_4^{2-}
Calcio-absorbido como Ca^{2+}
Magnesio-absorbido como Mg^{2+}

MICRONUTRIENTES (8)

METALES (6)
(Se absorben como cationes divalentes o quelatos)
Hierro
Manganeso
Zinc
Cobre
Molibdeno
Níquel

NO METALES (2)
Boro-absorbido fundamentalmente como $H_2BO_3^-$
Cloro

PAPEL DE LOS ELEMENTOS NUTRITIVOS

Todos y cada uno de los elementos nutritivos juegan un papel específico en la nutrición vegetal. El oxígeno, el carbono, el hidrógeno, el nitrógeno, el fósforo y el azufre son los constituyentes básicos de los tejidos vegetales y participan en las reacciones bioquímicas básicas del metabolismo.

El fósforo es un constituyente esencial del ATP (Adenosín Trifosfato), y está ligado a los procesos de intercambio de energía.

Los cationes, calcio, potasio y magnesio, regulan los potenciales osmóticos, la permeabilidad de las membranas celulares y la conductividad eléctrica de los jugos vegetales.

Por su parte, los micronutrientes son catalizadores de numerosas reacciones del metabolismo vegetal.

Macronutrientes

***El nitrógeno**, factor de crecimiento y desarrollo*.

El nitrógeno es uno de los constituyentes de los compuestos orgánicos de los vegetales.

Interviene en la multiplicación celular y se considera factor de crecimiento; es necesario para la formación de los aminoácidos, proteínas, enzimas, etc. De modo que, el aporte del nitrógeno en cantidades óptimas conduce a la obtención de forrajes y granos con mayor contenido proteico. Además, muy recientemente se ha demostrado la relación directa del nitrógeno con el contenido en vitaminas.

Deficiencia de nitrógeno en maíz

La deficiencia en nitrógeno afecta de manera notable al desarrollo de la planta. Se manifiesta, en primer lugar, en las hojas viejas, que se vuelven cloróticas desde la punta hasta extenderse a la totalidad a través del nervio central. Las hojas adquieren un color verde amarillento y en los casos más graves la planta se marchita y muere (fisiopatía provocada en las plantas por falta de clorofila, que precisa cuatro átomos de nitrógeno para cada molécula).

***El fósforo**, factor de precocidad.*

Estimula el desarrollo de las raíces y favorece la floración y cuajado de los frutos, interviniendo en el transporte, almacenamiento y transferencia de energía, además de formar parte de fosfolípidos, enzimas, etc.

Es considerado factor de precocidad, ya que activa el desarrollo inicial de los cultivos y favorece la maduración.

La carencia de fósforo conduce a un desarrollo débil del vegetal, tanto de su parte aérea como del sistema radicular. Las hojas se hacen más delgadas, erectas, con nerviaciones menos pronunciadas y presentan un color azul verdoso oscuro, pudiendo incluso llegar a caer de forma prematura.

***El potasio**, factor de calidad.*

En la planta el potasio es muy móvil y juega un papel múltiple. Mejora la actividad fotosintética; aumenta la resistencia de la planta a la sequía, heladas y enfermedades; promueve la síntesis de lignina, favoreciendo la rigidez y estructura de las plantas; favorece la formación de glúcidos en las hojas a la vez que participa en la formación de proteínas; aumenta el tamaño y peso en los granos de cereales y en los tubérculos.

Deficiencia de potasio en alfalfa

La carencia de potasio provoca un retraso general en el crecimiento y un aumento de la vulnerabilidad de la planta a los posibles ataques de parásitos.

Se hace notar en los órganos de reserva: semillas, frutos, tubérculos. Si la deficiencia es acusada aparecen manchas cloróticas en las hojas que, además, se curvan hacia arriba.

Un correcto abonado potásico mejora la eficiencia y el aprovechamiento del abonado nitrogenado.

El azufre

Es componente de aminoácidos azufrados como la cisteína y la metionina. Forma parte de vitaminas, proteínas, coenzimas y glicósidos. Participa en las reacciones de óxido-reducción formando parte de la ferredoxina.

El calcio

Es necesario en la división y crecimiento de la célula. Es el elemento estructural de paredes y membranas celulares, y es básico para la absorción de elementos nutritivos. Participa junto con el magnesio en la activación de las enzimas del metabolismo de glúcidos y proteínas.

El magnesio

Forma parte de la molécula de clorofila, siendo por tanto esencial para la fotosíntesis y para la formación de otros pigmentos. Activa numerosas enzimas del metabolismo de las proteínas y glúcidos. Favorece el transporte y acumulación de azúcares en los órganos de reserva y el del fósforo hacia el grano. Al igual que el calcio, es constituyente de las paredes celulares. Influye en los procesos de óxido-reducción.

Micronutrientes

El hierro, interviene en la síntesis de la clorofila y en la captación y transferencia de energía en la fotosíntesis y en la respiración. Actúa en reacciones de óxido-reducción, como la reducción de nitratos.

El manganeso, está ligado al hierro en la formación de clorofila. Además participa en el metabolismo de los hidratos de carbono.

El zinc, es fundamental en la formación de auxinas, que son las hormonas del crecimiento. Interviene en la síntesis de ácidos nucleicos, proteínas y vitamina C. Tiene un efecto positivo en el cuajado, maduración y agostamiento.

El cobre, participa en la fotosíntesis y en el metabolismo de las proteínas.

El molibdeno, interviene en la fijación del nitrógeno del aire en las leguminosas, al igual que en la transformación de nitratos en el interior de la planta.

El níquel, actúa en la ureasa y sólo recientemente ha sido considerado elemento esencial.

El boro, interviene en el transporte de azúcares. Participa en la regulación interna del crecimiento por las hormonas vegetales, en la fecundación, en la absorción de agua, en la síntesis de ácidos nucléicos y en el mantenimiento de la integridad de la membrana celular.

El cloro, tiene una actividad ligada a la fotosíntesis y participa en el mantenimiento de la turgencia celular.

Deficiencia de boro en maíz

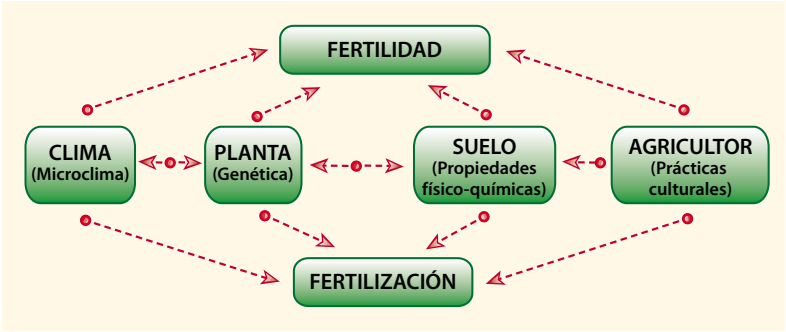
PRINCIPIOS GENERALES DE LA FERTILIZACIÓN

La fertilidad del suelo se entiende como su capacidad para suministrar todos y cada uno de los nutrientes que necesitan las plantas en cada momento, en la cantidad necesaria y en forma asimilable.

La asimilabilidad de los elementos nutritivos presentes en el suelo no depende sólo de la

forma química en que se encuentren, sino que es también función del clima, de la genética de la planta, de su estado de desarrollo, de las propiedades físicas y químicas del suelo y de las prácticas culturales.

Figura 2.3. Fertilidad del suelo



Fuente: Fertiberia (2005)

Ley de la restitución

Al finalizar el ciclo de cultivo el suelo debería conservarse en las mismas condiciones en las que se encontraba al iniciarse. En lo que a nutrientes se refiere, esto significa que deben reponerse los extraídos por las cosechas, con objeto de que no se pierda fertilidad tras las sucesivas campañas.

La restitución al suelo de lo exportado por la cosecha, debe de considerarse desde un punto de vista económico y en cuanto a garantizar la correcta nutrición de la próxima cosecha.

La fertilización debe tener como objetivo primordial mantener la fertilidad del suelo, no debiendo limitarse a la restitución de los elementos extraídos por la cosecha. Esta práctica es necesaria, pero no suficiente, por tres razones fundamentales:

- Un número importante de suelos tienen una pobreza natural que exige la incorporación de uno o varios elementos nutritivos para ser considerados cultivables y permitir la implantación y desarrollo de los cultivos.
- El suelo está inevitablemente sometido a una serie de fenómenos naturales como la erosión y el lavado que, entre otros efectos negativos para la fertilidad del suelo, originan pérdidas de nutrientes que se suman a las extracciones de las cosechas.
- La planta tiene necesidades nutritivas en momentos determinados de su ciclo vegetativo, necesidades instantáneas e intensas, durante los cuales las reservas movilizadas del suelo pueden ser insuficientes.

Ley del mínimo

Von Liebig, en el año 1840, enunció el siguiente principio: "el rendimiento de la cosecha está determinado por el elemento nutritivo que se encuentra en menor cantidad". Además, un exceso en cualquier otro nutriente, no puede compensar la deficiencia del elemento nutritivo limitante.

Esta Ley pone en evidencia la relación entre los elementos nutritivos y la necesidad de alcanzar una riqueza suficiente en cada uno de ellos, para que pueda obtenerse el rendimiento óptimo.

La interacción entre elementos nutritivos es positiva cuando el efecto producido por un conjunto de dos factores, en este caso nutrientes, es superior a la suma del efecto de los dos factores considerados aisladamente. De esta manera, si se satisfacen las necesidades de un cultivo en potasio se asegura la eficacia de la fertilización con nitrógeno.

En el suelo, la sinergia entre los elementos nutritivos se manifiesta de manera evidente. La

movilización de determinadas formas químicas de un elemento facilita la movilización de otros. De este modo, la presencia de sulfato y nitrato amónico favorecen la solubilidad del fósforo.

Figura 2.4. Ley del mínimo

Fuente: Fertiberia (2005)

Ley de los rendimientos decrecientes

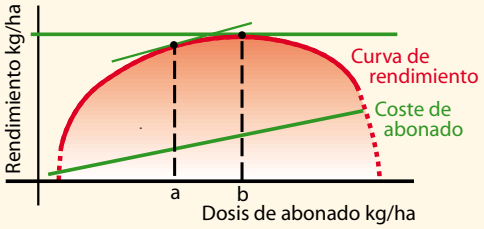
La Ley de los rendimientos decrecientes o Ley de Mistcherlich concluye que: "a medida que se aumentan las dosis de un elemento fertilizante disminuye el incremento de cosecha que se consigue por cada unidad fertilizante suministrada, hasta llegar un momento en que los rendimientos no solo no aumentan sino que disminuyen".

El rendimiento máximo, según el potencial de cada cultivo y suelo, se alcanza con aportaciones de fertilizantes, sin considerar el gasto que se realiza en fertilizantes. El rendimiento óptimo o económico es el punto que se alcanza cuando el rendimiento que se obtiene de la cosecha compensa el gasto en fertilizante.

Evidentemente, en la determinación del rendimiento óptimo o económico intervienen una serie de factores ajenos a la naturaleza y rendimiento del cultivo, tales como el precio de los fertilizantes utilizados y el precio de los productos agrícolas.

Figura 2.5. Ley de los rendimientos decrecientes Mistcherlich

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



a: Dosis óptima (óptimo económico)
b: Dosis máxima (óptimo técnico)

Fuente: Fertiberia (2005)

3 EL SUELO: MEDIO FÍSICO

El suelo es el "*hábitat*" que soporta y sustenta a las plantas y a la multitud de organismos que conviven con ellas. También, es el "*almacén*" del que extraen el agua, el aire y los nutrientes que precisan para su desarrollo.

El suelo es un medio dinámico en el que interactúan dos procesos básicos para el ecosistema: uno de producción, para la generación de biomasa, y otro de descomposición de los restos de esta biomasa, que se van incorporando al suelo.

El conocimiento del suelo por el agricultor, desde un punto de vista físico, biológico y químico, es imprescindible si se quiere llevar a cabo una correcta fertilización.

FORMACIÓN DEL SUELO

Comprende distintos procesos que han ido transformando la roca madre. El clima, en especial la lluvia y la temperatura, las plantas y otros organismos vivos y el hombre son los responsables de su formación a lo largo de los años.

Los materiales que componen el suelo se han estratificado en capas llamadas horizontes, que constituyen el perfil del suelo. A efectos prácticos, la parte que interesa al agricultor es la más superficial, de color más oscuro y más rica en materia orgánica, que conocemos como suelo. La capa sobre la que el suelo se asienta es conocida como subsuelo.

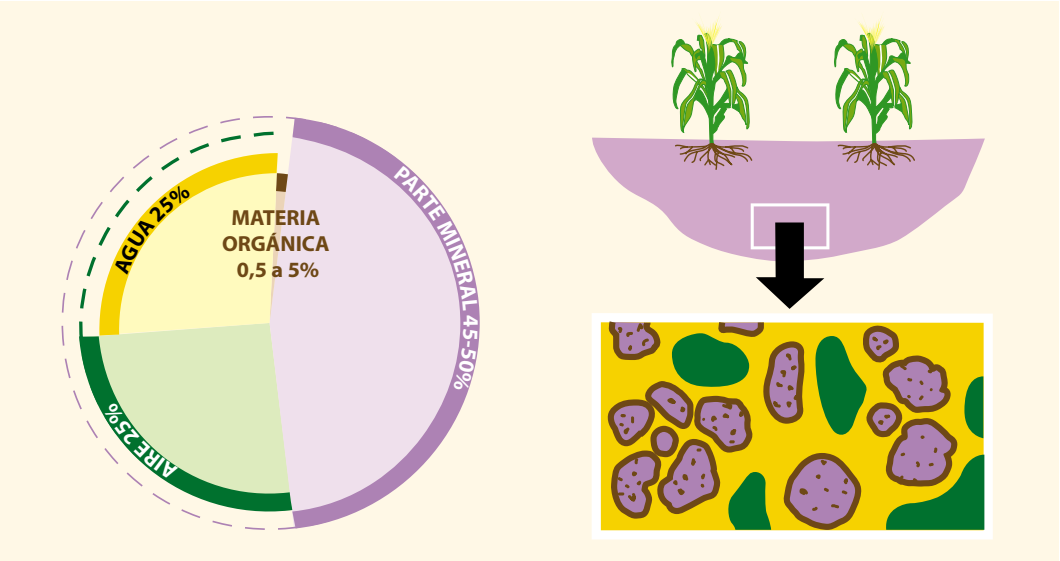
La mayor parte de las raíces de las plantas se desarrollan en el suelo, que llega hasta los 20-30 cm de profundidad, en función de las labores practicadas y de sus características físicas. En el suelo se almacenan la mayor parte de los elementos químicos asimilables que las plantas absorben. El subsuelo, cuya profundidad varía en función de la textura, debe ser permeable, permitiendo una buena circulación del aire y del agua.

COMPOSICIÓN DEL SUELO

En el suelo participan el aire, el agua, los componentes minerales (arcilla, limo y arena) y la materia orgánica.

El espacio vacío, que constituye la "*porosidad*" del suelo, donde se emplazan el aire y el agua, debe suponer un 50% y el contenido de humedad es óptimo cuando el volumen ocupado por el agua es igual al ocupado por el aire. La fracción sólida de la tierra fina de suelo (partículas menores de 2 mm) está ocupada en un 95-98% por material mineral y en un 1-3% por materia orgánica.

Figura 3.1. Composición óptima volumétrica de un suelo cultivado



Fuente: Fertiberia (2005)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO

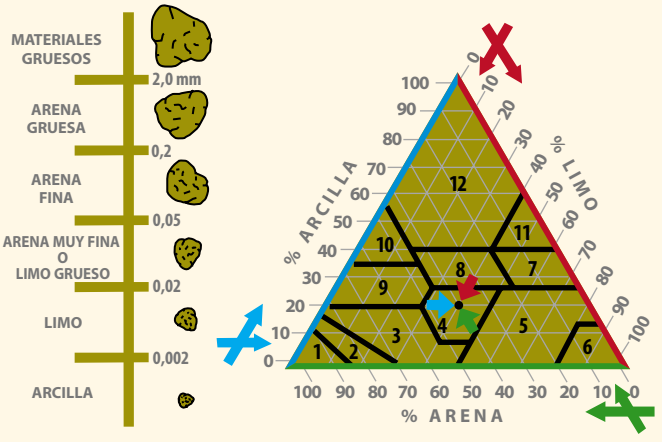
La calidad de un suelo está más limitada por sus características físicas (textura, estructura, profundidad, etc.) que por sus características químicas, que son más fáciles de modificar.

Textura

Se refiere a la distribución de tamaños de las partículas elementales que lo componen. Con arreglo al tamaño y con ayuda del triangulo de textura se determina exactamente el tipo de suelo.

De forma general y considerando sólo en el contenido de arcilla del suelo, se puede clasificar en:

Figura 3.2. Diagrama triangular para la determinación de la textura



1. Textura arenosa
2. Textura arenosa–franca
3. Textura franco–arenosa
4. Textura franca
5. Textura franco–limosa
6. Textura limosa
7. Textura franco–arcillo–limosa
8. Textura franco–arcillosa
9. Textura franco–arcillo–arenosa
10. Textura arcillo–arenosa
11. Textura arcillo–limosa
12. Textura arcillosa

Fuente: USDA (1977)

- Suelo arenoso ..... arcilla inferior al 10%
- Suelo franco ..... arcilla entre 10-30%
- Suelo arcilloso ..... arcilla superior al 30%

La textura influye decisivamente en el comportamiento del suelo respecto a su capacidad de retención de agua y nutrientes, su permeabilidad (encharcamiento, riesgo de lixiviación de agua y nitrógeno, etc.) y su capacidad para descomponer la materia orgánica.

Los *suelos arenosos*, sueltos, tienen pocos poros y grandes, están bien aireados, son permeables y pueden almacenar poca agua y nutrientes.

Los *suelos arcillosos*, fuertes, con muchos más poros pero más pequeños, son más compactos, menos permeables y pueden retener una mayor cantidad de agua y elementos químicos. Su fertilidad es, por tanto, más elevada.

Estructura

Es la disposición en que se unen las distintas partículas del suelo para formar agregados y la unión de éstos entre si. De ella, depende que las raíces del cultivo penetren adecuadamente en el suelo, que circule bien el aire y el agua, y que sea más o menos intensa la vida microbiana del suelo. La estructura es siempre más fácil de modificar que la textura.

Cuando las partículas más pequeñas del suelo, soldadas por el humus en presencia de calcio, reemplazan al aire y al agua de los poros, la estructura del suelo es estable y porosa. Cuando las labores se hacen con el tempero adecuado la estructura del suelo se mantiene. Cuando se incorporan al suelo los restos de las cosechas se mejora la estructura.

Profundidad

Existe una relación estrecha entre la profundidad y la respuesta del cultivo, en función del volumen de tierra explorado por las raíces.

Temperatura

Condiciona los procesos microbianos que tienen lugar en el suelo e influye en la absorción de los nutrientes, especialmente del fósforo que es menor en suelos fríos.

Color

Puede orientar sobre los componentes del suelo. Los colores blancuzcos detectan la presencia de arena, caliza o yeso, mientras que los oscuros la presencia de materia orgánica y óxidos de hierro. Los grises-verdosos denotan falta de drenaje, mientras que los pardos-rojos presuponen una adecuada permeabilidad.

AGUA DEL SUELO

Es indispensable para las plantas no sólo como alimento, ya que es su componente esencial, sino también para reponer las pérdidas que por evapotranspiración se producen durante el ciclo vegetativo. En el suelo, el agua disuelve los elementos nutritivos que absorben las plantas a través de la solución del suelo.

Con un buen manejo del agua en los riegos, se puede conseguir un importante ahorro de agua y de nutrientes, sobre todo nitrógeno, disminuyendo sus pérdidas por lixiviación. Entre las prácticas aconsejables se citan:

- En suelos arenosos se deben efectuar riegos frecuentes y con dosis menores que en suelos arcillosos.
- Se debe ajustar el intervalo de riego y las dosis a las necesidades hídricas del cultivo a lo largo de su ciclo.
- No se deben aplicar dosis altas de riego en los días posteriores a la aplicación de abonos nitrogenados.

El agua de riego puede contener nitrógeno y otros nutrientes y contaminantes. Es absolutamente necesario conocer el contenido de estos

nutrientes en el agua de riego para reducir su cuantía en la fertilización y poner en práctica medidas que minimicen o anulen los posibles efectos contaminantes.

En la tabla 3.1 se indica la cantidad de nitrógeno que puede aportarse al suelo por el agua de riego en función de su contenido en nitratos y del volumen de agua utilizado a lo largo del cultivo.

El agua puede contener también potasio y magnesio. Los contenidos de estos dos elementos aportados por el agua de riego también deben considerarse en el momento de calcular la fertilización.

Preparación del suelo

La aplicación de los fertilizantes mejora el aprovechamiento del agua por los cultivos pues aumenta su resistencia a la sequía, regula su transpiración y permite que las plantas necesiten un menor volumen de agua para formar su materia seca.

CAPACIDAD DE CAMPO

Después de una lluvia abundante el agua llega a ocupar todos los poros del suelo. Se dice entonces que el suelo está saturado. A continuación, el agua tiende a moverse por gravedad hacia el subsuelo, hasta llegar a un punto en que el drenaje es tan pequeño que el contenido de agua del suelo se estabiliza.

Cuando se alcanza este punto se dice que el suelo está a la **Capacidad de Campo (C.C.)**. Buena parte del agua retenida a la C.C. puede ser utilizada por las plantas, pero a medida que el agua disminuye se llega a un punto en que la planta no puede absorberla. En este estado se dice que el suelo está en el **punto de marchitez**. La diferencia entre la C.C. y el punto de marchitez representa la fracción de agua útil (disponible) para el cultivo.

Los valores de la C.C. y del punto de marchitez pueden expresarse en porcentajes de peso de suelo seco. Así, una capacidad de campo del 27% significa que 100 g de tierra seca retienen 27 g de agua, y una marchitez del 12% significa que, cuando se alcanza la marchitez de la planta, el suelo tiene 12 g de agua por 100 g de tierra seca. El agua útil (disponible) por la planta sería, pues, 15 g de agua por 100 g de tierra seca.

Cuanto más fina es la textura mayores son los porcentajes de agua en el suelo, tanto a la C.C. como en el punto de marchitez. Una buena estructura del suelo también aumenta la fracción de agua útil.

pH DEL SUELO

Mide la actividad de los H^+ libres en la solución del suelo (acidez actual) y de los H^+ fijados sobre el complejo de cambio (acidez potencial). La acidez total del suelo es la suma de las dos, porque cuando se produce la neutralización de los H^+ libres se van liberando H^+ retenidos, que van pasando a la solución del suelo.

El pH puede variar desde 0 a 14 y de acuerdo con esta escala los suelos se clasifican en:

- Suelos ácidos .....pH inferior a 6,5
- Suelos neutros.....pH entre 6,6 y 7,5
- Suelos básicos.....pH superior a 7,5

Los suelos tienen tendencia a acidificarse. Primero se descalcifican, ya que el calcio es absorbido por los cultivos o desplazado del complejo de cambio por otros cationes y emigra a capas más profundas con el agua de lluvia o riego. Des-

Tabla 3.1. Cantidad de nitrógeno aportado con el agua de riego, según consumo de agua y contenido en nitratos (kg/ha)

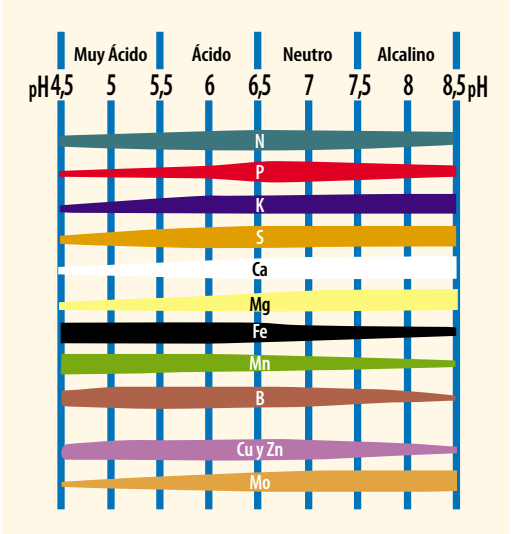
Volumen de agua aplicada m³/ha x año	Contenido de nitratos en el agua (mg/l)							
	5	10	15	20	25	30	40	60
2.000	2,3	4,5	6,8	9,0	11,3	13,5	18,0	27,0
3.000	3,4	6,8	10,1	13,5	16,9	20,3	27,0	40,5
4.000	4,5	9,0	13,5	18,0	22,5	27,0	36,0	54,0
5.000	5,6	11,3	16,9	22,5	28,1	33,8	45,0	67,5
6.000	6,8	13,5	20,3	27,0	33,8	40,5	54,0	81,0
7.000	7,9	15,8	23,6	31,5	39,4	47,3	63,0	94,5

Fuente: J.L. Espada (2009)

pués, lo normal, es que los iones H^+ ocupen los huecos que dejan el Ca^{2+} y el Mg^{2+} en el complejo. Los abonos nitrogenados, en su mayoría, ejercen una acción acidificante sobre el suelo. También acidifican el suelo los ácidos orgánicos excretados por las raíces de las plantas.

En España, los suelos del norte y de la parte más occidental son ácidos y el resto, que son la mayoría, básicos.

Figura 3.3. Disponibilidad de los nutrientes en función del pH del suelo



Fuente: E. Truog (1951)

INFLUENCIA DEL pH EN EL SUELO

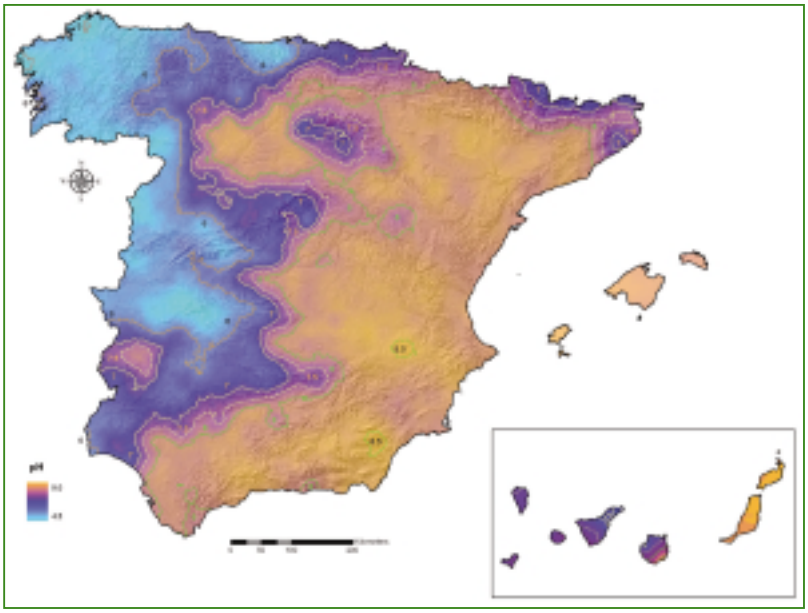
Un suelo con **fuerte acidez** es pobre en bases (calcio, magnesio, potasio), la actividad de los microorganismos se reduce y el fósforo disponible disminuye, al precipitarse con el hierro y el aluminio. Los micronutrientes, excepto el molibdeno, se absorben mejor en este tipo de suelos.

Un suelo con **fuerte basicidad** presenta un alto contenido de bases de cambio, pero la presencia de un elevado contenido de carbonato de calcio bloquea la posible absorción de fósforo y de la mayor parte de los micronutrientes.

La **neutralidad** en su sentido más amplio ($6{,}6 \leq pH \leq 7{,}5$) es una condición adecuada para la asimilación de los nutrientes y para el desarrollo de las plantas. Ahora bien, algunas como la patata, las pratenses y el centeno prefieren una ligera acidez, mientras que otras como el tomate, el pimiento, la alfalfa y la remolacha prefieren suelos con pH ligeramente elevado.

El **poder tampón** de un suelo refleja la mayor o menor facilidad que tiene un suelo para modificar su pH, y en gran parte depende de la textura. Los suelos arcillosos presentan una elevada resistencia, es decir, tienen un fuerte poder tampón.

Mapa 3.1. pH de los suelos de España



Fuente: INIA (2009)

Corrección de suelos ácidos

Se realiza aportando calcio al suelo bajo distintas formas, lo que se conoce como encalado.

El encalado debe realizarse de forma progresiva, pues al aportar el calcio se favorece la destrucción de la materia orgánica. Si se hace muy de golpe puede producirse un "excesivo adelanto de capital" al mineralizarse la materia orgánica muy rápidamente.

Las enmiendas cálcicas y magnésicas son tanto más efectivas cuanto más fina es su granulometría y mayor cantidad aportan de óxido de calcio o magnesio. Los productos más utilizados son la caliza comercial, la cal viva o apagada y la dolomita, que tiene la ventaja de que además de aportar calcio aporta también magnesio. Todos los productos que se utilicen deberán ajustarse a los tipos, características y especificaciones del anexo I del R.D. 824/2005.

La dosis a emplear depende, sobre todo, de la textura y nivel de acidez del suelo. De forma práctica se puede decir que en un suelo arcilloso sería necesario triplicar la dosis respecto a la de un suelo arenoso. En el capítulo 12, tabla12.1, se exponen las necesidades medias de caliza para incrementar progresivamente el pH del suelo.

Corrección de suelos alcalinos

Aunque posible, es más costosa y complicada que la corrección de suelos ácidos, y sólo se realiza cuando hay problemas adicionales de salinidad y sodicidad.

SUELOS SALINOS

Se dice que un suelo es salino cuando contiene un exceso de sales solubles, producido por

SALINIDAD DEL SUELO

La cantidad de sales contenidas en la solución del suelo se mide por la Conductividad Eléctrica del extracto de saturación (CEes). El sodio, que causa la dispersión de las arcillas, se valora por el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI). En base a estos parámetros los suelos se clasifican en:

Suelos Salinos CEes > 4 dS/m
Suelos Sódicos CEes < 4 dS/m y PSI >15%
Suelos Salinos-Sódicos CEes > 4 dS/m y PSI >15%

Para la **recuperación** de estos suelos debe procederse de la forma siguiente:
• En los suelos salinos, que frecuentemente presentan una costra blanca de sales pero cuya estructura no se ve afectada, se realizará un lavado de las sales que contiene. Los lavados sirven para reducir la salinidad inicial (lavados de recuperación) o impedir que el suelo se salinice de nuevo (lavados de mantenimiento).
• En los suelos sódicos se adicionarán mejorantes que aporten calcio (yeso ó fosfoyeso), o sean ácidos (azufre ó ácido sulfúrico).
• En los suelos salinos-sódicos se realizarán dos operaciones: primero la adición de un mejorante, que aporte calcio para desplazar al sodio, y segundo un lavado para arrastrar al sodio a capas profundas del suelo.

el empleo de aguas salinas para el riego o por el ascenso hasta el suelo de las sales que contiene el subsuelo, lo que puede suceder cuando se pone en regadío una finca.

Los efectos de la salinidad sobre las plantas son de dos tipos. Por una parte, se incrementa el potencial osmótico de la solución del suelo y las plantas necesitan más esfuerzo para absorber el agua. Por otra, algunos iones: sodio, cloro y boro, absorbidos en exceso, producen efectos tóxicos.

EROSIÓN DEL SUELO

Es uno de los problemas que en la actualidad más afectan a la agricultura mundial y por supuesto a la española, sobre todo en zonas de regiones áridas. En España, según datos de la Asociación Española de Agricultura de Conservación, más de un 50% del suelo agrícola está clasificado con un riesgo medio-alto de erosión.

La erosión puede producirse por la acción del aire y del agua, aunque en España la que tiene más importancia es la hídrica. Cuando las gotas de lluvia chocan violentamente sobre el suelo desnudo, los agregados se rompen en partículas más pequeñas. Si el suelo se satura de agua, ésta se acumula sobre la superficie y forma una lámina que se va desplazando, cuando el terreno está en pendiente, arrastrando las partículas más pequeñas. La textura del suelo y su pendiente condicionan la erosión.

La erosión no sólo produce pérdidas de suelo cultivable, sino que produce su degradación. Los elementos más finos del suelo, que conforman el complejo arcillo-húmico en donde se almacenan los nutrientes, son arrastrados con más facilidad, disminuyendo la fertilidad del suelo. Por otra parte, el desplazamiento de partículas de suelo, ricas en fósforo, que se depositan en los lagos, provocan la eutrofización

de sus aguas, de la que después hablaremos al referirnos al fósforo.

Algunas buenas prácticas agrícolas para luchar contra la erosión son: evitar el laboreo en pendiente, rotación racional de los cultivos, fertilización equilibrada, que permita producir plantas vigorosas, y laboreo adecuado, siguiendo en pendiente curvas de nivel. Es aconsejable evitar que el suelo esté desnudo, para lo que pueden emplearse cubiertas vegetales, muy frecuentes ya en plantaciones de olivar. Practicar el laboreo de conservación, tanto en siembra directa como en mínimo laboreo, son también técnicas adecuadas recomendables para controlar la erosión.

Suelo erosionado

4 EL SUELO: MEDIO BIÓLOGICO

El suelo es un medio vivo, en el que la materia orgánica se va descomponiendo gracias a la intensa actividad microbiana que tiene lugar en él. El agricultor debe procurar que el contenido de materia orgánica del suelo no se reduzca y que desarrolle una gran actividad biológica que favorezca su transformación.

LA VIDA EN EL SUELO

En el suelo viven, además de las plantas, micro y macroorganismos, tales como bacterias, algas, hongos, nematodos, lombrices, etc. La biomasa microbiana es muy relevante, estimándose que puede ascender a unos 1.000-3.000 kg de peso seco por hectárea, en los primeros 20 cm.

Plantación de viña

La actividad y población de estos microorganismos varía en función de la textura del suelo, pH, temperatura y suministro de agua, oxígeno, carbono y nitrógeno.

MICROORGANISMOS DEL SUELO

Las **lombrices**, excavan galerías en el suelo y se alimentan de restos orgánicos descompuestos. Mejoran la estructura y solubilizan los elementos nutritivos.
Las **bacterias** intervienen en las transformaciones que sufre el nitrógeno: amonización, nitrificación y desnitrificación. Las del género *Rhizobium*, que viven en simbiosis con las raíces de las leguminosas, fijan el nitrógeno del aire.
Los **hongos** pueden degradar compuestos orgánicos muy resistentes y las **micorrizas** proporcionan, en simbiosis con las raíces de algunas plantas, un aumento de su capacidad de absorción de agua y nutrientes, principalmente del fósforo.

MATERIA ORGÁNICA (MO) DEL SUELO

Tiene su origen en organismos vivos, que al morir se han incorporado al suelo, principalmente restos de vegetales. En los suelos cultivados puede haber, además, aportes de otras materias orgánicas.

Sintéticamente, la materia orgánica fresca sufre una primera transformación, rápida, que la convierte en humus y el humus sufre una segunda descomposición, mucho más lenta, tras la que se liberan los nutrientes que contiene.

- Tiene un efecto positivo sobre la estructura del suelo, mejorando su permeabilidad, su capacidad de almacenar agua y el laboreo, y en consecuencia, reduce la erosión.
- Aporta elementos nutritivos, constituye junto a la arcilla el complejo de cambio y facilita la absorción de los nutrientes (formando quelatos y fosfohumatos).
- Favorece la proliferación de microorganismos aerobios a los que proporciona carbono y nitrógeno, cuando la materia orgánica está poco descompuesta. Favorece, además, la respiración de las raíces y la germinación de las semillas.

Figura 4.1. Esquema de las transformaciones de la materia orgánica en el suelo

Fuente: Elaboración propia

El humus designa pues un conjunto de sustancias orgánicas transformadas, de color pardo negruzco, de composición muy compleja (humina, ácidos húmicos y fúlvicos). Su relación C/N (Carbono orgánico / Nitrógeno total) es relativamente constante, entre 9 y 11. Contiene un 5% de N.

Los factores que influyen en la *velocidad de transformación de la materia orgánica* son muy variados y entre ellos cabe reseñar:

- Las características del subproducto o residuo origen del producto.
- La naturaleza del residuo vegetal, más o menos rico en lignina.
- La humedad, aireación y temperatura del suelo, de forma directa.
- El mayor o menor contenido en nitrógeno.
- El pH, mejor ligeramente ácido.

PAPEL DE LA MATERIA ORGÁNICA

Es muy importante, pues mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

BALANCE DEL HUMUS

La fertilidad de un suelo depende, en buena parte, del mantenimiento de un balance del humus equilibrado. Los suelos más fértiles destruyen mucha materia orgánica, pero también generan mucho humus. Para establecer un balance del humus hay que calcular sus ganancias y sus pérdidas.

Fresas bajo plástico

Ganancias

Las ganancias proceden de la materia orgánica que anualmente se incorpora al suelo, que puede provenir de fuentes muy diversas: estiércol, compost, lodos tratados, restos de cosechas (pajas, restos de poda,…), abonos verdes y otras enmiendas orgánicas.

El *coeficiente isohúmico* K_1 define la cantidad de humus que puede formarse a partir de 1 kg de materia seca de la materia orgánica que se incorpora al suelo.

La cantidad total de humus que se genera por hectárea puede ser muy variable y dependerá de la cantidad total (kg/ha) de materia orgánica que se incorpore y del coeficiente isohúmico. La cantidad de humus generado por distintas fuentes orgánicas, se estima en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Humus generado por distintas fuentes orgánicas

	Materia seca (t/ha)	Humus (kg/ha x año)
Trigo (rastrojo)	3-4	450-600
Paja de trigo enterrada	4-6	600-900
Cebada (rastrojo)	2-3	300-450
Maíz (cañas enterradas)	8-10	1.200-1.500
Partes verdes remolacha	4-6	600-900

Fuente: A. Gros (1981)

La relación C/N de las materias orgánicas incorporadas sirve para medir su grado de humificación. Las materias más frescas presentan valores elevados, mientras que en las más descompuestas los valores son bajos.

Si la relación C/N es superior a 15 la actividad de los microorganismos es intensa, tomando, aunque sea de forma transitoria, el nitrógeno del suelo que precisan. Por ello, cuando se entierra paja de cereales, con una relación C/N entre 70-100, hay que aportar de 6 a 12 kg de N/t de paja incorporada para ayudar a su descomposición.

Los fertilizantes tienen un efecto favorable respecto al balance húmico, ya que ayudan a producir cosechas abundantes, que permiten dejar mayor cantidad de residuos orgánicos en el suelo.

Pérdidas

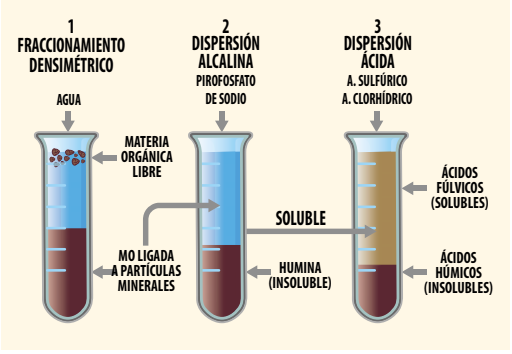
Las pérdidas de materia orgánica se producen por la cantidad que se mineraliza, que es proporcional al contenido de humus del suelo.

La mineralización es un proceso aerobio que se favorece con la aireación.

Los suelos arenosos tienen un factor K_2 superior al de los arcillosos. Los suelos con un intenso laboreo presentan un factor K_2 mayor que los suelos donde se practican técnicas de mínimo laboreo.

En la mineralización influye también el contenido de carbonato cálcico del suelo y la estabilidad del complejo arcillo-húmico.

Figura 4.2. Fracciones constituyentes del humus



Fuente: Fertiberia (2000)

Humus mineralizado = Contenido de humus x K_2
(K_2 es el coeficiente de mineralización en %)

Tabla 4.2. Aportación anual al suelo de N procedente de la materia orgánica

Materia Orgánica del suelo %	Suelos arcillosos Climas fríos (kg N/ha)	Suelos francos Climas templados (kg N/ha)	Suelos arenosos Climas cálidos (kg N/ha)
1	15	22	30
1,5	22	33	45
2	30	45	60
3	45	65	90

Fuente: Fertiberia (2000)

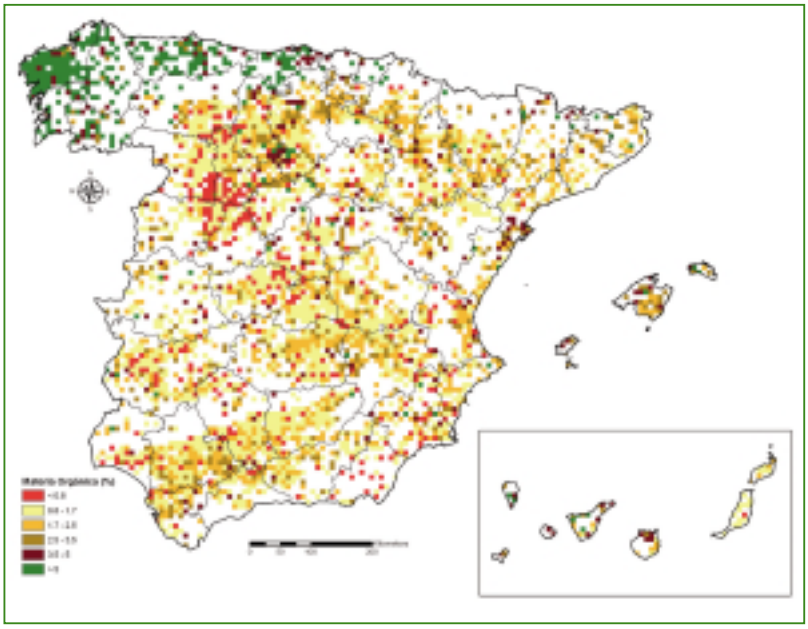
En función de todos estos factores, se estima que entre el 1 y el 3% del humus que contiene el suelo se mineraliza cada año.

A la hora de establecer un balance de entradas y salidas de nutrientes en un suelo, imprescindible para realizar un correcto abonado, hay que considerar las aportaciones anuales de nutrientes procedentes de la materia orgánica del suelo, fundamentalmente de nitrógeno (tabla 4.2).

CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA DE LOS SUELOS ESPAÑOLES

El mapa de los suelos de España con el contenido de materia orgánica, elaborado por el INIA (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria) en 2009, muestra que, con excepción de algunas zonas en Galicia y Norte de la Península, una parte importante de los suelos tiene un contenido en MO que oscila entre el 1 y el 2%.

Mapa 4.1. Materia Orgánica de los suelos de España



Fuente: INIA (2009)

5 EL SUELO: MEDIO QUÍMICO

Las plantas toman los nutrientes en forma de iones que son aportados, básicamente, por las reservas del suelo y mediante la aplicación de fertilizantes minerales al suelo.

Los nutrientes pueden estar unidos a algunas partículas sólidas del suelo, complejo arcillo-húmico, o disueltos en el agua que contiene el suelo, solución del suelo.

COMPLEJO ARCILLO-HÚMICO

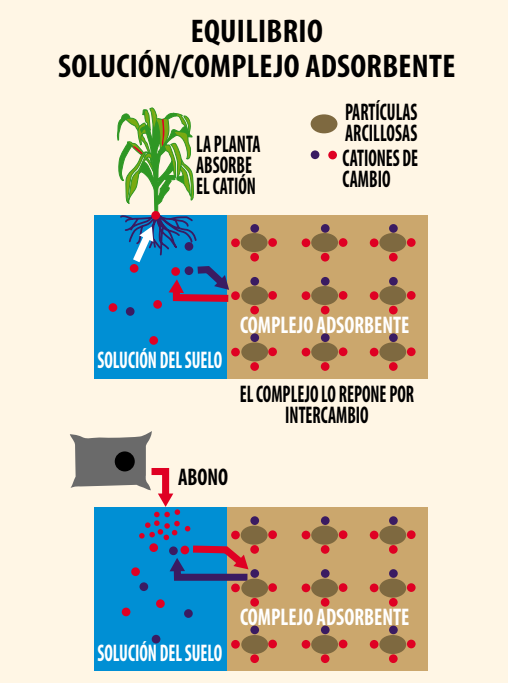
Está formado por partículas coloidales de arcilla y humus. Los coloides son sustancias que al entrar en contacto con el agua quedan en suspensión. Si a esta suspensión se le añade una sal de calcio, la arcilla y el humus floculan, formando copos. Esto es lo que sucede en el suelo, que ambos han floculado formando el complejo arcillo-húmico.

La actividad química de un suelo depende de la importancia que tenga el complejo arcillo-húmico, es decir, de su contenido en arcilla, materia orgánica y calcio. Pero, también depende del tipo de arcillas, que tienen una estructura en forma de láminas. Si estas láminas están separadas presentan más superficie activa y los suelos tienen una mayor fertilidad.

SOLUCIÓN DEL SUELO

La solución contiene sales que se hallan disociadas en aniones: nitratos, fosfatos, car-

Figura 5.1. Intercambio catiónico del suelo



Fuente: Fertiberia (2005)

bonatos, etc. y cationes: calcio, potasio, zinc, etc. Los abonos son sales que cuando se incorporan al suelo, en contacto con el agua, se disocian en aniones y cationes. Por ejemplo, el cloruro potásico, KCl, se disocia en dos iones K^+ y Cl^- y el nitrato magnésico, $Mg(NO_3)_2$, se disocia en un catión Mg^{2+} y dos aniones NO_3^-.

El complejo arcillo-húmico presenta cargas eléctricas negativas en su superficie, por lo que es capaz de atraer y retener iones con carga positiva (cationes), fenómeno que es conocido como adsorción. Los aniones no quedan retenidos por lo que pueden ser arrastrados disueltos en el agua, hasta capas profundas.

Los abonos tienen por objeto aportar al suelo los dos cationes: NH_4^+ y K^+ y los dos aniones: PO_4^{3-} y NO_3^-, más necesarios para las plantas. De ellos, son fijados por el complejo los dos cationes y el fosfato, pese a ser un anión, mediante puentes de calcio y también, por los óxidos de Fe, Al y Mn. En cambio, el nitrato no es retenido.

INTERCAMBIO CATIÓNICO

Todos los cationes adsorbidos en el complejo arcillo-húmico (complejo de cambio) pueden ser intercambiados por otros contenidos en la solución del suelo, de forma que entre ambos medios existe un permanente equilibrio de cationes. Una reacción típica de intercambio catiónico, entre el potasio y el calcio, podría ser la de la figura 5.2.

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO (CIC)

Refleja la cantidad de cationes que pueden ser retenidos por los suelos, expresada en miliequivalentes (meq)/100 g de suelo, aunque en la actualidad se utiliza la unidad cmolc/kg. A medida que la CIC es más elevada la fertilidad del suelo aumenta. Sus valores pueden oscilar entre:

- Suelos arenosos.....5 meq/100
- Suelos francos 5-15 meq/100
- Suelos arcillosos 15-25 meq/100

Los cationes que integran la CIC deben estar comprendidos entre unos límites porcentuales establecidos, si se quiere que el suelo funcione adecuadamente. Estos límites son:

- Ca .....60-80% de la CIC
- Mg .....10-20% de la CIC
- K .....2-6% de la CIC
- Na .....0-3% de la CIC

Un exceso de calcio cambiable puede interferir la asimilación de magnesio y de potasio. La *relación óptima Ca/Mg* debe estar alrededor de 5. También, un exceso de potasio puede interferir la absorción de magnesio. La *relación óptima K/Mg* debe estar entre 0,2 y 0,3.

Un elemento es asimilable cuando se encuentra en estado soluble en la solución del suelo o cuando está incorporado al enjambre de iones fijados por el complejo de cambio; y no es asimilable cuando es inmóvil y está precipitado formando parte de una molécula sólida mineral u orgánica.

Figura 5.2. Reacción de intercambio catiónico

Fuente: Elaboración propia

INTERCAMBIO CATIÓNICO DE UN SUELO

En la dinámica de intercambio catiónico de un suelo influyen distintos factores:

- La cantidad de cationes retenidos. En suelos muy pobres es preciso realizar inicialmente una elevada aportación de abonos, cuyos iones son retenidos fuertemente por el complejo, para permitir que abonados de mantenimiento, más modestos, puedan actuar.
- La fuerza de retención de los cationes de cambio. No todos los cationes son adsorbidos con la misma intensidad. La energía de fijación sigue el siguiente orden:

$$H^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > NH_4^+ > Na^+$$

- Los componentes coloidales del suelo. La capacidad de adsorción de las arcillas y el humus condiciona la intensidad del intercambio.

ABSORCIÓN DE LOS ELEMENTOS NUTRITIVOS POR LAS PLANTAS

Se efectúa por medio de los pelos radiculares de las raíces jóvenes, que segregan sustancias ácidas que ayudan a solubilizar los nutrientes.

En una primera fase, pasiva, los iones se mueven en el suelo hasta llegar a las raíces de dos formas:

- Por transporte en masa, siguiendo en disolución el movimiento del agua cuando existe un movimiento ascendente o descendente.
- Por difusión, que se produce para equilibrar la concentración de un determinado ión en todo el volumen de la solución del suelo.

En una segunda fase, activa, los iones una vez en contacto con la raíz, son atrapados por un transportador químico que le permite superar la barrera de la epidermis externa radicular. Este paso conlleva un consumo energético y necesita oxígeno.

Cultivos en invernadero

6 ABONOS Y MATERIAS ORGÁNICAS

CONSIDERACIONES GENERALES

En su sentido más amplio, se considera como abono orgánico toda sustancia de origen vegetal, animal o mixto, que se incorpora al suelo para mejorar su fertilidad.

La mayoría de estos abonos contienen nutrientes, cuya concentración es sustancialmente más baja que la de los fertilizantes minerales. Sin embargo, no deben valorarse exclusivamente por esta cualidad sino también y fundamentalmente, por sus beneficiosos efectos sobre el suelo.

En la normativa española reguladora de los *productos fertilizantes*, (Real Decreto 824/2005 de 8 de julio y disposiciones complementarias), se consideran como tales, aquellos que por su contenido en nutrientes facilitan el crecimiento de las plantas, aumentan su rendimiento y mejoran la calidad de las cosechas o que, por su acción específica modifican, según convenga, la fertilidad del suelo o sus características físicas, químicas o biológicas.

Al mismo tiempo, se define como *abono orgánico*, el producto cuya función principal es la de aportar a las plantas nutrientes que proceden de materiales carbonados de origen animal o vegetal y como *enmienda orgánica*, el producto procedente de materiales carbonados de origen vegetal o animal, utilizado fundamentalmente para mantener o aumentar el contenido en materia orgánica del suelo, mejorar sus propiedades físicas y mejorar, también, su actividad química o biológica.

Es importante resaltar que, aunque en aquellas definiciones no se hace una mención explícita sobre la forma de obtención de estos productos, en el anexo donde se establecen los diferentes tipos de abonos y enmiendas orgánicos, se contempla de forma específica esta circunstancia, de forma que los productos fertilizantes regulados por dicha normativa, con inde-

Dehesa

pendencia de su naturaleza orgánica, deben haberse sometido a un tratamiento o proceso de elaboración.

Aquellos productos que no cumplen este requisito, quedan fuera del ámbito de aplicación de la normativa reguladora de estos productos fertilizantes. Concretamente el estiércol fresco y los lodos de depuradora están excluidos expresamente y su utilización en la agricultura, como abonos o enmiendas orgánicos, queda sometida a su regulación específica.

La referida normativa de los productos fertilizantes contempla, asimismo, una serie de residuos orgánicos biodegradables como los únicos autorizados para utilizarse como materia prima en su fabricación.

La necesidad de controlar los posibles riesgos para la salud y el medio ambiente, derivados de la utilización de dichos residuos orgánicos, determina que los abonos y enmiendas orgánicos, junto con los abonos órgano-minerales, de los que se tratará más adelante, deban contar con una autorización administrativa para poder ponerse en el mercado, que se sustancia en la inscripción en el Registro de Productos Fertilizantes.

Tabla 6.1. Limites de concentración en metales pesados (productos fertilizantes orgánicos)

	Límites de concentración (1)		
Metal pesado	**Clase A**	**Clase B**	**Clase C**
Cadmio	0,7	2	3
Cobre	70	300	400
Níquel	25	90	100
Plomo	45	150	200
Zinc	200	500	1.000
Mercurio	0,4	1,5	2,5
Cromo (total)	70	250	300
Cromo (VI)	0,5	0,5	0,5

(1) Sólidos: mg/kg s/materia seca. Líquidos: mg/kg s/sustancia natural

Clase A, B o C: Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados, no supera en ninguno de ellos, los valores de la columna A, B o C respectivamente.

Fuente: R.D. 824/2005 (2005)

Como requisito común exigible a los productos fertilizantes orgánicos, se establecen unos límites máximos de contenido en metales pesados, de su carga microbiana, y en el caso concreto de residuos de origen animal, la exigencia del cumplimiento de los requisitos establecidos en el Reglamento (CE) nº 1774/2002 y disposiciones complementarias, relativas a las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales no destinados al consumo humano.

En todos estos productos orgánicos, deberá indicarse la clasificación a que corresponda (A, B, o C) y en todo caso es obligatorio declarar el contenido en Zn y Cu cuando superen los límites máximos correspondientes a la clase A, y sin que puedan superarse las cantidades de la clase C.

Según el anexo V, del Real Decreto 824/2005, los límites del contenido de microorganismos en los productos fertilizantes de origen orgánico, serán:

- *Salmonella*: Ausencia en 25 g de producto elaborado.
- *Escherichia coli*: Inferior a 10^3 NPM (número más probable) por gramo de producto elaborado.

ABONOS ORGÁNICOS, ÓRGANO-MINERALES Y ENMIENDAS ORGÁNICAS

Se consideran en este apartado los tipos de abonos orgánicos, órgano-minerales y enmiendas orgánicas, autorizados para su puesta en el mercado y utilización en la agricultura española, y que se engloban bajo la denominación de productos fertilizantes orgánicos "comerciales".

Abonos orgánicos

En función del contenido en nutrientes principales, se establecen varios grupos de abonos orgánicos: abonos nitrogenados, abonos fosfatados, abonos ternarios NPK y abonos binarios NP y NK, con un total de 9 tipos que dependen del origen de la materia prima orgánica utilizada en su elaboración.

- Las riquezas indicadas en nutrientes, están expresadas en %N, $\%P_2O_5$ y $\%K_2O$.
- La indicación origen mixto, corresponde a mezcla de materias orgánicas animales y vegetales. En la elaboración de los dos abonos ternarios NPK deben utilizarse obligatoriamente deyecciones animales, admitiéndose para el caso del abono ternario de origen animal, la utilización de restos de pescado compostado.

En este tipo de abonos, el contenido en nitrógeno orgánico no debe ser inferior al 85% del nitrógeno total, excepto el tipo NPK de origen animal cuyo límite se establece en un 50%.

En su fabricación, no se permite la incorporación de micronutrientes en forma mineral, si bien puede declararse el contenido en estos elementos, siempre que estos procedan de los ingredientes orgánicos utilizados en su elaboración y estén presentes al menos en las cantidades mínimas exigidas a los abonos inorgánicos.

La aportación de abonos con MO es frecuente en la viña

Abonos órgano-minerales

Obtenidos por mezcla o combinación de abonos inorgánicos o minerales ("abonos CE" o abonos inorgánicos del Grupo 1, del R.D. 824/2005), con los abonos orgánicos indicados en el apartado anterior, y en algunos casos con turba, lignito o leonardita.

De acuerdo con su contenido en nutrientes principales, y su forma de presentación, sólidos o líquidos (solución o suspensión), se contemplan 9 grupos de abonos órgano-minerales,

Tabla 6.2. Abonos orgánicos: contenido mínimo en nutrientes (% en masa)

Grupos	Origen	N	P	K	N+P	N+K	N+P+K	C/N (≤)
Nitrogenados N	Animal	6	-	-	-	-	-	10
Nitrogenados N	Vegetal	2	-	-	-	-	-	15
Nitrogenados N	Mixto	3	-	-	-	-	-	12
Fosfatados P	Animal	-	25	-	-	-	-	-
Ternarios NPK	Animal	1,5	1,5	1,5	-	-	6	10
Ternarios NPK	Mixto	1	1	1	-	-	4	15
Binarios NP	Animal	3	4	-	8	-	-	6
Binarios NP	Mixto	2	3	-	6	-	-	12
Binarios NK (líquido)	Vegetal	2	-	3	-	6	-	15

Fuente: R.D. 824/2005 (2005)

Planta de fabricación de abonos órgano-minerales

con un total de 25 tipos diferentes: nitrogenados simples, ternarios NPK y binarios NP, NK y PK.

- Las riquezas indican los contenidos mínimos en nutrientes, expresadas en %N, %P_2O_5 y %K_2O, teniendo en cuenta que el contenido en elementos nutritivos se expresa con idénticas normas (solubilidades, etc.), que las de los "abonos CE", inorgánicos compuestos.
- El contenido en carbono orgánico (C), tiene asimismo carácter de mínimo exigido.

Enmiendas orgánicas

Como se ha dicho anteriormente la función principal atribuida a las enmiendas orgánicas es el aporte de materia orgánica al suelo, con el fin de generar humus para mejorar la fertilidad del suelo.

La normativa reguladora de los productos fertilizantes contempla varios tipos de enmiendas orgánicas para las que, dependiendo de la materia prima utilizada en su elaboración, se exigen los contenidos mínimos de la tabla 6.4.

Enmienda húmica

Su interés radica en la aportación directa al suelo de compuestos húmicos, que pueden proceder del proceso de transformación de restos vegetales o animales y fundamentalmente de materia orgánica de tipo sedimentario como las turbas, lignitos y leonarditas, ligados al proceso de formación del carbón.

Las sustancias húmicas son compuestos de color amarillento a negro, amorfos, muy polime-

Tabla 6.3. Abonos órgano-minerales: contenido mínimo en nutrientes (% en masa)

Grupos	Presentación*	N		N+P+K	N+P	N+K	P+K	P	K	C
		Total	Orgánico							
N	Sólido (3)	10	1-0,5	-	-	-	-	-	-	8
	Líquido (2)	8	1-0,5	-	-	-	-	-	-	5
NPK	Sólido (3)	2	1-0,5	12	-	-	-	3	3	8
	Líquido (2)	2	1-0,5	8	-	-	-	2	2	4
NP	Sólido (3)	2	1-0,5	-	8	-	-	3	-	8
	Líquido (2)	2	1-0,5	-	6	-	-	2	-	4
NK	Sólido (3)	2	1-0,5	-	-	8	-	-	3	8
	Líquido (2)	2	1-0,5	-	-	6	-	-	2	4
PK	Sólido (3)	-	-	-	-	-	8	3	3	8
	Líquido (2)	-	-	-	-	-	6	2	2	4

* La cifra que figura entre paréntesis ( ) en la columna Presentación corresponde al número de tipos de abono de cada grupo, que dependen del origen de la materia orgánica.

Fuente: R.D. 824/2005 (2005)

Tabla 6.4. Enmiendas orgánicas: especificaciones

Tipo de Enmienda	Materia prima	Materia Orgánica Total %	Humedad máxima %	Extracto húmico Total %
Húmica	Animal o vegetal (turba, lignito o leonardita)	25	40	5
Turba de musgo	Musgo, principalmente género *Sphagnum*	90 (s.m.s)	-	-
Turba herbácea	Turberas bajas principalmente (*Carex, Phragmytes*…)	45 (s.m.s)	-	-
Compost	Cualquier residuo orgánico biodegrable del Anexo IV- R.D. 824/2005	35	40	-
Compost vegetal	Restos vegetales	40	40	-
Compost de estiércol	Deyecciones animales	35	40	-
Vermicompost	Digestión por lombrices de materiales orgánicos, esencialmente estiércol	30	40	-

Fuente: R.D. 824/2005 (2005)

rizados, con elevado peso molecular y de naturaleza coloidal. Se clasifican en función de su solubilidad en ácidos y bases, pudiéndose separar en diversas fracciones húmicas: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas. Los ácidos húmicos representan la fracción más interesante del humus del suelo, pudiendo suponer hasta un 80% del mismo.

En este tipo de enmienda debe valorase un buen equilibrio entre los dos tipos de ácidos, considerándose como idónea una relación de 4 a 1 (80% de húmicos y 20% de fúlvicos).

Las sustancias húmicas inciden de forma beneficiosa en el crecimiento de las plantas actuando de la siguiente forma:

- Los grupos funcionales ácidos que contienen intervienen en las reacciones de intercambio catiónico de los suelos.
- Interaccionan con las arcillas y estabilizan los agregados del suelo, previniendo la erosión.
- Tienen un papel importante en la disponibilidad de micronutrientes, puesto que forman complejos con los metales como el hierro, manganeso, zinc y cobre, contribuyendo además a mejorar la absorción por las plantas del fósforo, nitrógeno, potasio, calcio y magnesio.

Turbas

La turba es un material procedente de la degradación bioquímica de materiales vegetales acumulados en medios anaeróbicos o semi-anaeróbicos (turberas). Pueden ser de dos tipos según las condiciones de formación, diferenciándose en turberas bajas o "eutróficas" y turberas altas u "oligotróficas".

Se contemplan en la normativa dos tipos de turbas según las especies vegetales de que proceden: "Turba herbácea", o turba negra, formada por caña común (pastos de *Phragmytes*) y carrizos (género *Carex*), y la "turba de musgo" o turba rubia en la que predomina el género *Sphagnum*.

Las primeras se originan en las turberas bajas que suelen formarse en zonas de llanura con aguas estancadas, con un gran contenido en materia orgánica. Las segundas se originan en zonas de gran altitud, frias y de elevadas precipitaciones.

Su interés reside en su elevado contenido de materia orgánica utilizándose para la recuperación de suelos degradados, como soporte general de suelos, como materia prima para la fabricación de sustratos y como enmienda orgánica natural en general.

Compost

Se entiende por compost al producto resultante de un proceso controlado de descomposición microbiana aeróbica de residuos orgánicos biodegradables.

De forma general en el *proceso de compostaje* se distinguen dos fases bien diferenciadas, que se caracterizan por la intensidad de la actividad microbiana. Una primera fase de actividad intensa (compostaje) y otra en que esta actividad microbiana se ralentiza como consecuencia del agotamiento del residuo biodegradable (maduración o estabilización).

Los factores que inciden en el proceso de elaboración del compost y en consecuencia del producto final, son esencialmente, la naturaleza de los residuos biodegradables y de los microorganismos, el tamaño de las partículas, la temperatura y el pH.

Según la procedencia de los residuos utilizados en su fabricación, en la normativa se contemplan tres tipos de productos, cuyas características físicas y químicas son diferentes: compost, compost vegetal y compost de estiércol.

Aunque como se ha dicho las características físicas y químicas de estos productos difieren según el origen de la materia prima utilizada en su fabricación, su interés reside en su contenido en materia orgánica que con carácter general oscila entre un 35 y un 45%.

Tabla 6.5. Valores medios de los parámetros agronómicos de un compost

Conductividad	(dS/m)	700-4.000
pH		7-8,5
Humedad	%	35-40
Materia orgánica	%	35-45
Nitrógeno (N)	%	0,5-2,6
Fósforo (P_2O_5)	%	0,3-2,1
Potasio (K_2O)	%	0,4-1,2
Calcio (CaO)	%	5,0-16,0
Magnesio (MgO)	%	0,7-2,1

Fuente: Registro de productos fertilizantes (2009)

Los valores medios de los parámetros agronómicos de un compost se indican en la tabla 6.5.

Es importante señalar a la hora de elegir un compost el grado de madurez del mismo. Un compost inmaduro con una relación C/N superior a 25-30 puede producir efectos depresivos en las plantas al disminuir el nivel de concentración de oxigeno en la zona radicular, así como bloquear el nitrógeno en forma mineral existente en el suelo.

FUENTES DE HUMUS EN LAS EXPLOTACIONES

Subproductos ganaderos

Los residuos de las explotaciones ganaderas pueden considerarse desechos que deben ser eliminados o subproductos que aportados al suelo se utilizan esencialmente como fuentes de humus que, empleados en condiciones ajustadas a un uso racional y sostenible, representan una práctica de manejo agronómica y económicamente interesante.

Aunque en todos ellos el componente principal son las deyecciones del ganado, en función de su grado de dilución, de la presencia o no de cama en su composición y especie de procedencia, se distinguen varias clases de estos subproductos: estiércol o estiércol natural, estiércol semilíquido o "lissier", purín, gallinaza, etc.

Estiércol

El término estiércol o estiércol natural, se identifica con el fertilizante orgánico que proviene de la fermentación en mayor o menor grado, de una mezcla de excrementos animales sólidos y líquidos con los materiales vegetales que, extendidos sobre el suelo del establo, se utilizan como cama para el ganado.

Un buen manejo del estiércol puede introducir mejoras considerables en el contenido y en

la calidad de la materia orgánica del suelo, además de ejercer acciones positivas sobre un variado conjunto de propiedades edáficas.

El poder humígeno del estiércol es muy variable, dependiendo de diversos factores tales como la especie ganadera del que procede, del sistema de explotación y alimentación, de la naturaleza y cantidad de la cama, del grado de fermentación, humedad, etc.

Con carácter orientativo para un estiércol bien descompuesto, el valor humígeno medio se puede estimar en un 10% de su peso fresco, es decir 1.000 kg de estiércol pueden generar 100 kg de humus.

En correspondencia con el beneficio que produce sobre la fracción orgánica, el estercolado es capaz de actuar positivamente sobre la condición física de las tierras mejorando aspectos tales como la estabilidad estructural, la porosidad y la capacidad de almacenaje de agua del suelo.

Por otro lado, el estiércol ejerce también un efecto favorable en la condición biológica del suelo por el gran y variado número de microorganismos que posee, cuyo aporte produce transformaciones químicas que favorecen el aprovechamiento.

En suelos con un contenido de materia orgánica adecuado, la cantidad de estiércol a aportar deberá ser la necesaria para conservar el nivel de humus (dosis de conservación), mientras que en aquellos suelos con escaso contenido en materia orgánica, habrá que aportar la cantidad suficiente para corregir este déficit (dosis de corrección).

En la tabla 6.6 se indican las aportaciones de estiércol, según el tipo de suelo. Aunque el estiércol debe evaluarse esencialmente como una enmienda, no debe desdeñarse su valor como fertilizante, si bien como proveedor de nutrientes de baja graduación en comparación con los fertilizantes minerales.

Así, por ejemplo, puede decirse que en una incorporación de 20.000 kg/ha de estiércol fresco de vacuno (con 80% de humedad), se aportan al suelo 60 kg de N/ha y 80 kg de K_2O/ha y 20 kg de P_2O_5/ha. Del nitrógeno aportado por el estiércol de vacuno sólo un 20-30% se mineraliza el primer año; en los demás estiércoles, el porcentaje de nitrógeno mineralizado el primer año se sitúa entre el 40-50%.

Pero no todas son ventajas en las consideraciones que pueden señalarse respecto a la aplicación de estos productos. El estercolado en dosis elevadas puede incrementar la salinidad y elevar el pH.

Tabla 6.6. Aportaciones de estiércol recomendadas y periodicidad de aplicación en condiciones medias

Clase de suelo	Conservación		Conservación + Corrección	
	Dosis (t/ha)	Periodicidad (años)	Dosis (t/ha)	Periodicidad (años)
Arenosos y calizos	15-20	Cada 2	20-25	Cada 2
Francos	25-30	Cada 3	30-35	Cada 3
Arcillosos	30-40	Cada 3	40-50	Cada 3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.7. Composición media de estiércoles de diferentes especies (%)

	Vacuno	Porcino	Equino	Ovino
Agua	80-60	85-65	75-60	70-60
Sustancia seca	20-40	15-35	25-40	30-40
Nitrógeno total (N)	0,3-0,6	0,4-0,7	0,4-0,7	0,5-0,7
Fósforo (P_2O_5)	0,1-0,4	0,1-0,3	0,2-0,3	0.2-0,5
Potasio (K_2O)	0,4-1,0	0,6-1,6	0,5-0,8	0,5-1,5
Calcio (CaO)	0,2-0,3	0,08-0,1	0,2-0,3	0,1-0,3
Magnesio (MgO)	0,1-0,3	0,2-0,3	0,2-0,4	0,3-0,4

(Los intervalos de agua consignados corresponden a un grado de maduración bajo "estiércol fresco" o "poco hecho", y a un estiércol "maduro").

Fuente: Elaboración propia

En un rápido balance es lícito sostener que los beneficios del estercolado son más importantes que sus aspectos negativos, si bien para que se cumpla esta afirmación es menester tener en cuenta los factores que afectan a su eficiencia de uso agronómico.

En la aplicación del estiércol, cuyo objetivo prioritario es el mantenimiento del equilibrio húmico del suelo, deberá tenerse en cuenta fundamentalmente la alternativa y rotación de cultivos, la climatología de la zona y el tipo de suelo y su contenido en materia orgánica, en función de todo lo cual, se determinarán las cantidades a aplicar, época y frecuencia de las aportaciones.

Estiércol semilíquido o "lissier"

Compuesto por una mezcla de deyecciones sólidas y líquidas generalmente diluidas por las aguas de arrastre o limpieza de los fosos de recogida, sin presencia de materiales de cama, y que a veces de forma errónea, se confunden con los denominados purines.

El bajo contenido en ligninas y celulosa (estiércol sin mezcla de "camas") motiva su escaso poder humígeno, lo que unido a las riquezas en nutrientes 0,5% N, 0,2% P_2O_5 y 0,6% K_2O, (valores medios), hace que este tipo de estiércol deba ser considerado como un fertilizante compuesto aunque desequilibrado y no como una enmienda. Hay que significar que prácticamente el 50% del nitrógeno está presente en forma amoniacal, por lo que está a disposición de la planta con mayor rapidez que el aportado por el estiércol natural.

Preparación de estiércol

Purín

Proveniente de los líquidos que fluyen de los alojamientos del ganado y de la lixiviación de los montones de estiércol, tienen por lo general un escaso contenido en materia orgánica, por lo que no debe ser considerado como una enmienda, sino como aportador de pequeñas cantidades de nutrientes, en menor grado que el lissier.

Gallinaza

Constituido esencialmente por excrementos de las aves. Se trata de un producto que tiene un alto contenido en materia seca, nitrógeno y calcio. Su composición media es de 1,4% de N, 1,6% de P_2O_5, 0,9% de K_2O y 2,4% de CaO, con un contenido en materia orgánica del 20%.

Palomina

Es un residuo (excrementos de palomas), de mayor valor fertilizante que la gallinaza aunque más pobre en calcio. Su contenido medio en materia orgánica puede estimarse en un 30% y su riqueza en nutrientes de 1,8% N, 1,9% P_2O_5, 1% K_2O y 1,6% CaO.

Residuos vegetales

Abonos verdes

El cultivo de plantas para enterrarlas como abono verde es una práctica muy antigua en la agricultura mediterránea. Con ella se contribuye a mantener la actividad biológica del suelo mediante la formación de un humus joven, de evolución rápida y, generalmente, rico en nitrógeno.

Con los abonos verdes se consiguen también otros efectos que, aunque considerados secundarios, pueden ser muy interesantes en la

práctica agrícola. Durante el otoño e invierno, el cultivo actúa como una cubierta vegetal que protege el suelo de la erosión y, enterrado en la época adecuada, puede contribuir en forma decisiva, además, al control de la vegetación adventicia.

A estos cultivos se les imputan también algunos efectos desfavorables que conviene tener en cuenta. Entre los más destacados se citan, por una parte, el consumo de agua que puede tener una incidencia importante en los balances hídricos del suelo cuando se eligen equivocadamente las fechas de siembra, cultivo y enterramiento, y, por otra, el coste que representa desarrollar un cultivo en el que el agricultor sólo realiza gastos, sin obtener ninguna compensación monetaria. Sin embargo, el beneficio económico de esta práctica reside, lógicamente, en actuar de forma positiva sobre la fertilidad del suelo.

Las plantas elegidas deben reunir las siguientes características:

- Ser un cultivo rústico, de pocas exigencias agrícolas y con mínimos gastos.
- Presentar alta velocidad de crecimiento, lo que permitirá, en caso necesario, sembrarlas como cultivo intercalar entre dos cosechas principales.
- Tener un elevado potencial para producción de biomasa.
- Presentar, en el momento de su enterramiento, adecuada proporción de materia seca y relativa lignificación. La cantidad y estabilidad del humus formado dependerá de estas dos características.
- Poseer, si se trata de una especie leguminosa, elevada capacidad nitrofijadora para enriquecer el suelo en nitrógeno. Para los restantes nutrientes minerales, el abono verde sólo tendrá un efecto de reciclado de los elementos que previamente haya extraído del suelo, o de los fertilizantes que pudieran habérsele aportado.

Las leguminosas enriquecen el suelo en nitrógeno

Residuos de cosechas

Enterrar los residuos de las cosechas es una práctica muy interesante para conservar el equilibrio húmico de los suelos en la forma más natural y económica posible, ya que con esta práctica se devuelve al suelo una parte importante de la materia orgánica que se ha formado en el desarrollo del cultivo.

Lógicamente, la cantidad de humus que se genera con esta práctica depende del volumen de residuos y de su composición. En este sentido pueden tenerse en cuenta las consideraciones señaladas para los abonos verdes, aunque en este caso se espera a retirar la cosecha y únicamente se entierran los residuos que no representan la cosecha principal.

Según sea la especie cultivada y el sistema de cultivo, habrá más o menos residuos y, a su vez, cuanto mayor sea su contenido en materia seca y más elevada sea su composición lignocelulósica, se producirá mayor cantidad de humus estable. Residuos ricos en agua y poco lignificados generan poco humus que, por otra par-

te, es un humus muy lábil que se mineraliza muy rápidamente.

Con rotaciones de cultivo bien ordenadas y gestionando adecuadamente el enterramiento de los residuos de las cosechas, es posible conseguir en la agricultura mediterránea una recuperación que puede variar entre el 30 y el 50% de la cantidad de humus del suelo mineralizado durante el desarrollo de la rotación.

Residuos urbanos

La aglomeración de poblaciones en los núcleos urbanos y la preocupación por la conservación del medioambiente, ha provocado por un lado un incremento de la producción de residuos y por el otro la construcción de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), generadoras de grandes volúmenes de desechos, cuya fracción orgánica constituye una materia prima susceptible de ser valorizada convenientemente como fertilizante orgánico.

En relación con el uso en la agricultura de los residuos urbanos (residuos sólidos urbanos (RSU) y lodos de depuradora) debe considerarse que estos residuos están autorizados dentro de la lista de residuos orgánicos biodegradables, como materia prima para fabricar abonos y enmiendas orgánicas, de forma que el producto final requiere un registro previo para su comercialización.

Lodos de depuradora

Son residuos urbanos procedentes de aguas residuales. Están legislados por una Directiva Comunitaria y por el Real Decreto 1310/1990 por el que se regula su utilización en el sector agrario.

Los "lodos tratados" se definen por el R.D. como los lodos de depuradora tratados por una vía biológica, química o térmica mediante almacenamiento a largo plazo o por cualquier otro procedimiento apropiado, de modo que se reduzca de forma significativa su poder de fermentación y los inconvenientes sanitarios de su utilización.

En el anexo I, de este R.D., se indica que sólo pueden utilizarse "lodos tratados" con un contenido en metales pesados inferior al límite máximo fijado. Los suelos en que se apliquen no deben tener una concentración en metales pesados superior a la establecida y la cantidad de lodos aplicados por ha también está limitada.

7 FERTILIZANTES MINERALES

Los fertilizantes minerales que pueden comercializarse en España son, exclusivamente, los que se indican en el Reglamento (CE) nº 2003/2003 relativo a los abonos y en el Real Decreto 824/2005, sobre productos fertilizantes, y en sus posteriores modificaciones y adaptaciones al progreso técnico.

Este capítulo no se va a dedicar a la descripción de todos y cada uno de los fertilizantes incluidos en las legislaciones comunitaria y española, sino al análisis, desde el punto de vista agronómico, de los fertilizantes minerales más utilizados, excluyendo los aplicados en fertirrigación que se consideran en el capítulo 14.

FABRICACIÓN DE FERTILIZANTES MINERALES

El proceso de fabricación de fertilizantes inorgánicos consiste en la transformación de diferentes elementos presentes en la naturaleza, en nutrientes asimilables por las plantas.

El nitrógeno, que no se encuentra formando parte de los compuestos minerales del suelo, es fijado de la atmósfera a través de un proceso complejo, similar al que realizan las leguminosas, obteniéndose fertilizantes nitrogenados.

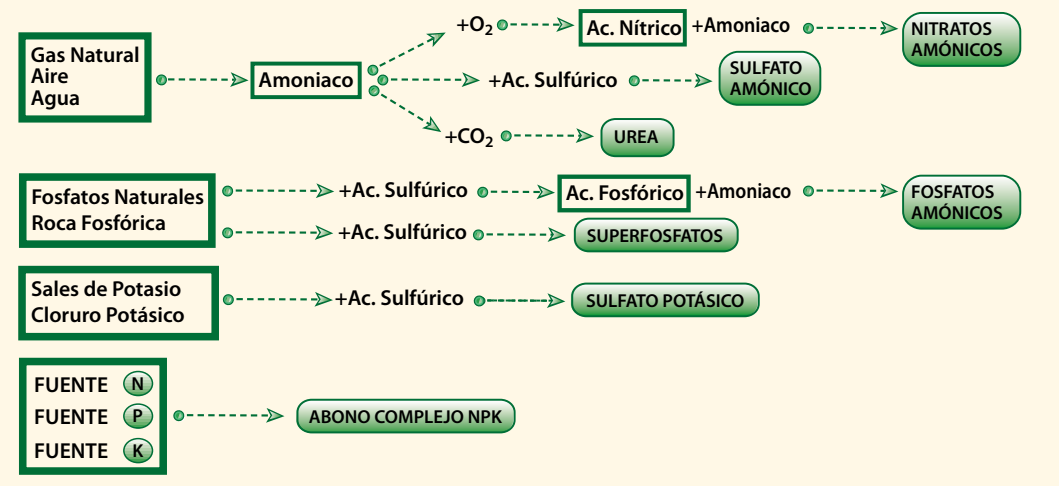
La roca fosfórica, de muy baja solubilidad, es transformada en fertilizantes fosfatados asimilables por las plantas, que presentan una solubilidad muy elevada. La fabricación consiste en el ataque de la roca fosfórica con ácidos minerales, generalmente sulfúrico.

En el proceso de fabricación de fertilizantes potásicos, las sales presentes en la naturaleza se extraen, muelen y purifican, también con el objetivo de facilitar su asimilación por los cultivos.

Tras los diferentes procesos de producción, se obtienen los fertilizantes inorgánicos o minerales, que presentan las siguientes ventajas:

- Aportan a los cultivos los nutrientes que necesitan, en la forma en la que los asimilan y son productos químicamente estables.
- Permiten la elección de los equilibrios y las formas nutricionales idóneas para cada cultivo y condiciones edafoclimáticas.
- Permiten una dosificación perfecta. Si se utilizan correctamente, si se aplican en las cantidades necesarias y en los momentos en los que son requeridos por los cultivos, aumentan su eficiencia.

Figura 7.1. Esquema básico de fabricación de fertilizantes minerales



Fuente: De la Riva (2004)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características de los fertilizantes minerales, definidas por el proceso de fabricación y por las materias primas utilizadas para fabricarlos, son básicamente de tipo físico y químico.

La calidad física de los fertilizantes minerales, si bien no está determinada por las legislaciones en vigor, es de suma importancia ya que condiciona de manera decisiva el manejo, almacenamiento y conservación de los mismos y, por supuesto, la correcta y homogénea aplicación al campo.

Las características físicas de los fertilizantes minerales sólidos son las siguientes:

- Dureza. Es la resistencia a la rotura, a la abrasión y al impacto. La dureza evita que los granos de fertilizante se fracturen durante los procesos de manipulación, almacenamiento y distribución. La resistencia a la abrasión evita la formación de polvo.
- Fluidez. Mide la aglomeración. Un ligero proceso de acondicionamiento debe permitir la restauración de la fluidez tras el almacenaje. Para prevenir la aglomeración o el apelmazamiento, se debe reducir el grado de humedad residual, añadir aditivos antiapelmazantes y enfriar el producto antes de almacenarlo o ensacarlo para evitar reacciones químicas indeseables.
- Granulometría. Los gránulos de fertilizantes deben de ser esféricos y con granulometría homogénea. Estos dos factores afectan de manera capital a su correcta distribución mecánica.

Fertilizantes almacenados a granel

- Humedad. Este factor influye de manera decisiva en el apelmazamiento y en la compatibilidad para las mezclas.
- Densidad. Es importante en el almacenamiento y en lo que respecta a la segregación.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Las características químicas de los fertilizantes minerales están definidas por los nutrientes que contienen, su concentración en el fertilizante y la forma química en la que este nutriente está presente en cada producto, o lo que es lo mismo, su asimilabilidad por parte del cultivo.

De este modo, la concentración en elementos nutrientes y la forma en la que se presentan, definirá las dosis de fertilizante a utilizar, el momento de aplicación y la forma en que deben de ser incorporados.

Según la legislación comunitaria, la indicación de los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio se expresarán del modo siguiente:

- El nitrógeno únicamente en forma de elemento (N).
- El fósforo en forma de elemento (P), en forma de óxido (P_2O_5) o simultáneamente. La equivalencia entre ambas formas es:

  fósforo (P)=P_2O_5 x 0,436.
- El potasio en forma de elemento (K), en forma de óxido (K_2O) o simultáneamente. La equivalencia entre ambas formas es:

  potasio (K)=K_2O x 0,830.

TIPOS DE FERTILIZANTES

Tradicionalmente los fertilizantes minerales se pueden presentar en forma sólida o líquida, clasificándose en los siguientes grandes grupos:

- Nitrogenados simples
- Fosfatados simples
- Potásicos simples
- Abonos compuestos (complejos y de mezcla)
- Abonos con nutrientes secundarios
- Abonos con micronutrientes

En este capítulo se estudian principalmente los abonos simples y compuestos convencionales, los de lenta liberación y los utilizados para aplicación foliar. En el capitulo 12 se tratan los abonos con nutrientes secundarios y micronutrientes, y en el capitulo 14 los fertilizantes usados en fertirrigación.

Abonos nitrogenados simples

Los fertilizantes **nítrico amoniacales** son uno de los tipos de fertilizantes más utilizados en agricultura debido a que reúnen las ventajas de contener nitrógeno nítrico, de disponibilidad inmediata, y nitrógeno amoniacal, de acción más prolongada ya que debe sufrir el proceso de nitrificación. Esta composición aporta la ventaja de poder efectuar una sola cobertera en muchos cultivos.

Se trata de productos muy versátiles para el agricultor, que se aplican fundamentalmente en el abonado de cobertera de los diferentes cultivos.

No es necesario proceder al enterramiento de estos abonos porque son muy solubles, y una precipitación moderada o un riego es suficiente para situarlos al alcance de las raíces.

Se recomienda que el almacenamiento tenga lugar en recintos cerrados, bien ventilados y con ambiente seco, donde la temperatura no sea elevada. El producto debe mantenerse siempre aislado, fuera de la luz solar, lejos de fuentes de calor y materiales combustibles. En el campo no debe almacenarse cerca de heno, paja, gasóleo, etc.

Los productos con contenidos en nitrógeno por encima del 28% deben entregarse al agricultor envasados según el Reglamento (CE) nº

Tabla 7.1. Características de los abonos nítrico-amoniacales más utilizados en España

	N total %	N amoniacal %	N nítrico %	Otros nutrientes %	Aplicación	Solubilidad	pH en solución acuosa al 10%	Para aplicar en suelos
Nitrato amónico cálcico (NAC)	27-27,5	13,5	13,5	7,5-9,1 Ca O 3-3,5 Mg O	Cobertera	Alta	>4,5	Todos, en especial ácidos y neutros
Nitrato amónico	33,5-34,5	16,7-17,2	16,7-17,2		Cobertera	Muy alta 118 g/100 ml a 0ºC	>4,5	Todos, en especial neutros y básicos
Nitromagnesio	22	11	11	7 MgO 11,5 CaO	Cobertera	Muy alta	>4,5	Todos, en especial deficientes en Mg
Nitrosulfato amónico	26	19,5	6,5	37 SO_3	Cobertera	Muy alta 95%	>3,5	Todos, en especial calizos y sódicos

Fuente: Elaboración propia

Nitrato amónico

2003/2003, y deben someterse a la legislación correspondiente en materia de almacenamiento, transporte por carretera, barco, etc.

La **urea**, es por orden de importancia, el segundo fertilizante más utilizado en nuestro país. Se presenta en dos formas con características físicas y químicas diferenciadas: la urea granulada o prilada, para aplicación al suelo y la urea cristalina, completamente soluble y no corrosiva, especialmente indicada para su aplicación foliar y uso en fertirrigación.

La *urea granulada o prilada* se aplica siempre sobre el suelo. Al tratarse de un fertilizante de acción prolongada en el tiempo puede aplicarse en sementera, pero fundamentalmente se utiliza en cobertera, en una o dos aplicaciones. La aplicación debe realizarse con suficiente antelación, para que el nitrógeno esté disponible en el momento de mayor requerimiento de la planta.

Para evitar las pérdidas por volatilización de amonio, sobre todo en suelos calizos, ambiente seco y temperaturas elevadas, se recomienda enterrarlo con una labor. Cuando se aplica en regadío es conveniente que el suelo esté húmedo o se efectúe un pequeño riego tras su incorporación.

Además de su empleo directo en el campo, se utiliza como materia prima para los blendings o mezclas junto al DAP y cloruro de potasa.

Tabla 7.2. Características de la urea

	N total %	N ureico %	Aplicación	Solubilidad	pH en solución acuosa al 10%	Para aplicar en suelos
Urea	46	46	Sementera Cobertera	Muy alta 1080 g/l a 20ºC	9-10	Todos
Urea cristalina	46	46	Foliar	Muy alta 1080 g/l a 20ºC	9-10	-

Fuente: Elaboración propia

Por su interés y practicidad, se reproduce a continuación el Código de Buenas Prácticas Agrarias para la urea elaborado por la European Fertilizer Manufacturers Association, EFMA.

CÓDIGO DE BUENAS PRÁCTICAS AGRARIAS PARA LA UREA (EFMA)

Los siguientes criterios están basados en la evidencia científica y la experiencia agronómica en cuanto al uso de la urea como fertilizante. Estas medidas contribuyen a asegurar la eficiencia del uso del nitrógeno contenido en la urea, minimizando las emisiones de amonio:

- La urea se incorporará al suelo, si es posible aprovechando el momento de la realización de una labor.
- En suelos desnudos, arenosos, la urea se utilizará sólo en la primera aplicación de nitrógeno, y en condiciones que permitan que ésta sea incorporada tan pronto como sea posible.
- En suelos medios o muy pesados, la urea puede ser utilizada en el abonado de fondo y en el de cobertera.
- La urea es muy utilizada en todo tipo de suelos para el abonado de cobertera de los cereales durante la primavera.
- La urea se aplicará preferentemente cuando haya predicciones de lluvia o cuando pueda ser incorporada al suelo mediante el riego.
- El uso de la urea en los prados es adecuado al inicio del ciclo de cultivo y en períodos de precipitaciones, o si hay aplicaciones de riego.

La *urea cristalina* se utiliza, sobre todo, en aplicaciones foliares y también en fertirrigación. Su bajo contenido en biuret, inferior al 0,25%, permite su aplicación sobre las hojas. Se recomienda su uso en los momentos en los que las plantas necesitan un suministro rápido de nitrógeno o tienen dificultades de absorción por la raíz debido a la excesiva humedad del suelo, frío, poda excesiva o sequía.

Con bajas temperaturas, la absorción por vía foliar es más intensa que por vía radicular, pero no conviene realizar aplicaciones con temperaturas inferiores a los 10ºC. En el caso de cultivos leñosos, la mayor eficacia de la aplicación se obtiene si se realiza durante el desarrollo de las yemas florales y la caída de los pétalos. Las pulverizaciones deben orientarse hacia el envés de las hojas que es donde la absorción se realiza de forma más intensa.

El **sulfato amónico**, fertilizante nitrogenado sólido amoniacal, tiene las características que se indican en la tabla 7.3.

El sulfato amónico se presenta en forma de cristales uniformes de muy alta solubilidad y es poco higroscópico. Se utiliza en la elaboración de abonos de mezcla presentándose entonces en forma de cristales de mayor tamaño.

Entre los **fertilizantes nitrogenados líquidos** que más se comercializan hay unos susceptibles de ser empleados pulverizados sobre el suelo y otros cuya principal utilización es en fertirrigación. En este punto se describen las características de los primeros.

Tabla 7.3. Características del sulfato amónico

	N total %	N amoniacal %	Otros nutrientes %	Acidez libre	Densidad kg/l	Aplicación	Para aplicar en suelos
Sulfato amónico	21	21	60 SO_3	0,05% expresada en ácido sulfúrico	1,10	Sementera	Todos, en especial sódicos-silíceos y básicos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.4. Características de las soluciones nitrogenadas

	N total %	N ureico %	N amoniacal %	N nítrico %	Otros nutrientes %	Densidad a 20ºC kg/dm³	Temper. de cristalización ºC	Aplicación	pH en solución acuosa al 10 %
Solución de nitrato amónico y urea	32	16	8	8	Zn Mn	1,32	0	Cobertera	7-8
Solución de abono nitrogenado	20	-	10	10	-	1,26	6	Cobertera	6-7

Fuente: Elaboración propia

La *solución de nitrato amónico y urea*, con un contenido del 32% en nitrógeno, es el único fertilizante nitrogenado que contiene este nutriente en sus tres formas: ureico (50%), amoniacal (25%) y nítrico (25%), lo que hace de él un producto muy versátil.

La solución nitrogenada 32% se utiliza en la cobertera de cereales de invierno. En una sola aplicación, al inicio del ahijado, suministra todo el nitrógeno requerido por el cultivo. La aplicación se realiza con pulverizadores, autopropulsados o remolcados, provistos de boquillas de tres chorrillos que distribuyen el producto en gotas gruesas. La rapidez, precisión y homogeneidad del reparto de este sistema de distribución supone una gran ventaja.

La utilización de la solución nitrogenada 32% está también muy extendida en el cultivo del maíz. Se aplica en fertirrigación, distribuyéndose en varios momentos a lo largo del ciclo de cultivo por medio de pivots o por aspersión.

Las dosis que se recomiendan son ligeramente menores que las de los sólidos, ya que las características del producto y su forma de aplicación permiten el máximo aprovechamiento por los cultivos.

La *solución de abono nitrogenado 20%* está muy indicada para su utilización en sistemas de riego, aunque también es empleada pulverizada en la cobertera de los cereales, con gota gruesa antes del ahijado, utilizando pulverizadores fabricados con materiales adecuados.

Abonos fosfatados simples

Se trata de fertilizantes para aplicación en fondo o sementera que son generalmente constituyentes de abonos compuestos (complejos o de mezcla).

Tabla 7.5. Características de los superfosfatos

	P_2O_5 total %	P_2O_5 soluble en agua y en citrato amónico neutro %	Otros nutrientes %	Aplicación
Superfosfato simple	18-20	18-20	28 CaO 11,5 S	Sementera
Superfosfato triple	45-46	45-46	17 CaO 4,8-6,0 S	Sementera

Fuente: Elaboración propia

Abonos potásicos simples

Al igual que los fertilizantes fosfatados simples se aplican principalmente en sementera y pueden ser utilizados para la fabricación de abonos complejos, o como constituyentes de abonos de mezcla, incorporando nitrógeno y fósforo.

Tabla 7.6. Características de los abonos potásicos simples

	K_2O total %	Otros nutrientes %	Aplicación	pH en solución al 1%	Para aplicar en suelos
Cloruro potásico	60		Sementera	6,4	No salinos y alcalinos
Sulfato potásico	50	56 SO_4	Sementera/Cobertera	2,7	Salinos y alcalinos

Fuente: Elaboración propia

Abonos compuestos (complejos y de mezcla)

Los **abonos complejos** son productos que contienen dos o tres de los nutrientes básicos: nitrógeno, fósforo y potasio, y además pueden contener nutrientes secundarios y micronutrientes, siempre de acuerdo con los contenidos mínimos definidos en las legislaciones comunitaria y española.

El proceso de fabricación de abonos complejos consiste en hacer reaccionar químicamente las distintas materias primas que los componen y posteriormente, la papilla resultante se granula, seca, clasifica y acondiciona. Con ello se garantiza que cada gránulo del complejo tiene exactamente el mismo contenido de N, P y K, siendo ésta la principal diferencia con los abonos de mezcla o blending, en los que cada gránulo contiene sólo uno, o como máximo, dos nutrientes.

El nitrógeno contenido en estos abonos se puede presentar en forma nítrica, amoniacal o ureica, dependiendo de las materias primas utilizadas en su fabricación.

El fósforo se obtiene atacando totalmente la roca fosfórica pulverizada con ácidos fuertes o bien, utilizando directamente fosfato monoamónico. De esta manera se consigue que todo el fósforo que se incorpora al suelo sea soluble en agua y en citrato amónico neutro, es decir, completamente asimilable por los cultivos.

Existen productos que incorporan fosfato parcialmente solubilizado, es decir, contienen una proporción de roca fosfórica sin atacar. La calidad de estos productos, en cuanto al aprovechamiento agronómico del fósforo que contienen, es muy inferior al de los obtenidos por las vías indicadas anteriormente.

Almacén de nitrato amónico cálcico

En ellos, el fósforo de la roca fosfórica sin atacar se encuentra presente en forma soluble únicamente en ácidos minerales, en mayor o menor medida según la fracción de roca fosfórica sin atacar que incorporan. Este fósforo tiene un escaso valor agronómico tanto a corto como a medio plazo, ya que no es asimilable por las plantas, sobre todo en suelos calizos. Sólo en terrenos muy ácidos, la planta podría absorberlo despues de algunos años.

El potasio, que es siempre soluble en agua, puede proceder del cloruro o del sulfato potásico. Se emplea sulfato en suelos con problemas de salinidad o con cultivos sensibles al cloruro. La aplicación de potasa en forma de cloruro es

Planta de fabricación de abonos nitrogenados

apropiada para todos los suelos, con la única excepción de los suelos con salinidad elevada. En los suelos calizos, es altamente recomendable el uso de cloruro potásico.

Los abonos complejos se aplican en sementera o fondo, distribuyéndolos homogéneamente. Se aconseja su enterramiento a cierta profundidad para localizar los nutrientes cerca de las raíces y facilitar así la absorción, en especial del fósforo y del potasio.

Las dosis de abonado recomendadas dependerán del contenido en nutrientes de cada fórmula, es decir, de las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio y del equilibrio, que es la proporción en la que se encuentran los tres elementos nutritivos. Así, en el 10-20-10, la concentración en nutrientes totales es 40 y el equilibrio entre nutrientes es 1.2.1.

En el mercado existen numerosas fórmulas de abonos complejos NPK que por la variedad de su composición y las diferentes formas químicas de los nutrientes que contienen, no reproducimos en este texto. Los NPK, producidos en España, utilizados mayoritariamente en la agricultura española, son los que se indican en la tabla 7.7.

En cuanto a los fertilizantes binarios, los que más se consumen en España para su utilización en el abonado convencional, son el **Fosfato Diamónico (DAP)** y el **Fosfato Monoamónico (MAP)**. Ambos, por sus especiales características químicas, son muy adecuados para su aplicación en fondo, y pueden ser base para la fabricación de abonos ternarios de mezcla. También, son muy utilizados, como materia prima, para la fabricación de abonos complejos NPK. Sus características químicas se indican en la tabla 7.8.

Tabla 7.7. Abonos complejos NPK más consumidos en España

FORMULAS NPK*	N %	P_2O_5 %	K_2O %	% de cada fórmula sobre el total del mercado de NPK
8-15-15	8	15	15	19,1
15-15-15	15	15	15	9,3
8-24-8	8	24	8	7,6
10-20-10	10	20	10	4,2
7-12-7	7	12	7	4,0
12-15-15	12	15	15	2,4
8-24-16	8	24	16	2,0
12-24-12	12	24	12	2,0
8-18-8	8	18	8	1,8

*Fabricadas en España

Fuente: ANFFE (2009)

Dentro de los fertilizantes binarios, es muy utilizado el nitrato potásico 13-0-46, que se emplea básicamente en fertirrigación y que también se aplica por vía foliar.

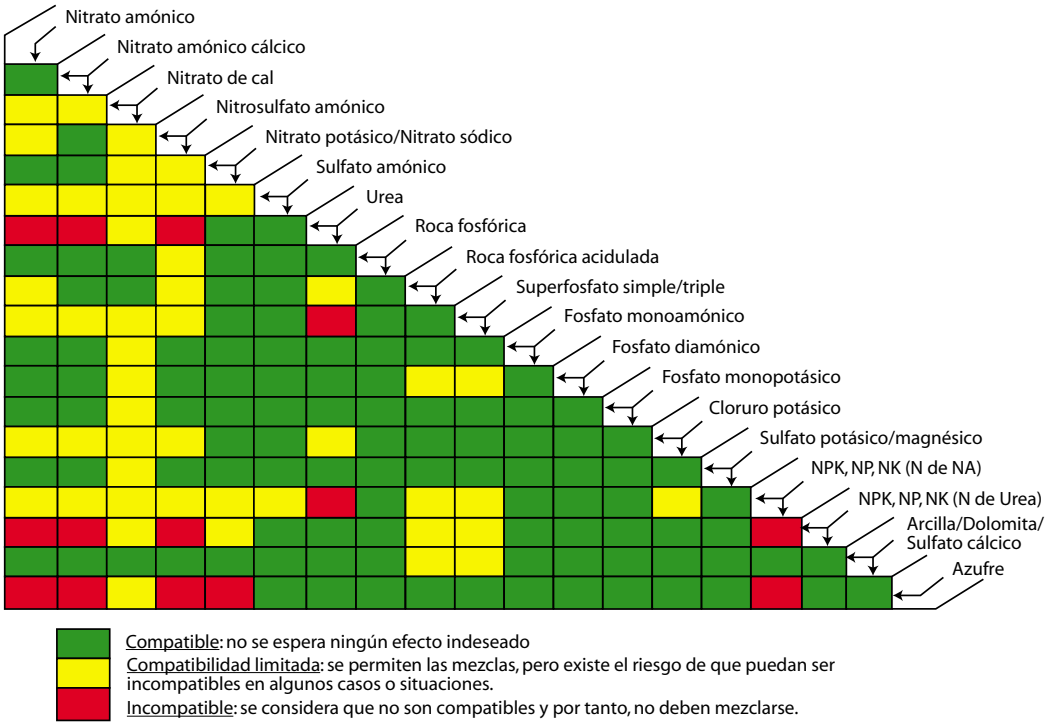
Los **abonos de mezcla o blending** son mezclas físicas de distintas materias primas, sin reacción química, pero que contienen, al igual que los abonos complejos, dos o tres nutrientes principales en su composición. Se trata de una mezcla de sustancias heterogéneas en cuanto a sus características físicas y químicas.

Tabla 7.8. Características del DAP y MAP

	N total %	N amoniacal %	P_2O_5 total %	P_2O_5 soluble en agua y en citrato amónico neutro %	P_2O_5 soluble en agua %	Aplicación	Solubilidad %	pH en solución acuosa al 10%	Para aplicar en suelos
Fosfato Diamónico	18	18	46	46	44	Sementera	89-91	7,5-7,8	Todos, en especial ricos en potasio y neutros o básicos
Fosfato Monoamónico	11-12	11-12	56-58	56-58	53-55	Sementera	94-96	3,9-4,4	Todos, en especial ricos en potasio

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.9. Compatibilidad de varios materiales para fabricar fertilizantes compuestos de mezcla



Fuente: EFMA (2005)

Los abonos complejos presentan, frente a las mezclas, las siguientes ventajas:

- Cada gránulo contiene los tres nutrientes, lo que facilita un mayor aprovechamiento por la planta.
- Son químicamente estables y presentan menor higroscopicidad.
- Son más resistentes a la abrasión y a la formación de polvo.
- La granulometría es uniforme, lo que mejora la distribución.
- Evitan la segregación de los componentes durante el transporte, almacenamiento, etc.

Por el contrario, los abonos de mezcla suelen tener un menor coste por unidad de nutriente, y facilitan la elaboración de fórmulas específicas.

En la tabla 7.9 se indican los fertilizantes que pueden mezclarse para la fabricación de abonos compuestos de mezcla.

Abonos complejos líquidos

En este apartado se hace un breve análisis de los abonos complejos líquidos que, por sus características, pueden ser aplicados a los cultivos de manera tradicional. Algunos de ellos son susceptibles de aplicarse también en fertirrigación y se tratarán en el capítulo dedicado a este tema. Estos fertilizantes compuestos líquidos son:

- Suspensiones de abonos NPK
- Soluciones de abonos NPK

Suspensiones de abonos NPK

Son soluciones sobresaturadas, en las que parte de los nutrientes no están disueltos y se mantienen en suspensión por la acción de arcillas especiales, tipo atapulgita, que evitan la precipitación de las partículas en suspensión, fundamentalmente el potasio.

En su fabricación entran a formar parte materias primas muy diversas. Su aspecto es de líquido espeso pero fluido, bastando una ligera agitación para recuperar sus propiedades físicas iniciales. Comprenden formulaciones NPK, NP y NK muy variadas, generalmente de alta graduación.

Las características que las definen son: la densidad, 1,4 a 1,5 kg/l; el tamaño de sus partículas, inferior a 2 mm; su viscosidad y; el pH, entre 6 y 6,5.

Las suspensiones se almacenan en tanques de polietileno o poliéster provistos de sistemas de agitación, para evitar la decantación.

Se aplican por pulverización sobre la superficie del terreno, en las mismas dosis y momentos que otros complejos sólidos o líquidos. Pueden ser aplicados conjuntamente con herbicidas y otros productos.

Soluciones de abonos NPK

Son soluciones saturadas de sales fertilizantes que contienen N, P_2O_5 y K_2O, que se aplican generalmente en fertirrigación. Según su pH se clasifican en neutras, de pH próximo a 7, y ácidas, cercano a 2.

El pH condiciona su aplicación: las neutras se aplican con aguas de buena calidad en las que no hay riesgo de precipitaciones y las ácidas, con aguas salinas, ricas en bicarbonatos de calcio y magnesio, en las que existe riesgo de precipitación.

En su fabricación entran a formar parte materias primas muy diversas, generalmente: urea, fosfato monoamónico y ortofosfato amónico (en las neutras), ácido fosfórico (en las ácidas) y cloruro potásico.

Se almacenan en tanques de polietileno, poliéster, fibra de vidrio, acero inoxidable, butilo y PVC. No deben mezclarse con otros fertilizantes para evitar precipitados y cristalizaciones.

Almacenamiento de fertilizantes en fábrica

Las fórmulas que se fabrican son de baja graduación para evitar cristalizaciones cuando la temperatura desciende. Las fórmulas más frecuentes en el mercado español son:

- NPK 4-8-12 neutra y ácida
- NPK 6-8-8 ácida
- NPK 8-4-10 neutra y ácida
- NPK 10-6-10 neutra
- NPK 10-4-6 neutra
- NPK 12-4-6 ácida

Las características que las definen son: la densidad, que está en torno a 1,2 kg/l, y la temperatura de cristalización, que debe de ser igual o inferior a 0ºC.

Abonos de liberación lenta, de liberación controlada o fertilizantes estabilizados

Este tipo de fertilizantes tienen la característica de que contienen un nutriente, ni total ni directamente disponible para la planta en el momento de su aplicación y cuya transformación en nutriente asimilable se produce en un periodo de tiempo superior a la del resto de los fertilizantes. A efectos prácticos, se trata de fertilizantes que, por distintos mecanismos, pueden poner los nutrientes que contienen, comúnmente el nitrógeno, progresiva y paulatinamente a disposición de los cultivos.

Los tipos de abonos de liberación lenta, liberación controlada o fertilizantes estabilizados, son los siguientes:

Moléculas de urea de baja solubilidad

Se trata de compuestos monómeros o polímeros obtenidos por reacción de urea con isobutilaldehído, obteniéndose isobutilidendiurea; con acetaldehído protónico, obteniéndose crotonilidendiurea; o con formaldehído fórmico, obteniéndose urea formaldehído.

La velocidad de liberación del nitrógeno depende del pH del suelo, humedad y temperatura, así como de las características físicas del gránulo.

La legislación comunitaria y española admite la comercialización de estas moléculas con urea y con fertilizantes conteniendo urea.

Inhibidores de la nitrificación

Son compuestos que retrasan el paso de amonio a nitrito en el suelo, mediante la inhibición de las bacterias nitrosomonas por un periodo determinado de tiempo. En general no actúan sobre el paso de nitrito a nitrato. El proceso de inhibición está muy influido por el pH del suelo, la temperatura y la humedad.

Los dos inhibidores de la nitrificación cuya comercialización está permitida, tanto por la legislación comunitaria como por la española, son la diciandiamida (DCD) y el dimetilpirazolfosfato (DMPP), ambos combinados con diferentes fertilizantes y añadidos en cantidades determinadas en cada caso.

Inhibidores de la ureasa

Son sustancias que impiden o inhiben durante un cierto tiempo la transformación del nitrógeno uréico en amoniacal. Disminuyen la velocidad con la que la urea se hidroliza enzimáticamente en el suelo.

De los aproximadamente 15 inhibidores de la ureasa que se han desarrollado, solo el N-(n-butil)

tiofosfórico triamida, NBPTP o NBPT ha conseguido una importancia comercial y práctica. La comercialización en Europa de ureas y fertilizantes con urea con NBPT está permitida desde noviembre de 2008.

Fertilizantes recubiertos

Son productos con recubrimientos de material poco soluble a través del cual el agua penetra poco a poco por los poros que tiene o por los poros que se producen cuando está en contacto con el suelo.

Existen muy diferentes tipos de recubrimientos, por ejemplo de azufre o con distintos polímeros plásticos o resinas. En Estados Unidos está muy extendida la utilización de urea con azufre.

Ni la legislación comunitaria ni la española contemplan, actualmente, la utilización de este tipo de productos en agricultura.

ABONOS PARA APLICACIÓN FOLIAR

Son abonos simples o complejos, líquidos o solubles, que, por sus características, además de aplicarse de manera tradicional o por fertirrigación, pueden aplicarse pulverizados sobre las hojas. La absorción a través de las hojas es más rápida que a través de las raíces, por lo tanto, estos fertilizantes se aplican para resolver deficiencias puntuales e inmediatas y se aplican generalmente para corregir deficiencias nutricionales concretas.

Presentan la ventaja de que pueden aplicarse conjuntamente con la mayor parte de fitosanitarios, por ser compatibles.

Otra característica de estos productos es la de estimular con sus aplicaciones fases concretas del desarrollo vegetativo de las plantas: floración, cuajado, maduración de los frutos, etc. Son imprescindibles cuando el cultivo ha sufrido algún tipo de estrés: plagas, enfermedades, pedrisco, asfixia, sequía, etc.

Como indica la definición anterior, comprenden un variadísimo grupo de fertilizantes que permiten aplicar al cultivo nutrientes esenciales, macronutrientes y micronutrientes, en momentos concretos de su desarrollo.

Sin ánimo de ser exhaustivo, los abonos foliares más utilizados en España son:

- Urea para aplicación foliar.
- Nitrato potásico.
- Fertilizantes con aminoácidos.
- NPK sólidos solubles con macronutrientes y micronutrientes.
- Soluciones NPK con macronutrientes y micronutrientes.
- Soluciones de uno o varios micronutrientes, también llamados correctores de carencias.
- Micronutrientes complejados o quelados.

8 LA FERTILIZACIÓN EN LA GESTIÓN INTEGRADA DE LAS EXPLOTACIONES

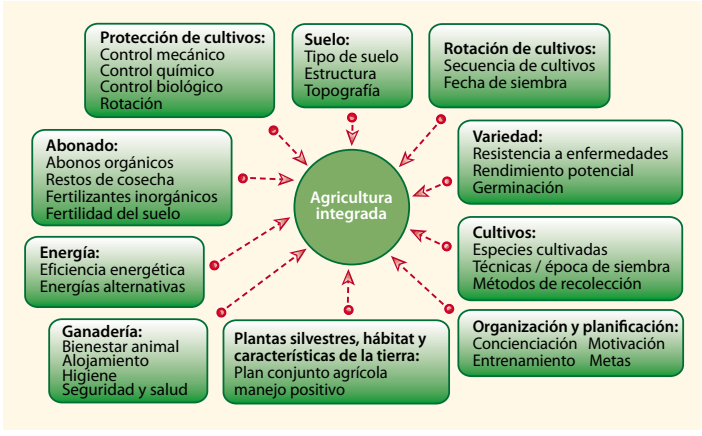
La fertilización racional de los cultivos es básica para garantizar la sostenibilidad de la actividad agrícola, ya que contempla el doble objetivo de lograr la óptima productividad y calidad de las cosechas y, a su vez, evitar las pérdidas de nutrientes al medio ambiente.

El conocimiento de los principios de la nutrición vegetal, las características de su explotación y la utilización de las herramientas disponibles, llevarán al agricultor al manejo integrado de la misma. La coordinación de todas las variables que influyen en la rentabilidad de la explotación se conoce con el término, que ya se está acuñando en Europa, como "Gestión Integrada de las Explotaciones".

La aplicación de nutrientes es mucho más racional cuando se consideran todos los factores que están condicionando su eficacia, ya que existen numerosos factores que impactan en la misma. Muchos de ellos están relacionados con la dificultad para predecir las condiciones climatológicas y con la diversidad y entornos locales.

El éxito depende de las condiciones locales y de la experiencia de los actores involucrados. En la toma de decisiones el agricultor debe de tener en consideración la experiencia pasada y los conocimientos actuales, elaborando un continuo y dinámico planteamiento en cada momento y circunstancia.

Figura 8.1. Manejo integrado de una explotación agraria. Equilibrio entre productividad y responsabilidad ambiental



Fuente: EFMA (2006)

FACTORES LOCALES

El primer paso para la racionalización de la fertilización sería el conocimiento de las carac-

Recogida de hojas de viña para su análisis

terísticas del suelo y de su nivel de fertilidad, su variabilidad en la explotación, y la topografía de la misma. Ambos factores determinan el potencial movimiento de los nutrientes y su disponibilidad para la planta. De este modo, el suelo y los nutrientes deben manejarse de manera integrada:

- Considerando las deficiencias o excesos de nutrientes determinados analíticamente.
- Teniendo en cuenta la forma y los momentos de aplicación de nutrientes en zonas con tendencia al encharcamiento o, por el contrario, a la escasa retención de humedad.
- Evitando aplicaciones de nutrientes en zonas protegidas por razón de su biodiversidad.

El manejo integrado de los nutrientes implica relacionar, de manera intrínseca, las necesidades de las plantas con el mantenimiento de la calidad del aire, del suelo y del agua, conservando y estimulando la biodiversidad.

HERRAMIENTAS DISPONIBLES

ANÁLISIS DE SUELOS
Determinaciones físicas: textura.
Determinaciones químicas: CE, pH, nitrógeno total, C/N, carbonatos totales, caliza activa, MO, fósforo asimilable, cationes de cambio (K, Na, Mg, Ca).

ANÁLISIS DE VEGETALES
Determinaciones químicas: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, zinc, manganeso, cobre, boro, sodio.

ANÁLISIS DE AGUA
Determinaciones químicas: pH, CE, aniones y cationes.

MAPAS DE SUELO DE LA EXPLOTACIÓN
Identificación de los distintos tipos de suelo.

MAPAS TOPOGRÁFICOS
Identificación de la orografía.
Identificación de los cursos de agua.
Identificación de zonas sensibles.

MANEJO DE LA MATERIA ORGÁNICA

Como se ha comentado anteriormente la cantidad de materia orgánica disponible en la explotación o incorporada a la misma (restos de cosechas, estiércoles, compost, lodos tratados de depuradora, etc.) debe integrarse en el proceso de manejo de los nutrientes, al igual que los nutrientes minerales.

La cantidad de materia orgánica disponible y su contenido en nutrientes, determinará el límite de su aplicación en la superficie disponible. Las cantidades que se apliquen nunca deberán exceder la capacidad del suelo para asimilarlas, ni los límites establecidos por las normas medioambientales en vigor en cada zona, muy especialmente en Zonas Vulnerables a la contaminación por nitratos de origen agrario.

De igual manera, las instalaciones para el almacenamiento de estiércoles y purines, deben, además de ser diseñados y ubicados de acuerdo con las disposiciones vigentes, permitir el almacenamiento de las cantidades que excedan los límites aconsejables de aplicación al suelo.

TOMA DE MUESTRAS DE TIERRAS

COMO: Se dividirá la superficie del terreno objeto del muestreo en parcelas uniformes en función del color, situación, profundidad, desarrollo de la vegetación, etc. Cada una de estas parcelas debe muestrearse separadamente, teniendo siempre en cuenta que la superficie a la que representa pueda ser fertilizada separadamente.
Cada muestra compuesta se formará mezclando submuestras, unas 10 ó 12 como mínimo, sacadas de diferentes partes de la parcela, siendo lo más representativas posibles de la misma. Deben tener un peso aproximado de entre 100 y 200 g. Las submuestras se mezclarán de manera homogénea, hasta completar un peso de unos 500 g.
Para la toma de muestras se utilizará una pala limpia, un tubo de muestreo, una barrena o una sonda.

CUANDO: La toma de muestras debe realizarse después de la recolección y siempre antes de efectuar un abonado o enmienda, eliminando los restos vegetales de la parte superior del suelo.
En el caso del nitrógeno es conveniente hacer dos ó más determinaciones para el mismo cultivo: una antes de la siembra y otra durante las primeras fases de desarrollo del cultivo para planificar el abonado de cobertera.

DONDE: La profundidad de la muestra depende del cultivo a fertilizar.

- Praderas y cultivos de no laboreo: La profundidad de la muestra debe ser hasta los 15 cm.
- Cultivos herbáceos: La profundidad del muestreo debe coincidir con la capa labrada, 25-30 cm.
- Cultivos leñosos: En la mayor parte de los casos, es suficiente con tomar una muestra desde la superficie hasta los 40 cm. En el caso de nuevas plantaciones o si el cultivo se asienta en terrenos calizos se tomaran dos muestras a distintas profundidades: una hasta 30 cm (suelo) y otra de 30-60 cm (subsuelo).
- Evaluación del nitrógeno: Para la evaluación del nitrógeno en forma de nitrato la profundidad de la muestra debe de ser próxima a los 50 cm. En los climas áridos cabe reducir la profundidad de muestreo, mientras que en las zonas húmedas será mayor, dada la mayor lixiviación de los nitratos. Para estas muestras se aconseja un secado rápido para interrumpir de forma inmediata la acción bacteriana que afectaría al resultado de los análisis.

La gestión integrada de los nutrientes orgánicos e inorgánicos va a permitir la correcta nutrición del cultivo y la reducción de los problemas de contaminación. Ambas fuentes de nutrientes deben aplicarse con la maquinaria adecuada para cada caso que, además, debe de estar correctamente calibrada para lograr distribuciones homogéneas, muy especialmente en áreas sensibles.

Laboratorio de análisis de suelos

ROTACIÓN DE CULTIVOS

Los cultivos herbáceos forman parte con frecuencia de rotaciones de diferentes especies. En principio, las rotaciones de cultivos fueron utilizadas para conservar y mantener la fertilidad del

CONSIDERACIONES SOBRE LA APLICACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

ANÁLISIS DE LA MATERIA ORGÁNICA
Determinación analítica del contenido en nutrientes y otros elementos.
Utilización de tablas sobre riqueza media en nutrientes de los diferentes abonos orgánicos.

APLICACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA
Planificación de los momentos de aplicación dados los importantes procesos de pérdidas por volatilización, etc.
Utilización de maquinaria de aplicación adecuada.

NORMATIVA APLICABLE
Zonas Vulnerables y otras.

suelo, introduciéndose las leguminosas para aportar nitrógeno a los cultivos siguientes.

En la actualidad, la razón principal para rotar cultivos es el control de plagas, enfermedades, malas hierbas y la disponibilidad de agua. No obstante, es importante la rotación entre especies con distintas necesidades nutricionales y diferentes posibilidades de asimilar los elementos nutritivos, para mejorar su aprovechamiento y, a su vez, disminuir las pérdidas al medio ambiente.

Una correcta rotación de cultivos, diferente según las condiciones locales y la fertilidad inherente al suelo, debe incluir cultivos con grandes requerimientos nutritivos, cultivos con menores necesidades e incluso fijadores de nitrógeno, especies con sistemas radiculares capaces de explorar horizontes profundos del suelo o por el contrario, con raíces superficiales, etc.

Por otra parte, el tipo y ciclo de los cultivos afecta al contenido en nitrógeno del suelo ya que, generalmente, el suelo cultivado favorece la mineralización de la materia orgánica. El establecimiento de un cultivo durante el otoño-invierno, asegura la utilización del nitrógeno mineralizado tras la cosecha del cultivo precedente.

EVALUACIÓN DE LAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS

La Gestión Integrada de las Explotaciones exige el seguimiento y aprendizaje de los resultados obtenidos en la explotación, lo que conduce a efectuar correcciones a partir de las evidencias obtenidas.

El seguimiento de los rendimientos logrados con la aplicación de distintas dosis de nutrientes, así como el estudio de los momentos y formas en los que se han aportado, deben ser la base para las actuaciones futuras. En definitiva se trataría de llevar a las explotaciones, los métodos empíricos de la investigación agrícola.

Los resultados del manejo anual de la fertilización deben de ser analizados en el contexto de todas las actividades de la explotación de modo que, se identifiquen las fortalezas y debilidades, y sean tomados en consideración en la planificación de las sucesivas campañas de cultivo.

9 FERTILIZACIÓN NITROGENADA

FORMAS DEL NITRÓGENO EN EL SUELO

La fuente mayoritaria de nitrógeno es el aire ya que las rocas contienen cantidades insignificantes de este nutriente.

La fertilización, orgánica o inorgánica, constituye, en la práctica, la fuente más importante de nitrógeno en la agricultura, aunque también se incorpora al suelo por la lluvia o por la fijación a través de numerosos microorganismos y de los vegetales superiores. Esta última vía es la que, de manera natural, proporciona más nitrógeno a los suelos cultivados.

Ensayos de campo

El 90-95% del nitrógeno total del suelo se encuentra en forma orgánica, de modo que no es directamente asimilable por las plantas, sino que debe sufrir un proceso de transformación denominado mineralización.

A su vez, el nitrógeno mineral del suelo, se encuentra en forma de amonio, NH_4^+, y de nitrato, NO_3^- . Ambas formas son asimilables por las plantas, pero la mayor parte del nitrógeno es absorbido en forma de nitrato.

El amonio se encuentra en el suelo adsorbido en el complejo de cambio, fijado en las redes cristalinas de determinadas arcillas o en la solución del suelo. El amonio fijado en las arcillas no es fácilmente cambiable, pero la acción de ciertos cationes provoca la expansión de las arcillas, pudiendo liberarse y pasar a la solución del suelo. Por el contrario, el amonio adsorbido en el complejo de cambio, es desplazado por otros cationes y pasa fácilmente a la solución del suelo.

El nitrato, se encuentra libre en la solución del suelo y es asimilado por las plantas y los microorganismos. Por efecto de la pluviometría o por el exceso de riego puede ser arrastrado a horizontes profundos del suelo. La cantidad de nitrato que puede ser lixiviado depende de

la intensidad de las lluvias, de la dosis de riego, de la capacidad de retención de humedad del suelo, del estado vegetativo del cultivo y de las características de su sistema radicular. A su vez, los movimientos ascendentes del agua a la superficie, durante las estaciones secas, pueden provocar el ascenso de los nitratos a horizontes superficiales del suelo.

TRANSFORMACIONES DEL NITRÓGENO EN EL SUELO

En los ecosistemas naturales y agrícolas, el nitrógeno es transformado de unas formas a otras dependiendo de las condiciones medioambientales, tales como pH, temperatura, humedad, y mediante la acción de distintos microorganismos. Las transformaciones y flujos del nitrógeno en la naturaleza conforman el Ciclo del Nitrógeno. El balance de todos estos procesos, indica la cantidad de nitrógeno disponible y asimilable por las plantas y, por lo tanto, el que hay que aportar a través de la fertilización.

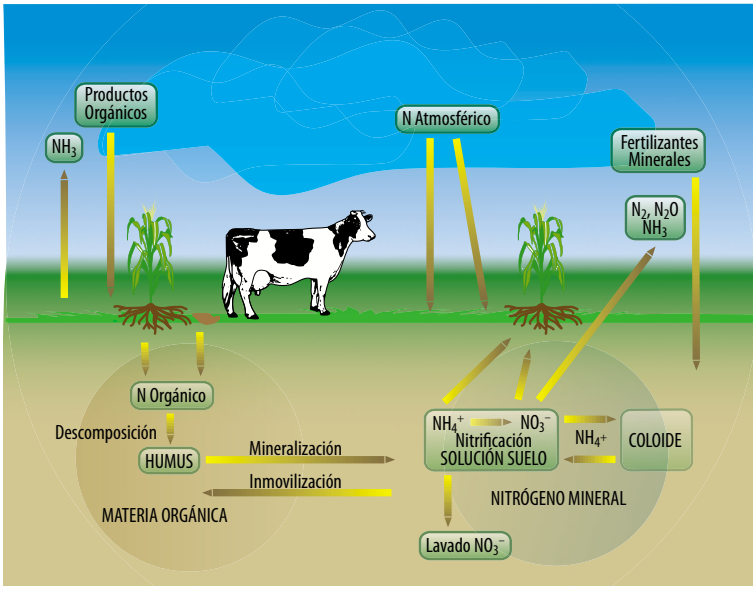
Desde el punto de vista del sistema atmósfera-suelo-planta, se producen ganancias de nitrógeno por deposición atmosférica, por el aportado en el agua de riego (tabla 3.1), por fijación microbiana, por mineralización de la materia orgánica (tabla 4.2) o por la propia fertilización, tanto orgánica como mineral. A su vez y de manera simultánea se producen pérdidas por lavado, volatilización, desnitrificación e inmovilización.

NECESIDADES DE NITRÓGENO DE LOS CULTIVOS

La determinación de las dosis de fertilizante y de los momentos de aplicación a los cultivos es un proceso complejo que depende del cultivo, del rendimiento esperado, de los nutrientes disponibles en el suelo y de sus transformaciones a lo largo del ciclo de cultivo, y de las condiciones climáticas.

Las necesidades de nitrógeno dependen de la especie, de la variedad, del rendimiento potencial y de la calidad de la cosecha. A lo largo del ciclo de cultivo las necesidades son distintas: en los cereales de invierno son más importantes en el ahijado y el encañado, mientras que en cultivos arbóreos las necesidades son máximas durante la floración y cuajado de los frutos.

Figura 9.1. Ciclo del Nitrógeno



Fuente: Elaboración propia

TRANSFORMACIONES DEL NITRÓGENO EN EL SUELO

MINERALIZACIÓN

Los microorganismos del suelo utilizan la materia orgánica para tomar la energía que necesitan para vivir. Durante este proceso se liberan nutrientes para las plantas como nitrógeno, fósforo y potasio. El nitrógeno orgánico, es transformado en amonio y este proceso es conocido como mineralización de la materia orgánica. Se estima que entre el 1 y 3% del nitrógeno orgánico es mineralizado anualmente por acción de los microorganismos, en un suelo templado.

$C_3\text{-}NH_2 \rightarrow C_2\text{=}NH \rightarrow NH_4^+$

NITRIFICACIÓN

El amonio puede ser utilizado por las plantas pero la mayor parte es transformado en nitrato en dos etapas, en condiciones aerobias, y por la acción de dos grupos de bacterias, las nitrosomonas y las nitrobacter. La humedad y aireación del suelo influyen muy positivamente en este proceso, siendo también determinantes la temperatura y el pH.

$NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$

DESNITRIFICACIÓN

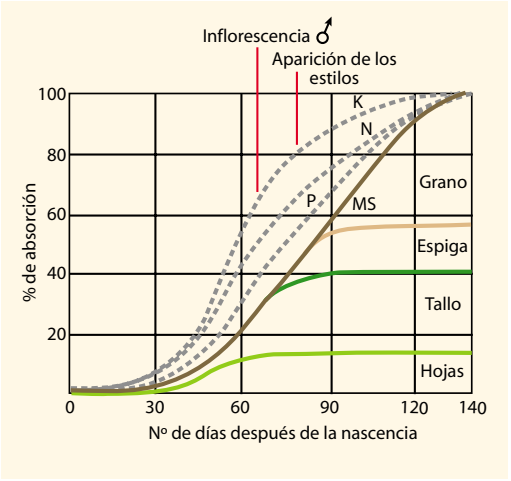
En condiciones de escasez de oxígeno, determinados microorganismos reducen el nitrato a NO, N_2O y N_2. La desnitrificación está ligada a la cantidad de oxígeno presente en el suelo, el pH y la temperatura.

$NO_3^- \rightarrow N_2O \rightarrow N_2\uparrow$

INMOVILIZACIÓN

La población microbiana del suelo utiliza las formas minerales del nitrógeno para formar proteínas. Este proceso supone una competencia para el cultivo por el nitrógeno mineral del suelo y se denomina inmovilización. Los microorganismos al morir pasan a ser fuente de nitrógeno orgánico, que de nuevo debe sufrir el proceso de mineralización. Este proceso está afectado, al igual que la mineralización, por la humedad, pH, aireación, etc.

Figura 9.2. Crecimiento del maíz y absorción de elementos nutritivos



Fuente: Adaptado Darpoux y Debelley (1967)

En la aplicación de elementos nutritivos debe tenerse en cuenta el destino final del cultivo: alimentario, industrial, etc. Así, la cantidad y momentos de aplicación de nitrógeno en un cultivo de cebada determinan el contenido en proteína del grano y, en función de este, podrá ser destinado o no, a la producción de cerveza. De la misma manera, se ha demostrado la influencia de la fertilización de la colza en la calidad de las semillas para la producción de biodiesel.

Las necesidades nutritivas se determinan a través de ensayos de campo y de los análisis foliares en diferentes estadíos del desarrollo vegetativo. Por otra parte, es fundamental la experiencia acumulada por el agricultor en cada zona, que conoce, de manera empírica, la fertilidad de sus suelos y su respuesta, y las necesidades de los cultivos.

La literatura científica aporta información muy valiosa sobre las necesidades en nutrientes de los cultivos y sus diferentes variedades. En este apartado no se indican las extracciones de cada cultivo que se incluirán en la parte II de esta Guía.

NITRÓGENO MINERAL DISPONIBLE Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA

La cantidad de nitrógeno que es necesario aportar a través de la fertilización orgánica y mineral se determina partiendo de las necesidades de los cultivos y teniendo en cuenta todas las fuentes de entrada y salida de nitrógeno, para asegurar que la disponibilidad en nitrógeno es la adecuada en cada momento del ciclo vegetativo.

Cultivo de maíz en regadío

BALANCE DEL NITRÓGENO

ENTRADAS ABSOLUTAS
- Deposición atmosférica: 8 kg/ha (1)
- Fijación biológica de las leguminosas, en función de las especies: 15-150 kg/ha
- Residuos de cosechas
- Aporte del agua de riego
- Aporte de los fertilizantes orgánicos
- Aporte de los fertilizantes inorgánicos

ENTRADAS RELATIVAS
- Mineralización de la materia orgánica

SALIDAS ABSOLUTAS
- Lixiviación: mínima si se realizan Buenas Prácticas Agrícolas
- Erosión: mínima en un suelo agrícola bien manejado
- Exportación por las malas hierbas.
- Desnitrificación en los suelos encharcados, ácidos y fríos: 20-30 kg/ha
- Volatilización (aportaciones orgánicas y minerales): 10 kg/ha (1)
- Extracción por los cultivos

SALIDAS RELATIVAS
- Inmovilización del nitrógeno mineral del suelo

(1) Valores medios del BNAE elaborado por el MARM-Año 2006

El análisis de los componentes del balance del nitrógeno de cada explotación, permite considerar los factores que se deben tener en cuenta a la hora de efectuar una recomendación de fertilización. El balance debe ser considerado a medio plazo ya que, como se ha indicado, las transformaciones del nitrógeno en el suelo son constantes, y la correcta nutrición de las plantas depende del nitrógeno mineral presente en cada momento en el suelo.

La cantidad de nitrógeno que aportan al sistema la deposición atmosférica, en su caso la fijación biológica, así como las pérdidas por lixiviación, erosión, desnitrificación y volatilización pueden calcularse de manera teórica según las condiciones edafoclimáticas de la zona.

El contenido en nitrógeno total, determinado mediante análisis del suelo, no es suficiente para conocer la cantidad de nitrógeno disponible por los cultivos. El nitrógeno total nos indica todas las formas de nitrógeno, orgánico e inorgánico, cualquiera que sea su estado, asimilable o no, y es muy variable en el tiempo.

Los aportes de nitrógeno por mineralización de la materia orgánica del suelo procedente de los restos de cosecha, de la fertilización con estiércoles, purines, restos de cosechas y de otras posibles fuentes orgánicas, deben de ser inter-

pretados a partir de algunas determinaciones analíticas efectuadas en el laboratorio.

Materia orgánica: la determinación analítica de la materia orgánica, MO, que puede referirse a la total o al humus estable, es esencial para conocer las aportaciones de nitrógeno mineral por su mineralización progresiva a lo largo del ciclo de cultivo. La velocidad de mineralización depende de factores como el origen de la materia orgánica, el contenido en arcilla, el pH y el carbonato de calcio presente en el suelo.

Los suelos arcillosos suelen tener un nivel de materia orgánica más elevado que los suelos arenosos, ya que la mineralización es más lenta por la falta de aireación del suelo. Por el contrario, los suelos arenosos, con menos del 10% de arcilla, suelen presentar una fuerte mineralización por la aireación excesiva y conviene que tengan un nivel algo más alto de MO. En los suelos calizos se favorece la destrucción de la MO.

Relación C/N: indica la potencialidad del suelo para transformar la materia orgánica en nitrógeno mineral. De manera general se considera que una relación C/N entre 10 y 12 produce una correcta liberación de nitrógeno, mientras que valores por encima o por debajo de esta cifra, provocan liberaciones muy escasas o excesivas.

Explotación cerealista abonada con fertilizantes nitrogenados

El nivel de MO y la relación C/N proporcionan información sobre el nitrógeno asimilable que el suelo va a producir a lo largo del ciclo de cultivo. El nitrógeno que se libere a partir de la materia orgánica del suelo tendrá importancia en el abonado sólo cuando suponga cantidades significativas.

Los suelos españoles presentan, mayoritariamente, contenidos en MO entre el 1 y 2%, y pueden aportan al suelo entre 15 y 30 kg de N/ha en el caso de tierras fuertes y climas fríos, y entre 30 y 60 kg de N/ha en el caso de suelos arenosos y climas cálidos (tabla 4.2).

Para el cálculo de la fertilización nitrogenada hay que considerar, no solo los balances netos de mineralización e inmovilización, sino en qué momento se producen ya que, de este balance, depende que exista nitrógeno disponible en el suelo en los momentos de máxima necesidad de los cultivos. De esta manera se determinan, no solo la cantidad de nitrógeno a aportar, sino en qué momentos, sementera y cobertera.

El nitrógeno mineral (Nmin) es un índice de la disponibilidad de nitrógeno a lo largo del período del crecimiento de un cultivo, tanto en la cantidad como en su distribución en el perfil del suelo. Es una forma práctica que obvia el cálculo de la mineralización del nitrógeno orgánico que es complejo. La medida del nitrógeno mineral no suele presentar problemas.

Algunos estudios han indicado que las medidas del nitrógeno mineral antes del cultivo o en el comienzo de la primavera en los cereales de invierno y en estado V2-V4 en maíz, proporcionan una información válida para realizar una correcta fertilización nitrogenada en cobertera. Ésta se calcula con la diferencia entre el nitrógeno mineral requerido por el cultivo y la cantidad que puede suministrarle el suelo.

Dependiendo del momento en el que se desee que el nitrógeno esté disponible para el

cultivo se utilizarán unas u otras formas químicas, es decir unos u otros fertilizantes y, si se pretende un mayor aprovechamiento y unas menores pérdidas, deberán realizarse aplicaciones fraccionadas.

La primera aplicación de nitrógeno se efectuará en presiembra, aunque las necesidades sean pequeñas. Esta aplicación debe cubrir las necesidades de nitrógeno desde la siembra hasta la primera cobertera, cuando empiezan las mayores necesidades del cultivo.

NITRÓGENO Y MEDIO AMBIENTE

El nitrógeno ha sido determinante en el incremento de las producciones agrarias en los últimos cincuenta años. La síntesis de amoniaco a partir del nitrógeno del aire y su posterior transformación en fertilizantes nitrogenados ha permitido, junto con la utilización de otros medios de producción, el incremento de los rendimientos de la mayoría de los cultivos hasta los niveles actuales. Distintos estudios han demostrado que una tercera parte del incremento de la producción mundial de cereales en los años setenta y ochenta se debe al aumento del uso de fertilizantes.

Sin embargo, cuando el nitrógeno no se utiliza de manera adecuada, puede tener efectos negativos sobre el medio ambiente. Los problemas más importantes que puede generar el nitrógeno son:

Lixiviación: debido a su movilidad, el nitrógeno nítrico puede ser arrastrado a capas profundas del suelo y pasar a las aguas subterráneas. Factores tales como la textura del suelo, el manejo del agua de riego, la fertilización orgánica, el momento y la cantidad de fertilizante mineral que se aplique, las prácticas culturales, los tipos de cultivo, etc., influyen en que el proceso de lixiviación sea mayor o menor.

La aplicación de la dosis y forma adecuada de nitrógeno a los cultivos, en el momento en que éstos lo necesitan, minimizan las pérdidas por lavado. Sólo cuando la dosis de nitrógeno que se utiliza excede las necesidades de los cultivos, aumenta el riesgo de lavado.

Volatilización: la Agencia Europea de Medioambiente estima que el 90% del amoniaco emitido a la atmósfera es de origen agrario, siendo la ganadería la responsable del 74% de estas emisiones.

Las pérdidas por volatilización son muy variables según los tipos de fertilizantes que se empleen. Los abonos amoniacales y la urea, cuyas pérdidas por volatilización pueden ser más elevadas, deben aplicarse adecuadamente para minimizarlas. Para la urea pueden seguirse los consejos que se indican en el Código de Buenas Prácticas de la Urea, en el capítulo 7.

La volatilización se ve favorecida en suelos con pH elevado, alta temperatura, fuerte velocidad del viento, etc. Por el contrario, disminuye en suelos con gran capacidad de infiltración, alto contenido en arcilla y carbono orgánico, aplicando riegos ligeros tras el abonado, incorporando el fertilizante al suelo, etc.

Emisiones de óxidos de nitrógeno: se estima que los fertilizantes son responsables del 17% de las emisiones de N_2O antropogénico. Las emisiones de N_2O son provocadas fundamentalmente por la desnitrificación y, en mucha menor medida, por la nitrificación. La cantidad de nitrógeno presente en el suelo, el carbono orgánico y las condiciones anaeróbicas favorecen la desnitrificación.

El agricultor, con un buen manejo de las labores y procurando mantener una buena estructura y un contenido adecuado en materia orgánica, puede influir, muy positivamente, en la reducción de este proceso.

EFMA, ha recogido y divulgado, en los Códigos de Buenas Prácticas Agrarias para el Nitrógeno, una serie de pautas de utilización para los fertilizantes nitrogenados. Este Código ha sido elaborado en base a la gran experiencia acumulada por los fabricantes de fertilizantes europeos respecto a la aplicación del contenido de la Directiva de la U.E., 91/676/EEC, relativa a la protección de las aguas de la contaminación causada por nitratos de origen agrario. Por su interés práctico, reproducimos un resumen del mismo.

El nitrógeno aumenta el contenido en proteínas del trigo

CÓDIGO DE BUENAS PRÁCTICAS AGRARIAS PARA EL NITRÓGENO (EFMA)

El objetivo de este código es dar unas pautas del uso adecuado de los fertilizantes nitrogenados y evitar una posible contaminación de la atmósfera y del agua.

1. BALANCE DE NUTRIENTES

Debe determinarse la cantidad de nitrógeno necesario para el cultivo y el nitrógeno disponible en el suelo.

El nitrógeno requerido por el cultivo se determina considerando los experimentos de campo y las recomendaciones establecidas en cada zona.

El nitrógeno que hay al final del invierno en el suelo es muy variable y debe ser determinado a través del análisis del suelo. La mineralización del nitrógeno de la materia orgánica durante la época de crecimiento se tendrá en cuenta al hacer el balance de nitrógeno.

La disponibilidad de nitrógeno del suelo varía con el tiempo y depende de la fuente de materia orgánica, las características del suelo y el clima.

La disponibilidad de nitrógeno aportado por el fertilizante nitrogenado también varía con el tiempo y depende del tipo de fertilizante, la forma (líquido o sólido) y la técnica de aplicación.

Los compuestos nitrogenados se transforman de forma natural en el suelo y cuando pasan a nitratos pueden producirse lixiviaciones en el suelo. El fertilizante nitrogenado se utilizará de acuerdo a la demanda del cultivo para evitar pérdidas.

(Continuación)

2. PLAN DE FERTILIZACIÓN

Un plan de fertilización, tendrá en cuenta el valor nutricional de los productos reciclados por el agricultor. Los abonos orgánicos, deyecciones y residuos se aplicarán en primer lugar y se utilizarán los fertilizantes nitrogenados como suplemento.

El nitrógeno interactúa con otros nutrientes: fósforo, potasio, azufre y con micronutrientes. Un plan equilibrado de fertilización deberá asegurar la correcta dosis de cada nutriente.

Se seleccionará el fertilizante más apropiado y eficiente. Igualmente se calculará la dosis en función del contenido, forma química y tiempo que puede transcurrir hasta que la planta lo absorba, considerando las características del suelo, clima y las necesidades nutritivas del cultivo.

Las aplicaciones de fertilizante se realizarán según las épocas de absorción de nutrientes por el cultivo. El fraccionamiento de las aplicaciones puede ser necesario, sobre todo en cultivos de invierno, para maximizar así la absorción de nutrientes y prevenir las pérdidas. En cultivos de regadío, se deben hacer varias aportaciones a lo largo del ciclo y a continuación aplicar el riego.

El fertilizante se aplicará con precisión, usando la técnica más apropiada: espolvoreado, pulverizado o localizado. Las abonadoras se calibrarán y se aplicarán fertilizantes con una buena calidad física que facilite un reparto uniforme en el terreno.

El plan de fertilización debe revisarse si las condiciones climáticas se hacen extremas o el crecimiento y desarrollo del cultivo se interrumpen.

3. PRÁCTICA DE LA FERTILIZACIÓN PARA LA PROTECCIÓN DEL AGUA

Se deberán seguir los Códigos de Buenas Prácticas Agrarias que aconsejan o regulan sobre los siguientes aspectos:

- Épocas menos apropiadas para abonar.
- Aplicación de fertilizantes en terrenos escarpados.
- Aplicación de fertilizantes en suelos encharcados, inundados, helados o nevados.
- Condiciones para la fertilización en terrenos cercanos a cursos de aguas.
- Capacidad y construcción de las balsas de estiércol, incluyendo medidas para evitar la contaminación del agua por la escorrentía y percolación a los acuíferos.
- Procedimientos para la aplicación homogénea del fertilizante mineral u orgánico.
- Manejo del suelo, incluyendo sistemas de rotación de cultivos que mantengan una adecuada proporción de parcelas dedicadas a cultivos permanentes en relación con los cultivos anuales.
- Mantenimiento de una mínima superficie de cobertura vegetal durante los periodos de lluvias, que absorba el nitrógeno que podría ser causa de la contaminación del agua.
- Establecimiento de planes de fertilización, finca por finca, y un registro del fertilizante utilizado.

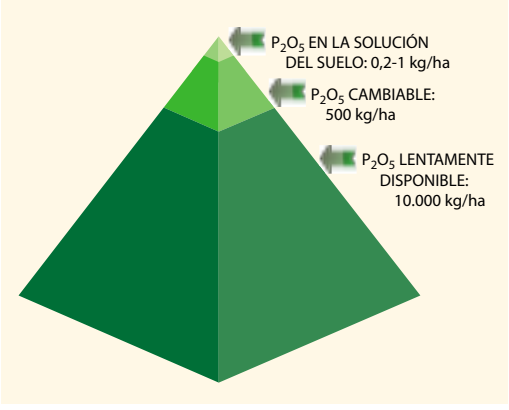
10 FERTILIZACIÓN FOSFATADA

FORMAS DEL FÓSFORO EN EL SUELO

El fósforo se encuentra en el suelo formando parte de diferentes minerales tales como fosforita, apatito, etc. También en compuestos orgánicos, asociado a la materia orgánica y como parte de los microorganismos. Además, existen formas iónicas libres en la solución del suelo y fijadas al complejo arcillo-húmico.

Desde el punto de vista agronómico el fósforo puede estar presente en el suelo en cuatro formas: en la solución del suelo, es decir, directamente asimilable; fijado en el complejo arcillo-húmico, por tanto cambiable o lábil; como componente de la materia orgánica, precipitado o adsorbido en los geles de hierro y aluminio, en suelos ácidos, y precipitado como fosfato cálcico en suelos básicos, muy lentamente asimilable y; formando parte de la roca madre, no asimilable. (Figura 10.1).

Figura 10.1. Formas del fósforo en el suelo



Fuente: Fertiberia (2005)

TRANSFORMACIONES DEL FÓSFORO EN EL SUELO

El fósforo de la solución del suelo está en equilibrio con las diversas fracciones y formas en las que está presente en el suelo. La reacción de equilibrio, en la que interviene la absorción de este elemento por las plantas, se rige por una serie de procesos complejos que se han representado en el figura 10.2.

NECESIDADES DE FÓSFORO DE LOS CULTIVOS

La cantidad de fósforo y los momentos puntuales de necesidad en este elemento dependen de la especie, de la variedad, del rendimiento potencial y por supuesto, de la calidad de la cosecha.

Figura 10.2. Formas y evolución del fósforo en el suelo

Fuente: Fertiberia (2005)

Al igual que para el resto de nutrientes, las necesidades de cada cultivo se determinan cuantificando la respuesta de cada uno a la aplicación de diferentes dosis de fósforo, mediante ensayos de campo. Por otra parte, es de gran interés la determinación de los contenidos en fósforo en plantas para determinar su correcta nutrición, definida a través del análisis de plantas bien desarrolladas.

TRANSFORMACIONES DEL FÓSFORO EN EL SUELO

FIJACIÓN

Es la reacción de formas solubles con compuestos orgánicos e inorgánicos para dar lugar a formas insolubles de fósforo, al menos en el corto plazo. En este proceso influye de manera determinante el pH. La fijación puede producirse de las siguientes formas:

- Adsorción en las arcillas: intercambio con grupos hidroxilo asociados o no a Fe y Al.
- Precipitación en compuestos de Fe y Al.
- Precipitación en suelos calizos: fosfatos bicálcicos y tricálcicos.
- Ligado a la materia orgánica (humofosfatos).

MINERALIZACIÓN

Por acción de microorganismos del suelo, las moléculas orgánicas que contienen fósforo son capaces de liberar ácido fosfórico. La cantidad del fósforo mineralizado depende de la humedad, pH, relación C/P, etc.

SOLUBILIZACIÓN

El proceso de absorción de las plantas del fósforo soluble en la solución del suelo pone en marcha la reacción de equilibrio que está relacionada con la capacidad de adsorción del suelo. El proceso de solubilización, fósforo en solución-fósforo adsorbido, depende de la capacidad de cada suelo.

INMOVILIZACIÓN

El fósforo, al igual que el nitrógeno, es utilizado por los microorganismos del suelo para formar su propio protoplasma y compite así con las plantas. La cantidad de fósforo mineral que pasa a orgánico es pequeña y además es temporal, ya que el fósforo contenido en los microorganismos se incorpora de manera rápida al suelo tras su muerte.

La bibliografía facilita las extracciones que cada cultivo lleva a cabo a lo largo de todo su ciclo vegetativo.

FÓSFORO ASIMILABLE Y FERTILIZACIÓN FOSFATADA

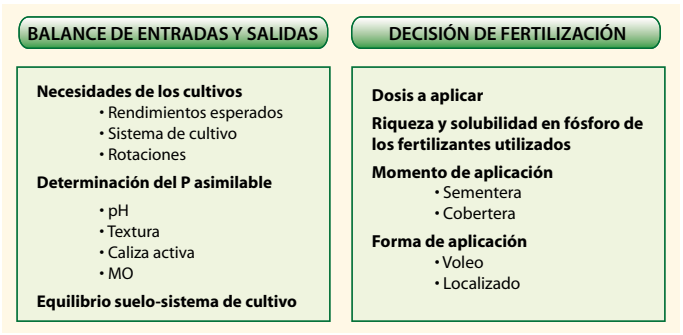
La fertilidad de un suelo en lo que al fósforo se refiere, se definiría como la capacidad del suelo de suministrar a los cultivos las cantidades que precisa, y en los momentos puntuales en los que es necesaria su absorción.

Las características físicas y químicas del suelo determinan la capacidad y ritmo al que el suelo es capaz de reponer el fósforo que las plantas van tomando de la solución. En este proceso influyen, fundamentalmente, la textura, el pH, la caliza activa y la materia orgánica.

En definitiva, la fertilidad del suelo en fósforo es la cantidad de fósforo asimilable presente y, entendemos por asimilable, la fracción extraíble con ácidos débiles a una concentración definida. En los laboratorios agronómicos se utilizan el método Olsen, que emplea como extractante el bicarbonato sódico, muy adecuado para suelos básicos, y el método Bray, válido para condiciones ácidas.

Deficiencia de fósforo en maíz

Figura 10.3. Determinación de la fertilización fosfatada



Fuente: Elaboración propia

Además de la determinación analítica del fósforo en el laboratorio, para el cálculo de la fertilización fosfatada se deben de tener en cuenta los factores que van a influir en la asimilabilidad de este elemento. De este modo, una vez definidos los contenidos en fósforo en el suelo y las necesidades del cultivo, se considerarán los siguientes factores:

Textura del suelo: en suelos arenosos, con menor poder de retención de agua, a igual contenido en fósforo asimilable, mayor concentración en la solución del suelo.

pH: en suelos calizos se fomentan los procesos de retrogradación o insolubilización por formación de fosfatos insolubles. Por el contrario, los suelos ácidos favorecen los procesos de mineralización y solubilización.

De esta manera, se pueden indicar los siguientes principios básicos a la hora de fertilizar con fósforo:

- En suelos con contenidos en fósforo, normales o altos, la fertilización debe tener por objetivo mantener la fertilidad del suelo, es decir, realizar un abonado de mantenimiento. El abonado debe coincidir con las extracciones de los cultivos siempre que el pH se aproxime a la neutralidad. Si el pH es muy básico se abonará con cantidades adicionales,

mayores cuanto más arcillosa sea la estructura del suelo.

- En suelos pobres en fósforo el abonado debe cubrir las necesidades del cultivo, abonado de mantenimiento, y las necesidades para enriquecer el suelo. Se aportarán cantidades mayores cuanto mayor sea el pH del suelo y mayor su contenido en arcilla.
- En suelos ricos y muy ricos en fósforo se deberán reducir las dosis de mantenimiento e incluso suprimirlas, en mayor medida cuando se trate de suelos básicos, con gran contenido en arcilla.

Las aplicaciones de fósforo pueden ser en presiembra o coincidiendo con la siembra. El fósforo se aplica normalmente junto con la primera aportación de nitrógeno y potasio. El abonado fosfatado se hará con mayor anticipación cuanto menor sea la solubilidad del abono que se emplee.

Se recomiendan aportaciones en cobertera en el caso de suelos pobres en fósforo, con caliza activa y por tanto con riesgo de retrogradación, y tras periodos de heladas, inundaciones, etc.

El fósforo favorece la maduración del grano del cereal

FÓSFORO Y MEDIO AMBIENTE

Un contenido equilibrado en nitrógeno, fósforo y otros elementos como el cobalto, níquel, hierro y molibdeno es esencial para el crecimiento de las algas y demás especies en las aguas continentales y marítimas. Por el contrario, contenidos excesivos en estos nutrientes, sobre todo nitrógeno y fósforo, producen el crecimiento excesivo de la biomasa de algas, fenómeno que se conoce como eutrofización.

La *eutrofización* es más acusada en aguas estancadas, lagos y embalses, ya que la menor renovación favorece la acumulación excesiva de los nutrientes. Sin embargo, en aguas en movimiento, ríos y mares, la continua renovación del agua limita la concentración.

El aumento de la biomasa de algas debido a la eutrofización, exige cantidades adicionales de oxígeno para su descomposición, lo que afecta a la fauna acuática llegando a provocar incluso la muerte de las especies más exigentes.

En la mayoría de los casos, el fósforo es el factor limitante del crecimiento de las algas en aguas continentales, de modo que, aunque es la relación N/P la que va a determinar o no la aparición de problemas de eutrofización, se considera que el control del fósforo, es la manera más eficaz de evitarlo.

Desde el punto de vista agrícola, las pérdidas de fósforo proceden de:

- La lixiviación, que cuantitativamente carece de importancia ya que la concentración de fósforo en la solución del suelo es pequeña.
- La erosión de suelos con excesivos aportes de fósforo a través de la fertilización. El riesgo de eutrofización se produce en suelos sometidos a fuertes procesos erosivos.

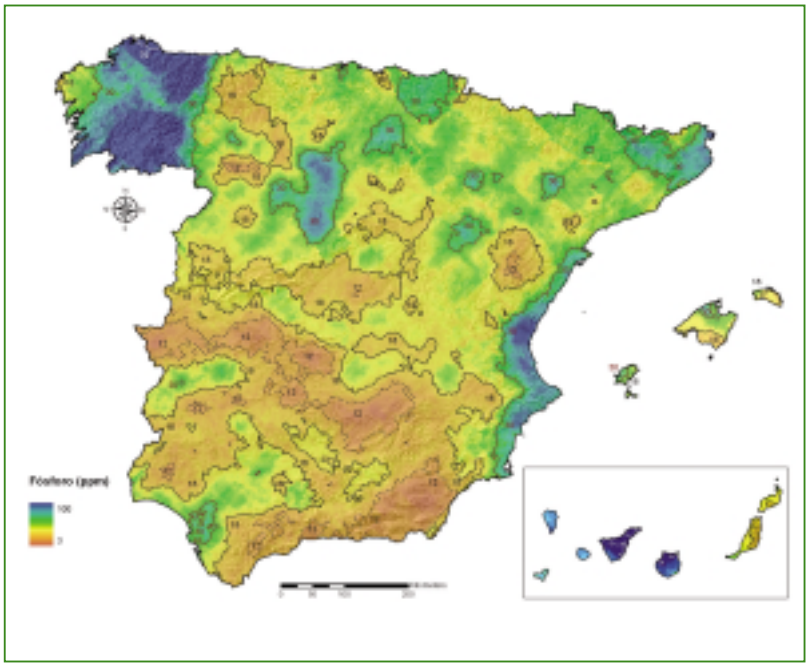
La relación entre la aplicación de fósforo agrícola y la eutrofización, no es tan directa como pudiera considerarse en un principio. La complejidad de los procesos que se desarrollan en ríos, lagos, mares, etc., hacen difícil establecer una clara relación causa efecto y por lo tanto, identificar soluciones a este problema. No obstante, la fertilización debe practicarse atendiendo a los más rigurosos criterios de sostenibilidad.

CONTENIDO EN FÓSFORO DE LOS SUELOS ESPAÑOLES

En este apartado se presenta los resultados de un estudio realizado por el INIA sobre el contenido en fósforo asimilable, Olsen, de los suelos agrícolas de España en una muestra de 3.751 suelos.

Se incluye asimismo la valoración que el INIA propone de los suelos de cultivo en función del contenido en fósforo y en base a su textura (tabla 10.1).

Mapa 10.1. Contenido en fósforo asimilable de los suelos españoles



Fuente: INIA (2009)

Tabla 10.1. Niveles de fósforo en el suelo según la textura

Fósforo (ppm)	Arenoso	Franco	Arcilloso
Muy bajo	0-4	0-6	0–8
Bajo	5-8	7-12	9–16
Medio	9-12	13-18	17-24
Alto	13-20	19–30	25–40
Muy alto	21-32	31-48	41–64

Fuente: INIA (2009)

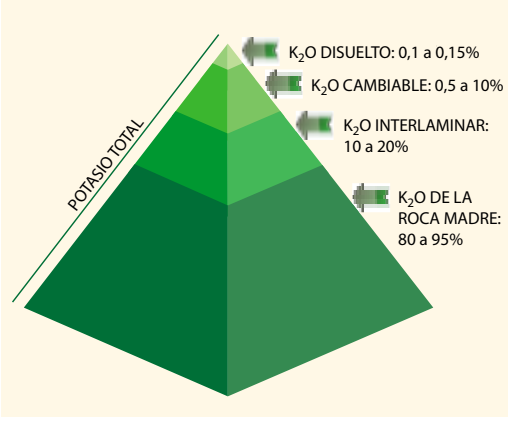
11 FERTILIZACIÓN POTÁSICA

FORMAS DEL POTASIO EN EL SUELO

El potasio se encuentra en el suelo en distintos silicatos que forman parte de las rocas de origen magmático tales como micas, feldespatos, etc. También se combina con la materia orgánica, aunque por su escasa transformación en formas minerales es poco importante. Además existen formas iónicas libres en la solución del suelo, adsorbidas en el complejo de cambio y fijadas en determinadas arcillas.

Agronómicamente, podemos clasificar las formas de potasio en los siguientes tipos: en la solución del suelo, lo que significa que es directamente asimilable; cambiable, es decir, fijado en la superficie de las arcillas y en el complejo arcillo-húmico, interviniendo en el intercambio catiónico con la solución del suelo; interlaminar, situado entre las láminas de arcilla muy difícilmente disponible para las plantas y; la fracción mineral, no utilizable por las plantas y liberado muy lentamente por meteorización y por la acción de determinadas bacterias (Figura 11.1).

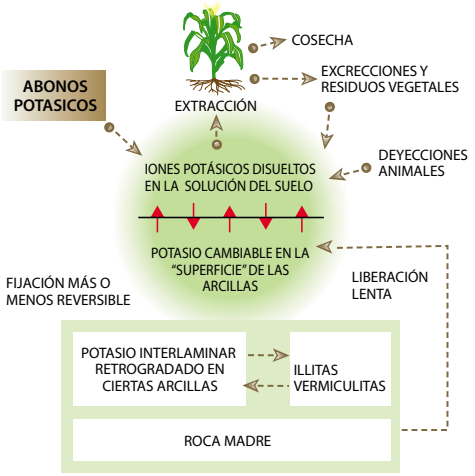
Figura 11.1. Formas del potasio en el suelo



Fuente: Fertiberia (2005)

El potasio mejora la calidad de las uvas

Figura 11.2. Formas y evolución del potasio en el suelo



Fuente: Fertiberia (2005)

TRANSFORMACIONES DEL POTASIO EN EL SUELO

Las formas iónicas del potasio, disueltas en la solución del suelo, se encuentran en equilibrio con el resto de fracciones en las que está presente. La evolución del potasio en la solución del suelo está representada en la figura 11.2.

NECESIDADES DE POTASIO DE LOS CULTIVOS

Debido a su baja carga y pequeño radio iónico, el potasio es fácilmente absorbido por las raíces sobre todo por difusión, pudiendo incluso absorberse cantidades superiores a las necesarias sin que por ello se produzcan efectos negativos.

La cantidad de potasio y los momentos claves de necesidad en este elemento dependen, al igual que los del resto de nutrientes, del cultivo, de la producción esperada, de la climatología, de las características químicas y físicas del suelo, del sistema radicular, etc.

Las necesidades de los cultivos se determinan de manera empírica y a través de análisis foliares. Las necesidades en potasio de los principa-

EVOLUCION DEL POTASIO EN EL SUELO

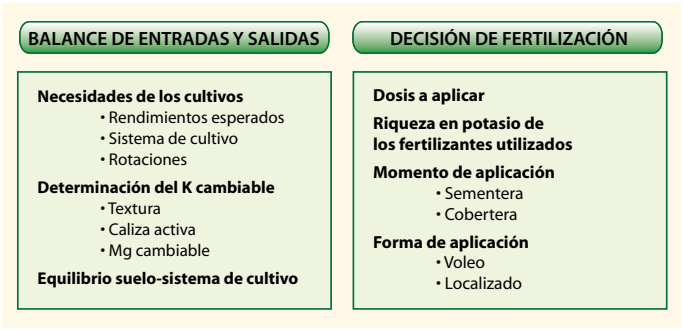
RETROGRADACIÓN
Es la fijación del potasio en los espacios interlaminares de las arcillas, que depende de la naturaleza de las mismas y del intercambio con otros cationes. La retrogradación es mayor en presencia de arcillas tipo 2:1 como las vermiculitas.

MINERALIZACIÓN
Es muy poco significativa a pesar de la gran cantidad de potasio que contiene la MO. Representa sólo un 1% del peso de la MO.

SOLUBILIZACIÓN
La absorción por las plantas del potasio soluble en la solución del suelo activa el intercambio con la fracción cambiable. A medida que se va agotando el potasio de la solución del suelo, se va reponiendo con el potasio retenido en la superficie de las arcillas y de la MO.

METEORIZACIÓN
Es poco importante desde el punto de vista agronómico por el ritmo al que se efectúa.

Figura 11.3. Determinación de la fertilización potásica



Fuente: Elaboración propia

les cultivos de España, se indicarán en los capítulos dedicados al abonado de cada uno de ellos.

FERTILIZACIÓN POTÁSICA

Una vez determinadas las características físicas y muy especialmente el tipo de arcillas del suelo, así como las propiedades químicas, en particular el contenido en potasio cambiable, el calcio activo y el magnesio de cambio, y en función del potasio extraído por las cosechas y los restos de las mismas, se calculan las cantidades de potasio a añadir a través de la fertilización.

La movilidad de este elemento aconseja que, sobre todo en sistemas de regadío, se consideren las pérdidas por lavado. Además, los ritmos de absorción de potasio por los cultivos son muy diferentes según los distintos sistemas de laboreo, convencional o mínimo.

Además de cuantificar el contenido de potasio cambiable en el suelo, para calcular la fertilización potásica hay que considerar los factores que van a determinar la disponibilidad de este elemento para los cultivos:

Textura del suelo y tipo de arcillas: en suelos arenosos, con menor poder de retención de agua, a igual contenido en potasio asimilable, mayor concentración en la solución del suelo.

Cuanto mayor es el contenido en arcilla, mayor es su capacidad de fijación de iones potasio, en la superficie e interlaminarmente.

Relación entre los cationes de cambio: además de los contenidos absolutos en potasio, debe de analizarse la relación y contenido del resto de cationes: Ca, Mg y Na. Un exceso en Ca cambiable interfiere en la asimilación de Mg y K y, un exceso de Mg puede inducir carencias de K.

La fertilización potásica debe seguir los siguientes principios básicos:

- En suelos con contenidos en potasio, normales o altos, la fertilización debe tener por objetivo mantener la fertilidad del suelo en los niveles naturales. El abonado debe coincidir con las extracciones de los cultivos considerando las posibles pérdidas por lixiviación, dada la movilidad de este elemento.
- En suelos pobres en potasio, el abonado debe cubrir las necesidades del cultivo, abonado de mantenimiento, y las necesidades para enriquecer el suelo. Se deben saturar los espacios interlaminares de las arcillas y las zonas superficiales. Los suelos arcillosos deben recibir cantidades adicionales de potasio y en suelos arenosos, se deben aplicar dosis suplementarias para compensar las pérdidas por lavado.
- En suelos ricos en potasio, el abonado deberá reducirse en función del contenido en arcillas del mismo.
- Los suelos con exceso de potasio pueden presentar problemas de salinidad y carencias de magnesio por el antagonismo K/Mg. En estos casos se suprimirá el abonado hasta que el análisis posterior indique un cambio de condiciones.

Igual que se indicó para el fósforo, el potasio se aplica en presiembra o en siembra junto con este elemento y el nitrógeno. Se aconsejan aportaciones más tempranas en el caso de aplicación de fertilizantes con cloruro potásico, por su influencia sobre la salinidad del suelo.

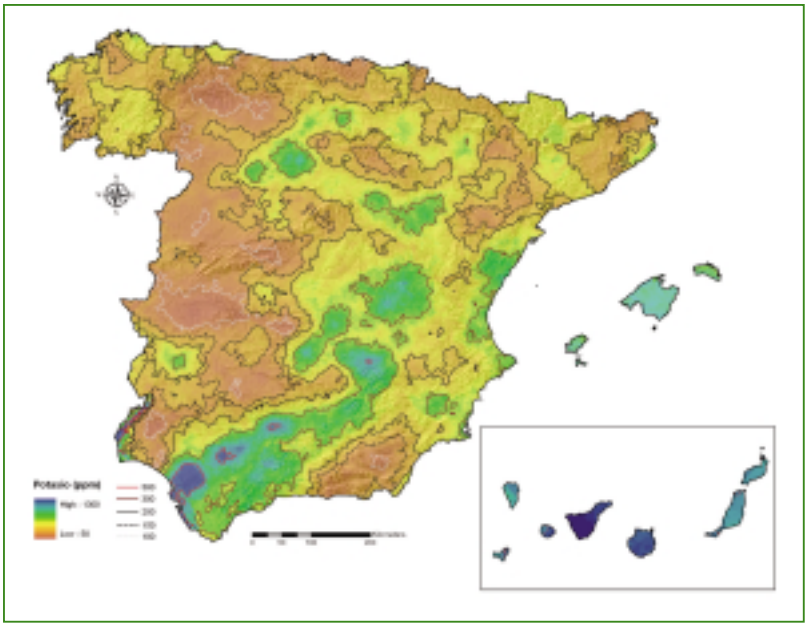
En determinados cultivos, el fraccionamiento del potasio es muy eficaz, tales como frutales, praderas, alfalfares, etc.

CONTENIDO EN POTASIO DE LOS SUELOS ESPAÑOLES

En este apartado se presenta los resultados de un estudio realizado por el INIA sobre el contenido en potasio de los suelos agrícolas de España en una muestra de 3.751 suelos.

Se incluye asimismo la valoración que el INIA propone de los suelos de cultivo en función del contenido en potasio y en base a su textura (tabla 11.1).

Mapa 11.1. Contenido en potasio asimilable de los suelos españoles



Fuente: INIA (2009)

Tabla 11.1. Niveles de potasio en el suelo según la textura

Potasio (ppm)	Arenoso	Franco	Arcilloso
Muy bajo	0-60	0-80	0-100
Bajo	60-120	80-160	100-200
Medio	120-180	160-235	200-300
Alto	180-300	235-390	300-490
Muy alto	>300	>390	>490

Fuente: INIA (2009)

12 FERTILIZACIÓN CON ELEMENTOS SECUNDARIOS Y MICRONUTRIENTES

Los elementos secundarios y micronutrientes deben ser aplicados sólo cuando se considere que pueden estar carentes en el medio, o cuando el cultivo sea incapaz de obtenerlos del suelo en el estado que se encuentren. Las nuevas variedades, más exigentes, y las nuevas técnicas de cultivo, como la fertirrigación, hacen que las plantas sean más dependientes del aporte de estos nutrientes. La calidad de los productos agrícolas está relacionada con la óptima nutrición en micronutrientes y también en calcio, magnesio y azufre.

CALCIO: SITUACIÓN EN EL SUELO. ENTRADAS / SALIDAS. RECOMENDACIONES PRÁCTICAS

El contenido de calcio en el suelo es muy variable, siendo la media estimada de 1,37%, dependiendo del material original y del grado de meteorización del suelo.

En el balance de calcio del suelo hay que considerar también el calcio incorporado como enmiendas calizas, fertilizantes, el aportado en enmiendas orgánicas y el contenido en el agua de riego, mientras que las principales salidas se deben a la exportación del cultivo y a la lixiviación. Igualmente, hay que considerar el calcio retenido en las superficies de intercambio.

En suelos ácidos la fracción principal será la que esté retenida en los coloides del suelo. Una baja capacidad de intercambio catiónico y una elevada acidez, serán las causas de que el calcio no quede retenido en esos suelos y se lave. En suelos neutros, pH 6,6-7,5, es menos probable que se den problemas de falta de calcio. En suelos básicos, el calcio está generalmente en forma de caliza (carbonato cálcico), mineral que permite una adecuada disponibilidad de calcio

Deficiencia de calcio en tomate

si el pH no es muy elevado. Sin embargo, en condiciones de alcalinidad, pH> 9, la solubilidad de la caliza disminuye considerablemente y el sodio competirá con el calcio, ocasionando problemas de baja disponibilidad.

La deficiencia de calcio en los cultivos no sólo es un problema de disponibilidad en el suelo, sino que también es debida a una deficiente distribución en la planta. El calcio se mueve en la planta con la corriente de transpiración, de modo que en condiciones o en órganos de baja transpiración se puede originar deficiencia de calcio aunque la disponibilidad en el suelo sea correcta. Así, los problemas de deficiencia muchas veces se muestran en alteraciones en frutos (podredumbre apical del tomate, acorchado de la manzana y un largo etcétera), órganos de reserva como en remolacha o en hojas internas en cultivos como la lechuga, aunque aparentemente no exista una deficiencia manifiesta de calcio en el resto de la planta. La transpiración puede ser reducida por exceso de humedad en el ambiente (largos periodos lluviosos, elevada humedad en invernaderos poco ventilados, etc.).

Se consideran cuatro casos típicos de deficiencia de calcio, que plantean distintos tipos de soluciones:

Suelos ácidos muy lavados.

Se impone el encalado para además de aportar calcio, aumentar el pH del suelo, reduciendo la competencia de protones y aluminio por el calcio. Un encalado correcto debe ser realizado después de la determinación de la necesidad de cal del suelo (Método Oficial de análisis de suelos nº 12), aunque unos valores aproximados son los proporcionados en la tabla 12.1. No es conveniente modificar el pH del suelo en más de 0,5 unidades de pH por año. Para mejorar la penetración de calcio a la zona radicular se puede mezclar con hasta un 25% de yeso.

Suelos cercanos a la neutralidad con bajas relaciones Ca/K y/o Ca/Mg.

Se pueden adicionar fertilizantes cálcicos al suelo, buscando alcanzar un 80% de saturación en calcio en las superficies de intercambio y una relaciones óptimas de alrededor de Ca/K=20 y Ca/Mg=5. Para el abonado de los cultivos se utilizarán fertilizantes que incorporen también calcio como superfosfatos, nitrato cálcico, nitrato amónico cálcico, etc. Específicamente, se puede incorporar yeso (sulfato cálcico) o cloruro cálcico que puede no ser adecuado en cultivos sensibles a la salinidad. La dosis a emplear oscilará entre 100 y 300 kg/ha de CaO, en función del cultivo y el suelo.

En cultivos hidropónicos y fertirrigados, sobre todo aquellos desarrollados sobre sustratos artificiales, gran parte del calcio debe ser aplicado en la disolución nutritiva aunque se considerará el aportado por el agua de riego y la posible aplicación con el abonado de fondo. La concentración de calcio ideal en la disolución es

Tabla 12.1. Necesidades medias de caliza pura finamente dividida* para incrementar 0,5 unidades de pH al suelo en función de su pH inicial, textura y composición orgánica (t/ha)

Tipo de suelo	---------- pH inicial ----------			
	4,5-5,0	5,0-5,5	5,5-6,0	6,0-6,5
Arenoso	0,35	0,35	0,40	0,50
Franco-arenoso	0,50	0,60	0,70	0,90
Franco	0,85	0,95	1,05	1,25
Franco-limoso	1,30	1,40	1,50	1,70
Franco-arcilloso	1,60	1,80	2,00	2,50
Orgánico	3,60	3,80	4,00	4,50

*Para cualquier otro material las necesidades de caliza indicadas deben multiplicarse por 100 y dividirse por el valor neutralizante declarado.

Fuente: Cadahía (2005)

variable entre cultivos, desde 4,5 mmolc/l en disolución para cultivos como el melón hasta 10 mmolc/l para tomate y endivia.

Suelos alcalinos o sódicos

Contienen cantidades excesivas de sodio en los sitios de intercambio (contenido mayor del 15% de la CIC). La mejor fuente de calcio para sustituir este sodio es el yeso (sulfato de calcio), pero también es imprescindible mejorar el lavado con riegos abundantes con agua de buena calidad y favorecer el drenaje.

Condiciones de baja transpiración

Aparte del aporte radicular se precisa también un aporte foliar o al fruto. Para evitar disoluciones agresivas, se recomienda el uso de complejos cálcicos o también el nitrato cálcico. Cuando se aplica sobre los órganos comestibles, pocos días antes de la recolección, hay que evitar los nitratos y agentes orgánicos no degradables.

MAGNESIO: SITUACIÓN EN EL SUELO. ENTRADAS/SALIDAS. RECOMENDACIONES PRÁCTICAS

El contenido de magnesio en los suelos es variable, siendo la media estimada de 0,5%. Su dinámica en suelos sigue pautas similares al calcio: en suelos ácidos, lavados, pueden presentarse niveles bajos, mientras que en suelos básicos, poco lavados, puede llegar a valores más elevados. En suelos ácidos y neutros está presente mayoritariamente incorporado en la estructura de minerales, de forma no utilizable por las plantas.

Su disponibilidad está asociada a su presencia en las superficies de intercambio donde debe ocupar alrededor del 15% de la CIC, normalmente procedente de la meteorización de diversos aluminosilicatos que contienen magnesio, aunque también de su incorporación a través de residuos orgánicos (menos del 1% del Mg del suelo) y de la adición de encalantes o fertilizantes. Sus pérdidas se deben a la exportación de los cultivos, escorrentía y lavado del suelo.

Deficiencia de magnesio en tomate

Al contrario que el calcio, el magnesio puede ser tomado activamente por las plantas donde es relativamente móvil, por lo que su deficiencia es causada principalmente por su bajo contenido en suelo y por el antagonismo catiónico. La deficiencia de magnesio se presenta en:

Suelos lavados ácidos

Hay que encalar estos suelos y si hay deficiencia de calcio se debe añadir dolomita, para incrementar el magnesio a la vez que el calcio, y aumentar el pH.

Suelos neutros lavados o con poco Mg intercambiable, o calizos

Si los niveles de Mg asimilable están por debajo de 200 mg/kg de suelo o las relaciones K/Mg o Ca/Mg son superiores a 0,5 o 10, respectivamente, se deben aplicar fertilizantes o enmiendas magnésicas, como el sulfato magnésico, cloruro magnésico, hidróxido magnésico, kieserita, epsonita, etc.

El hidróxido magnésico puede aumentar el pH del suelo y el cloruro tiene como inconvenien-

te la incorporación de cloro, no deseable en cultivos sensibles a la salinidad. Las dosis oscilarán según la necesidad del cultivo. Valores medios podrían ser 15-30 kg/ha de MgO en cítricos, frutales y hortícolas y entre 25 y 40 kg/ha de MgO en remolacha, girasol y crucíferas.

La aplicación foliar incrementa la eficacia del Mg incorporado a través de complejos y, aunque con un mayor costo, mediante quelatos de magnesio. Se deben evitar las aplicaciones foliares de sales para disminuir el riesgo de daños en la hoja, que pueden ocasionar altos niveles de aniones, como el cloruro.

En cultivos fertirrigados y en hidroponía, el magnesio se aplicará en la disolución nutritiva, una vez que se han tenido en cuenta los niveles presentes en el agua de riego y el posible aporte del abonado de fondo. Un valor de referencia adecuado es de 2 cmolc de Mg^{2+}/l, (aproximadamente 2.500 g de un producto con un 15% de MgO por hectolitro de agua de riego), nivel que se debe aumentar si el agua de riego presenta niveles elevados de Ca^{2+} o Na^{+}.

AZUFRE: SITUACIÓN EN EL SUELO. ENTRADAS / SALIDAS. RECOMENDACIONES PRÁCTICAS

El azufre se encuentra de manera natural en el suelo procedente de minerales primarios, de la materia orgánica o de la deposición de azufre atmosférico. El contenido medio es bajo, en torno al 0,07%.

Las entradas de azufre proceden fundamentalmente de los fertilizantes: nitrosulfato amónico, sulfato amónico, superfosfatos, sulfato potásico, abonos complejos NPK fabricados con productos que contienen azufre, etc.; fungicidas como el sulfato de cobre; mineralización de la materia orgánica aportada; emisiones gaseosas, lluvia ácida; y de las aguas de riego.

El azufre es un nutriente utilizado por las plantas en cantidades similares al fósforo y, debido a la disminución de su aporte a través de deposición atmosférica, consecuencia de la desindustrialización de muchas zonas, y a que actualmente lo contienen un menor número de plaguicidas, es un elemento nutritivo cuya deficiencia en el suelo se está observando de manera muy generalizada, con lo que su aportación toma importancia. Por otra parte, hay que tener en cuenta que los sulfatos son bastantes solubles, lo que produce inevitables pérdidas por lixiviación.

Deficiencia de azufre en tomate

Las carencias de azufre en cultivos sensibles como las crucíferas, los cereales, las leguminosas, la remolacha, etc., que tienen consecuencias significativas sobre la cantidad y calidad de la cosecha, pueden solucionarse con el aporte de fertilizantes o enmiendas conteniendo es-

te elemento. El azufre elemental se puede utilizar para incrementar el contenido en suelos básicos, pero teniendo en cuenta que su principal acción es la de rebajar el pH del suelo.

MICRONUTRIENTES: SITUACIÓN EN EL SUELO. CARENCIA REAL / INDUCIDA. RECOMENDACIONES PRÁCTICAS

La denominación de micronutriente es debida a su bajo contenido en la planta, pero no por su menor importancia, ya que su carencia puede ser tan perjudicial para el desarrollo de los cultivos como la de cualquier macronutriente. Su presencia en suelos es variable considerándose como valores medios los recogidos en la tabla 12.2. Níquel y cloro no se usan como fertilizantes, por lo que no serán tratados.

Hierro

El hierro es el nutriente más abundante en casi todos los suelos. No obstante, se presentan frecuentes deficiencias de hierro para los cultivos como consecuencia de su baja solubilidad en el suelo y de la alta sensibilidad de plantas a la clorosis férrica.

La baja solubilidad del hierro en el suelo es consecuencia del alto pH de los suelos calizos, 8-9, en los que la solubilidad de los óxidos férricos es mínima. Además, en estos suelos, hay una gran presencia de ión bicarbonato que por una parte, hace que las plantas sensibles a la clorosis disminuyan su capacidad para absorber el hierro y por otro lado, tamponan el medio de manera que el pH no pueda bajar en la rizosfera, evitando puntos con posible solubilización de hierro. Condiciones como un excesivo riego, suelo frío, presencia de nematodos, etc., agrava la clorosis férrica.

En resumen, la deficiencia de hierro no es un problema de ausencia de este nutriente en el suelo, sino de las condiciones del propio suelo que impiden una adecuada solubilización y absorción por la planta.

Tabla 12.2. Contenidos medios de micronutrientes en suelos

	%
Hierro (Fe)	3.80
Manganeso (Mn)	0.06
Zinc (Zn)	0.005
Cobre (Cu)	0.003
Boro (B)	0.001
Molibdeno (Mo)	0.002

Fuente: Lindsay (1979)

La adición de hierro no es buena solución si no se utilizan productos que aseguren la permanencia en forma soluble en el suelo, y esto se logra aplicando quelatos de hierro de alta estabilidad. Entre ellos los más usados son los que tienen EDDHA, compuesto que puede presentar dos isómeros: el orto-orto de alta estabilidad y eficacia a largo plazo y el orto-para de menor estabilidad, pero de rápida respuesta. Existen productos con una elevada presencia en orto-para y otros en cuya composición sólo hay orto-orto. Lo importante es tener en cuenta la riqueza en los isómeros y no en Fe soluble, ya que si el Fe no está quelado precipitará y no será usado por las plantas.

Deficiencia de hierro en cítricos

EDDHMA, EDDHSA y EDDCHA forman también quelatos férricos de alta estabilidad. Los dos últimos son los más solubles por lo que pueden ser usados en fertilizantes líquidos. Para cultivos poco sensibles, o sustratos no tan calcáreos y con adición frecuente de quelatos, es posible usar los quelantes de menor estabilidad para el hierro como son EDTA, HEEDTA y DTPA. Recientemente se ha propuesto el uso de IDHA como agente quelante biodegradable.

Las dosis a aplicar están en función del agente quelante, riqueza en Fe quelado, cultivo y régimen hídrico. Frutales y cítricos adultos pueden requerir hasta 25 g de quelato muy estable de alta riqueza, 5-6% hierro quelado, ó 50 g de quelato de menor riqueza, alrededor de 2,5-3% de hierro quelado. Dosis similares pueden ser aplicadas a olivar en cultivo intensivo. La dosis disminuirá para árboles de menor porte o con pies resistentes. Si bien se puede distribuir la aplicación de los productos en el tiempo, es al inicio de la primavera cuando el Fe es más necesario, por lo que se recomienda una aplicación temprana con el 50% de la dosis, seguida de otra aplicación con el 30% de la dosis anual a los dos meses de la primera y una última, en otoño con el 20% para preparar al árbol para la primavera siguiente.

La vid puede requerir hasta 10 g de un quelato de alta riqueza. Los cultivos hortícolas y ornamentales en fertirrigación, requieren dosis de 50 g (para un producto con una riqueza del 6% de hierro quelado) por m^3 de agua de riego, aplicado cada semana, usando quelatos de menor estabilidad, o cada 15 días, empleando quelatos más estables. En el caso de sustratos hidropónicos se pueden usar complejos, teniendo en cuenta de no mezclar su aplicación con la disolución de macronutrientes.

En cultivos leñosos, sobre todo cuando el problema se observa sólo en algunas zonas de la plantación, se puede aliviar la clorosis con inyecciones al tronco, tanto de sólidos como de disoluciones. Por lo general, se utilizan sales ferrosas acompañadas de citrato.

No suele ser rentable el uso de quelatos en cultivos de menor valor añadido, por lo que en esos casos se pueden realizar aplicaciones foliares con compuestos como sulfato ferroso o complejos de Fe, utilizando un mojante adecuado. Dado que las aplicaciones foliares no mejoran el movimiento del Fe en la planta es necesario repetirlas varias veces.

Manganeso, Zinc y Cobre

Los micronutrientes metálicos manganeso (Mn), zinc (Zn) y cobre (Cu) se encuentran en los suelos en concentraciones mucho más bajas que el Fe (tabla 12.2). Su problemática en suelos calizos es similar al hierro, ya que pueden encontrarse inmovilizados a alto pH. El problema se agrava por adiciones elevadas de fosfato.

La solución es similar a la del caso del hierro: deben ser aplicados al suelo de forma soluble y asimilable por la planta. Los quelatos más eficaces en este caso son los de DTPA, EDTA, HEEDTA y también IDHA. Sin embargo, ninguno es una solución completamente satisfactoria,

Deficiencia de zinc en frutales

sobre todo para el manganeso, si el contenido de caliza del suelo es muy elevado.

Las dosis a aplicar pueden ser muy variables dependiendo de la severidad de la carencia. Un valor medio puede ser 3 kg/ha, tanto de quelato de manganeso como de zinc, en aplicación al suelo ó 7,5 g/m^3 de agua de riego en fertirrigación. La baja eficacia observada a veces en las aplicaciones al suelo hace que las aplicaciones foliares sean más comunes que en el caso del hierro. En efecto, los sulfatos de zinc y manganeso, o mejor los complejos con zinc pueden corregir los problemas de deficiencia de estos elementos.

En suelos muy lavados de bajo pH, es posible que el contenido total de zinc e incluso de manganeso, no sea suficiente para nutrir a los cultivos. En estos casos la incorporación de sales inorgánicas puede ser adecuada y barata, aunque igualmente los quelatos y complejos serán más eficaces.

Boro

El boro se encuentra como ácido bórico, $B(OH)_3$. En los suelos está en cantidades muy bajas (tabla 12.2) por lo que a pesar de que las plantas lo necesitan en cantidades pequeñas, en ocasiones aparecen deficiencias de este nutriente.

Las principales fuentes de boro en los suelos son: el material original, la materia orgánica y su adición como fertilizante, mientras que las salidas se deben a la absorción por la planta, el lavado y la fijación en los coloides del suelo. Por tanto, los problemas de deficiencia se podrán encontrar en suelos ácidos, lavados, principalmente arenosos, o por el contrario en suelos encalados o calizos con elevado contenido en arcillas o materia orgánica.

Las principales fuentes de boro son el ácido bórico o los boratos sódicos o cálcicos que, muy frecuentemente se aplican junto a los fertilizantes complejos NPK con la fertilización de fondo.

Como quiera que se puede pasar de la deficiencia a la toxicidad en un intervalo de dosificación muy estrecho, es necesario asegurarse de la deficiencia de este elemento antes de aplicarlo, siendo las dosis recomendadas entre 3 y 6 kg/ha al suelo (producto con una riqueza del 16%) para cultivos sensibles, dependiendo de la intensidad de la carencia y siempre teniendo en cuenta un equilibrio adecuado con el calcio. Las pulverizaciones foliares son también aconsejables. En algunos cultivos como el girasol, la alfalfa, el olivo, la remolacha, etc., el boro es un elemento a tener en cuenta.

Molibdeno

El molibdeno es también poco abundante en el suelo y se requiere en cantidades muy bajas por los cultivos, de manera que sólo en condiciones muy singulares de suelos con pH<6, ácidos, y con elevada presencia de óxidos, o en condiciones de elevada disponibilidad de nitratos, se han detectado deficiencias de este elemento. La aplicación de molibdato amónico o sódico es suficiente para resolver el problema; si se incorpora al suelo, la dosis puede ser 20-200 g Mo/ha, y si se incorpora vía foliar, 5-75 g Mo/ha.

13 EQUIPOS PARA LA DISTRIBUCIÓN DE FERTILIZANTES

Reconocida la necesidad del empleo de los fertilizantes, es muy deseable que se manejen y distribuyan correctamente de forma que cumpliendo su finalidad productiva, respeten el medio ambiente.

Los fertilizantes se presentan en forma sólida, líquida o gaseosa. Cada una de estas formas exige equipos específicos para poder distribuirlos.

En España los fertilizantes en forma sólida son los más implantados, aunque siempre se han referenciado las muchas ventajas de las distribuciones en forma líquida, en particular para explotaciones bien dimensionadas o para aquellas que dispongan, con facilidad, de empresas de servicios que hagan la aplicación.

Las aportaciones mayoritariamente se efectúan sobre toda la superficie, aunque también se pueden localizar, ya sean en profundidad o en superficie. Para situar en profundidad se suelen utilizar rejas abridoras y si es en superficie, mediante dispositivos de guiado desde el distribuidor o pantallas, con diseños previamente ensayados.

En cereales y otros cultivos herbáceos se están haciendo aplicaciones cada vez más superficiales, siendo muy frecuente la aportación del abono y su enterrado durante el laboreo superficial de preparación para la siembra.

Aunque se indicarán los diferentes equipos de distribución de fertilizantes, el objetivo se centra en los equipos de distribución de abonos granulados sólidos y en particular el de las abonadoras de proyección de dos discos. Estas, hoy por hoy, se han consolidado como las máquinas que distribuyen la mayoría de los fertilizantes minerales en España. Además son polivalentes para distribuir algunos fertilizantes orgánicos debidamente acondicionados.

EQUIPOS PARA LA DISTRIBUCIÓN DE ABONOS MINERALES SÓLIDOS

Tipos de abonadoras

La oferta de equipos para la distribución de fertilizantes sólidos es variada, al igual que sus prestaciones, en función de las características físicas que presente el fertilizante, por lo que sólo se realiza una breve clasificación y diferenciación de sus prestaciones.

Las abonadoras, en base al principio por el que se desplaza el fertilizante hasta llegar al suelo, se clasifican en: de gravedad, proyección y neumáticas.

Abonadoras de gravedad

Son máquinas cuya anchura de trabajo ha estado limitada por la de transporte. Son de manejo sencillo, reducida capacidad de trabajo y tienen una buena uniformidad en la distribución. Mediante un dispositivo o dosificador, el abono es extraído del fondo de la tolva, y por gravedad, cae sobre el suelo. Por el mecanismo del citado dosificador se clasifican en: de tornillo sinfín, rodillo, rejilla, cadenas, platos y fondo móvil. Todas ellas son muy polivalentes, tanto para abonos granulados como pulverulentos, pero las dos últimas mantienen sus prestaciones incluso con fertilizantes con un grado apreciable de humedad.

Abonadoras de proyección

Las partículas del abono son lanzadas o proyectadas debido a la fuerza que reciben de los elementos del grupo de distribución. Se consiguen anchuras de trabajo muy elevadas en relación al ancho de la tolva central que no suele superar el ancho de vía del tractor. Las más empleadas son las de doble disco, de un disco, pendulares y, las menos aceptadas, las de rodillos. Abonadoras aparentemente muy sencillas y gran anchura de trabajo (entre 12 y 24 m y excepcionalmente entre 36 y 44 m), pero en cambio muy exigentes en cuanto al grado de humedad, dureza, densidad y en particular granulometría del abono.

Abonadora de proyección

El abono debe carecer de polvo o ser mínimo, ya que si tiene no se puede impulsar y se queda entre o en la proximidad de las ruedas. Tampoco son deseables los gránulos de excesivo tamaño. No interesa que todos los gránulos sean iguales y debe haber gránulos cuyos diámetros, preferentemente, estén comprendidos entre 2 y 4,0 mm para que al producirse interacciones entre ellos el resultado de la distribución sea uniforme. Para conseguir buenas distribuciones con estas abonadoras, es necesario conocer su comportamiento en función de las diferentes propiedades físicas de los abonos y de las diferentes opciones de caudales empleados, para trabajar a distintas anchuras y dosis por hectárea.

Abonadoras neumáticas

El abono extraído de la tolva por cada uno de los rodillos del dosificador es canalizado individualmente hacia una tubería por la que se desplaza, impulsado por la corriente de aire generada por un ventilador. La salida de la conducción termina en un difusor que opcionalmente se puede colocar de forma que el fertilizante sea proyectado hacia arriba, hacia abajo o lateralmente. La separación entre difusores, aunque siempre es la misma en cada equipo, está comprendida entre 0,25 y 1,00 m. Las tuberías de conducción del fertilizante se posicionan en rampas plegables similares a las de los pulverizadores y permiten anchuras de trabajo de 12 y 24 m, e incluso superiores. Las distribuciones adoptan formas trapezoidales, manteniendo distribuciones muy uniformes con independencia de las propiedades físicas del abono y las dosis empleadas.

Ensayos de la uniformidad en la distribución

El Código de Buenas Prácticas Agrarias recomienda: "Procurar que las máquinas distribui-

doras y enterradoras de abonos estén bien reguladas y hayan sido sometidas a un control previo a su comercialización en un centro especializado, a fin de asegurar unas prestaciones mínimas de uniformidad de la aplicación de fertilizantes."

Para garantizar que las abonadoras distribuyan correctamente, al menos para los abonos y dosis a utilizar, éstas deben estar avaladas por los ensayos de distribución que el fabricante debe tener, procedentes de una estación de ensayos de abonadoras. Algunos fabricantes ya muestran el resumen de las prestaciones de su abonadora mediante el adhesivo que colocan en la propia abonadora y que es fruto de la caracterización de la abonadora en una estación independiente y especializada en estas máquinas.

En los programas oficiales de ayuda a la mecanización, las administraciones tienen en cuenta los resultados de dichos ensayos, para seleccionar aquellos equipos que son susceptibles de acogerse a una subvención.

Conceptos básicos sobre las abonadoras de proyección

Diagrama de la distribución transversal

Para elaborarlo se muestrea la proyección que realiza la abonadora mediante la colocación transversal de receptores y, a continuación, se genera al representar los pesos recogidos en cada receptor, en relación a la distancia a izquierdas y derechas del eje de paso de la abonadora. Para poder obtener distribuciones que sean aceptables lo primero que hay que conseguir, cuando se diseña el grupo de distribución, son diagramas con formas triangulares o trapezoidales. Los diagramas son simétricos, cuando la representación de lo proyectado a izquierdas y a derechas del eje de paso de la abonadora, es similar y de no ser así se denominan asimétricos. Hoy en día, en los diseños de las abonadoras, se trabaja para conseguir diagramas simétricos, ya que permiten el trabajo en la parcela, tanto en ida y vuelta como en redondo, manteniendo la misma distancia entre pasadas.

Ensayos de uniformidad de la distribución

Anchura total de distribución

Es la suma de la distancia desde el eje de paso, a izquierdas y derechas de la abonadora, hasta los receptores en que aparecen los últimos o el último gránulo proyectado.

Anchura útil o distancia entre pasadas

Es la que realmente interesa y para determinarla hay que realizar un ensayo de distribución. En el ensayo, para un diagrama triangular, los receptores centrales próximos al eje de paso recogen la máxima cantidad de abono, que podemos denominar "x gramos", y a medida que los receptores se alejan del eje, la cantidad de abono recogida decrece hasta llegar a un receptor en el que el peso recogido será la mitad, es decir x/2 g. La suma de distancias desde el eje de paso al receptor de la izquierda en que aparece x/2 de peso, más la distancia desde el mismo eje al receptor de la derecha en que aparece también x/2 sería la distancia entre pasadas o anchura útil, ya se trate de un diagrama simétrico o asimétrico.

A partir del punto en el que apareció la mitad del peso hay que superponer o recubrir con el abono de otra pasada, para conseguir que la distribución sea uniforme en todos los puntos de la anchura de trabajo y nos aproximemos en todos los puntos a "x gramos".

Coeficiente de variación (C.V.)

Parámetro que sirve para evaluar la uniformidad de la distribución para una anchura de trabajo establecida, para un tipo de abono determinado y para una dosis de abonos prefijada. Es importante señalar que una misma abonadora con abonos diferentes, puede tener distintos C.V. para una misma anchura de trabajo. También, que con el mismo abono y para una misma anchura de trabajo, al variar la cantidad de abono aportada por unidad de superficie, el coeficiente de variación puede ser distinto.

En cada situación (tipo de abono, achura de trabajo y dosis), cuanto menor es su coeficiente de variación más alta es la uniformidad de la distribución. Así, se establece que con abonos nitrogenados el C.V. debe ser inferior al 10% en ensayos de laboratorio y al 15% en ensayos de campo, mientras que para abonos de fondo se admiten C.V. hasta el 20%.

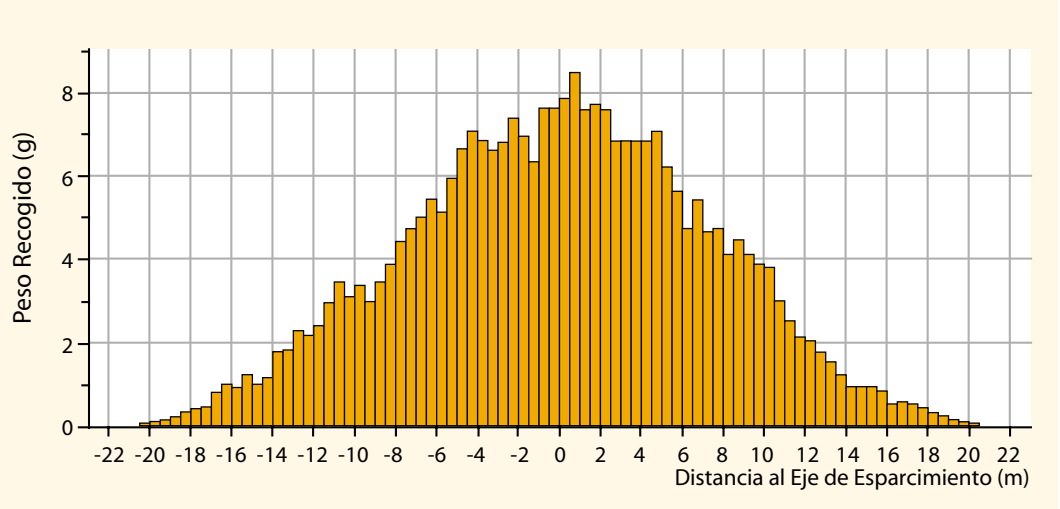
Dispositivos de bordeo

Estos dispositivos permiten trabajar proyectando el fertilizante, al desplazarse la abonadora, desde el borde o límite de la parcela o hacia el borde. Para tener garantías de que lo proyectado por la abonadora fuera de la parcela es admisible, se debe verificar si la máquina cumple con la norma española y europea sobre distribuidores centrífugos y por gravedad de fertilizantes sólidos. "Protección medioambiental: UNE-EN 13739-1". En particular, en lo referente a la distribución en los bordes o límites de la parcela, en los que al realizar la distribución no se debe proyectar fuera más del tres por mil. Los dispositivos de bordeo ayudan en el cumplimiento de dicha normativa y debe comprobarse su fiabilidad.

Manual de regulación de la abonadora

La abonadora debe suministrarse con un manual de regulación fiable, en el que estén

Figura 13.1. Diagrama de distribución transversal. Abonadoras de proyección



recogidos los abonos de uso frecuente y las recomendaciones en cuanto a regulaciones sobre la abonadora para su uniforme distribución.

El fabricante de abonadoras debe tener capacidad para actualizar su manual en función de las necesidades de los productos a distribuir. Al adquirir una abonadora conviene tener presente la fiabilidad de dicha capacidad.

La solicitud del manual, para comprobar que se ajusta a nuestras necesidades, y la fiabilidad del mismo, es de suma importancia y es lo primero que hay que hacer y analizar, cuando se pretenda adquirir una abonadora con criterios objetivos.

La abonadora, además del manual, debe ir acompañada de una caja de tamices para determinar e identificar la granulometría de los fertilizantes.

REGULACIÓN DE LAS ABONADORAS DE PROYECCIÓN

Para regular la dosis de las abonadoras de proyección las recomendaciones se han basado en la siguiente fórmula:

D (kg/ha)= Q(kg/min) x 600 / au(m) x v(km/h)

Teniendo claro la dosis deseada (D) y conocida la anchura útil (au) o distancia entre pasadas y la velocidad de aplicación (v) podemos determinar el caudal necesario **(Q (kg/min) = D (kg/ha) x au(m) x v(km/h) / 600)** que se necesita que fluya de la tolva al grupo de distribución. Encontrar la posición del índice sobre la escala que permita acertar con el mencionado caudal puede resultar difícil de realizar por una sola persona. La velocidad de desplazamiento, con independencia de que se pueda leer directamente en el tractor, conviene determinarla en base a la expresión: **v(km/h)=d(m)x3,6/t(s)**, donde (d) es una distancia definida en las condiciones de trabajo y (t) el tiempo en segundos que se tarda en recorrerla, y 3,6 es un factor de conversión de unidades. Lo que realmente entraña dificultad práctica en campo, es determinar experimentalmente la anchura útil para obtener buenas distribuciones, pudiéndose dar el caso de no encontrarla, por carecer la abonadora del diseño adecuado.
Lo normal es regular la abonadora de acuerdo a las recomendaciones que el fabricante de la máquina recoge en su manual de instrucciones de uso y regulación.

Al realizar la regulación puede suceder:
1.- Que en el manual de uso y regulación se encuentre recogido un abono y sus propiedades granulométricas coincidan con las del abono que se pretende distribuir.
Para regular la abonadora de acuerdo con el manual, además de haber comprobado que el abono está recogido en el manual, se debe verificar que los porcentajes de la granulometría del abono a distribuir coinciden con los porcentajes granulométricos del abono reflejado en el manual. Para ello, se debe disponer de una caja con tamices que permitirá realizar una clasificación de los granos de abono y determinar su porcentaje volumétrico. De coincidir seguiremos rigurosamente las recomendaciones del manual para ese abono.

2.- Que en el manual no esté recogido el abono a distribuir.
Se pueden seguir las recomendaciones de regulación de alguno de los abonos del manual que más se parezca en sus propiedades físicas al que se desea distribuir. Pero no se conocerá, ni se tendrá garantías sobre la uniformidad real de la distribución.

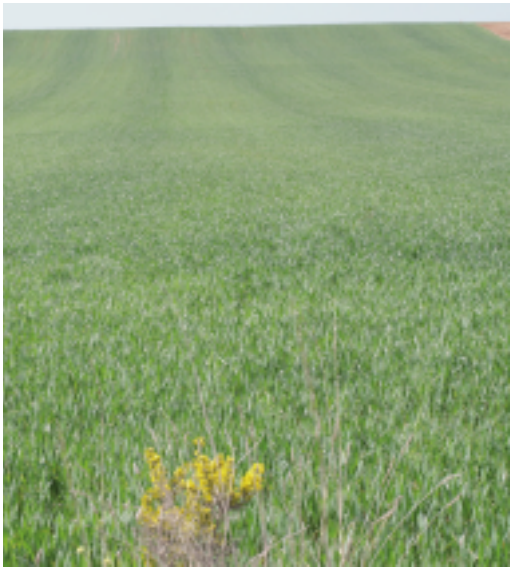
Regulación de la abonadora

Lo realmente importante al regular una abonadora es que, además de conseguir distribuir una dosis determinada por hectárea, la distribuya uniformemente.

A continuación se detalla la regulación de las abonadoras de proyección, en base a su mayor implantación en relación a las abonadoras de gravedad y neumáticas, y porque tienen exigencias más específicas para su regulación.

Para regular una abonadora en el campo, lo más rápido y efectivo es disponer de un manual fiable en el que esté recogido el abono que vamos a distribuir y sus características granulométricas.

Mediante el manual se deberá reproducir en campo, siempre que las condiciones ambientales no difieran demasiado, las prestaciones de la abonadora en el mejor de los ensayos de laboratorio de las estaciones de ensayo, cuando se diseñó el grupo de distribución en base a las pruebas experimentales. El fabricante de abonadoras deberá velar por mantener rigurosamente esa correspondencia en las prestaciones de todas sus unidades.



Distribución irregular de fertilizantes nitrogenados

Otras características de una buena abonadora

Una abonadora además de estar diseñada para realizar buenas distribuciones y de disponer de un buen manual que contribuya a ello, tiene otras muchas características constructivas que conviene también analizar al detalle y que son muy importantes para el usuario, ya que afectarán a su grado de satisfacción. Además, influyen sobre la capacidad de trabajo real de la abonadora, sobre su vida útil, seguridad y valor residual.

Manejo en campo

De nada sirve tener una abonadora con buenas prestaciones en la distribución e incluso bien regulada, si su manejo en el campo no es el adecuado.

EQUIPOS PARA LA DISTRIBUCIÓN DE ABONOS MINERALES LÍQUIDOS

La aplicación de abonos líquidos, por su rapidez de asimilación, compatibilidad con determinadas aplicaciones de fitosanitarios e incorporación a través del agua de riego, pueden presentar ventajas respecto a las formas sólidas.

El grupo de abonos líquidos claros sin tensión de vapor, sin partículas sólidas, a base de soluciones nitrogenadas y soluciones complejas binarias y ternarias, no suele plantear dificultades para ser aplicados por los pulverizadores de última generación.

El grupo de soluciones saturadas y suspensiones tienen densidades que pueden ser 1,4 a 1,5 kg/l con una importante viscosidad. Sus requerimientos son diferentes y mucho más complejos que los de los pulverizadores: tanques para soportar mayores esfuerzos y bombas que no se deterioren con los productos en suspensión, ni por las corrosiones y con capacidad suficiente para tener

CARACTERÍSTICAS DE UNA BUENA ABONADORA

- Que sus anchuras de trabajo se ajusten a las necesarias, distribuyendo bien los fertilizantes usados.
- Que las prestaciones en cuanto a dosis, se ajusten a las que se necesitan, sin tener que sacrificar la velocidad habitual de trabajo.
- Buen comportamiento con independencia del tamaño, pendiente y forma de la parcela.
- Prestaciones para distribuir en el borde o límite de la parcela.
- Sencillez y mínimas regulaciones ajustándolas a las necesidades.
- Facilidad y fiabilidad de manejo de todos los sistemas de mando.
- Fiabilidad en el servicio postventa y en la capacidad del fabricante para realizar actuaciones puntuales o ampliar su manual para nuevos fertilizantes y semillas.
- Garantía, cuando se requiera, de fluencia del fertilizante al grupo de distribución.
- Valorar la altura de la abonadora para la carga manual o por fluencia (remolque).
- Valorar los riesgos de descompensación de la carga en las abonadoras de dos senos (bordeo).
- Tolvas que faciliten la carga con las palas agrícolas y las de los almacenistas.
- Malla de protección contra terrones y grumos con luces adecuadas, bien posicionadas, longevas y que soporten bien sobrepresiones.
- Chasis bien dimensionados (opción a suplementos) y posicionamiento del centro de gravedad de la abonadora y su carga en relación al eje/s que debe/n soportarla.
- Mantenimiento reducido y necesidad poco frecuente de limpieza; polvo, grumos y otros elementos que puedan alterar el caudal de fluencia a los platos.
- Facilidad de descarga del abono sobrante y que la descarga sea total.
- Protecciones, que no dificulten la carga y sean seguras, contra lluvia y otros elementos, como barro proyectado u hojas.
- Comportamiento contra la oxidación y corrosión, incluso cuando no se realice vaciado, limpieza y lavado de la abonadora.
- Comodidad de acceso a los mecanismos de la abonadora, tanto para su mantenimiento y engrase, como para facilitar la limpieza y lavado.
- Fiabilidad en la permanencia sin deteriorar la señalización de índices, escalas u otras indicaciones.
- Compatibilidad de la abonadora con dispositivos electrónicos como caudal proporcional al avance en las abonadoras suspendidas y abonado en la agricultura de precisión.
- Dispositivos de bordeo que se ajusten a las necesidades, en función de optimizar la distribución hasta el mismo borde, de no proyectar abono fuera de la parcela y de los requerimientos prácticos de marcadores electrónicos o banderilleros.
- Polivalencia de la abonadora suspendida o arrastrada para otros usos; sembradora a voleo, remolque nodriza de semillas, remolque auxiliar en la recolección, etc.
- Prácticos y duraderos protectores de seguridad, que no interfieran en la proyección del abono y no dificulten las operaciones de carga y mantenimiento.

una buena agitación. Los equipos utilizados son muy específicos y difieren bastante en dimensiones, bombas, sistema de agitación y boquillas de los pulverizadores. Lo indicado, ligado a las exigencias del almacenamiento y suministro, motiva que estos equipos y aplicaciones sean manejados por profesionales específicos, que se encargan de ofertar y realizar los servicios de distribución de soluciones saturadas y suspensiones.

EQUIPOS PARA LA DISTRIBUCIÓN DE ABONOS GASEOSOS: AMONIACO ANHIDRO

El equipo de distribución está compuesto por un depósito de acero capaz de soportar presiones de 20 a 30 bares en el que al amoniaco se le somete a 18 a 20 bares y mayoritariamente se licúa para su inyección sobre el terreno. Debido a que con la temperatura la presión aumenta, se deben tener muy presente los dispositivos y medidas de seguridad. El amoniaco en el interior del depósito no suele superar el 85% de su volumen. Mediante el distribuidor o dosificador se reparte el amoniaco desde el depósito hacia la salida de los inyectores colocados detrás de cada elemento de apertura, que ayuda a situar el gas a la profundidad requerida. El distribuidor puede realizar su función auxiliado por un gasificador previo, para que el líquido sin gas sea enviado por una bomba de regulación volumétrica y accionada por una rueda mo-

PRÁCTICAS DE MANEJO EN EL CAMPO

- Utilizar los cierres de seguridad para evitar que las compuertas de apertura de caudales se abran durante el transporte o se accionen los fondos móviles.
- Evitar cargas que superen la capacidad de la tolva y arriesguen su caída durante el transporte.
- Mantener las rpm de los sistemas de transmisión al grupo de distribución constantes de acuerdo a lo recomendado (extremar las precauciones para ello cuando se trabaje en pendientes).
- Ser conscientes de los efectos derivados de la modificación de la altura recomendada del grupo de distribución durante el trabajo, en particular en el bordeo.
- Mantener la velocidad de desplazamiento prevista, salvo que se pretenda modificar la dosis en función del cultivo o se disponga de dispositivo de caudal proporcional al avance.
- No abusar de los dispositivos de caudal proporcional al avance empleando velocidades elevadas que saturen los elementos de distribución (salvo que realmente se tenga garantizada la uniformidad en la distribución).
- Trabajar preferentemente en ida y vuelta y, al maniobrar en las cabeceras, cerrar y abrir caudales en su justo momento.
- Mantener la distancia prefijada entre pasadas, en particular cuando se trabaje con diagramas trapezoidales.
- Los diagramas triangulares acusan menos las irregularidades, como consecuencia de las modificaciones relativas de la anchura de trabajo, aunque la dosis por unidad de superficie se modifique.
- Controlar con frecuencia el flujo de alimentación del sistema de proyección.
- Al trabajar con viento, siempre que sea posible, adoptar manejos que aminoren la incidencia sobre las proyecciones transversales.
- Manejar la abonadora de forma que se evite la proyección sobre cauces de agua; dispositivos de bordeo, reducción de rpm, altura del grupo, alejamiento del cauce, etc
- Cumplir, en las operaciones de abonado, con las demás recomendaciones recogidas en el Código de Buenas Prácticas Agrarias.

Aplicación de abonos líquidos

triz, de forma que se pueda regular la dosificación y mantener el caudal proporcional al avance.

Otra opción es utilizar un reductor de presión regulable, que permite distribuir con una variación de caudales en torno al 3%, pero con el inconveniente de que la dosis es sensible a las variaciones de velocidad.

Finalmente, los tubos inyectores colocados detrás de las rejas de apertura son los encargados de incorporar al terreno el amoniaco para su retención por el suelo. Se estima que la dispersión se produce en un radio de 10 a 15 cm del punto de inyección, por lo que es frecuente el empleo de rejas inyectoras cada 30 cm de separación.

En la aplicación de amoniaco anhidro, además del equipo de distribución, se hace necesario disponer de equipos para el transporte y almacenamiento.

EQUIPOS PARA LA DISTRIBUCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS

Los estiércoles, lodos y purines requieren para su distribución equipos que se diferencian en dos grupos principales:

Remolques para distribuir estiércol y lodos

Básicamente constan de una caja con fondo móvil que aproxima el estiércol al grupo esparramador o distribuidor que se encarga de lanzar el producto, más o menos desmenuzado, hacía atrás o lateralmente. Los elementos rotativos del distribuidor, accionados por ejes y/o semiejes, están formados por rodillos, con diferentes tipos de paletas y/o platos, o por turbinas. Con independencia del alcance de unos sistemas u otros, todos ellos lanzan el estiércol de forma que entre pasadas hay que practicar un grado de recubrimiento para conseguir buenas distribuciones. Para evaluarlas objetivamente se procede de forma similar a lo descrito para abonadoras de proyección.

Cisternas de purín

Utilizan diversos sistemas para su distribución, pudiendo diferenciarse entre el sistema de abanico o libre y las localizadoras:

- De abanico que reparten el purín mediante un elemento central o plato difusor en una anchura comprendida entre 5 y 10 m. Para obtener un adecuado reparto se requiere realizar solapes o recubrimientos, de forma similar a lo que sucedía con las abonadoras de proyección. Esta forma de aplicar el purín, con mínimas inversiones y una elevada capacidad de trabajo, es la más criticada debido a mayores olores y mayores emisiones de amoniaco.
- Localizadoras que disponen en la parte posterior de la cisterna de un dispositivo de distribución para llevar el producto hasta colocarlo en el suelo, en base a diferentes sistemas de apertura e incluso, en su caso, de cierre del hendido, una vez localizado el purín. La uniformidad en la distribución es elevada, se reducen olores y las pérdidas de amoniaco. Por el con-

trario, se requiere una inversión mayor, menor capacidad de trabajo y una mayor potencia.

Para analizar la uniformidad en la distribución de los remolques y cisternas, se siguen procedimientos similares a los utilizados en las abonadoras de proyección, si bien al analizar la uniformidad en la distribución se admiten coeficientes de variación de hasta el 30%. Pero en los ensayos de distribución aparecen dificultades propias de estos productos, destacando las derivadas de la falta de homogeneidad del propio producto y del llenado uniforme de los equipos.

14 LA FERTIRRIGACIÓN

Se conoce como fertirrigación, fertigación o nutrigación, la aportación a las plantas de los fertilizantes disueltos en el agua de riego.

Esta técnica se inició, hacia el año 1930, en California (EEUU) y desde allí se extendió por el resto del mundo. En España comenzó hace unos 50 años cuando los agricultores valencianos ponían en las regueras sacos de yute de sulfato amónico para que el agua, al pasar a través de ellos, arrastrara el nitrógeno que el fertilizante contenía. A finales de los sesenta, con la aparición de los abonos líquidos, la fertirrigación se fue extendiendo, despegando, de forma definitiva, con la implantación del riego localizado.

En función de los diferentes sistemas podemos distinguir:

- Riego por aspersión. La fertirrigación se limita al aporte de abonos nitrogenados, estando muy extendida en los sistemas de riego por aspersión para el maíz.
- Riego localizado. De forma fácil y cómoda, se aportan todos los nutrientes, principalmente, en cultivos arbóreos en los que este sistema de riego ha ido implantándose de forma muy rápida. Es el que, por su importancia, se va a considerar.

RIEGO LOCALIZADO

En el año 2008 el riego localizado, en España, abarcaba ya más de 1,5 millones de hectáreas. El ahorro de agua, la eficiencia del sistema y

Tabla 14.1. Superficie de riego localizado por CC.AA. Año 2008

Comunidades Autónomas	Superficie (ha)	Sup / Total riego localizado (%)	Sup / Total riego CC.AA. (%)
Andalucía	702.600	45,4	73,7
Aragón	43.300	2,8	11,6
Cataluña	78.500	5,1	32,3
Castilla-La Mancha	260.600	16,8	54,0
Extremadura	72.200	4,7	31,3
Murcia	131.700	8,5	77,3
Valencia	181.000	11,7	54,0
Otras CC.AA.	78.100	5,0	13,1
TOTAL ESPAÑA	**1.548.000**	**100,0**	**45,8**

Fuente: ESYRCE (2008)

Tabla 14.2. Superficie de riego localizado por cultivos. Año 2008

Cultivos	Superficie (ha)	Sup / Total riego localizado (%)	Sup / Total cultivo en riego (%)
Cítricos	237.800	15,4	73,6
Frutales	172.300	11,2	68,2
Hortalizas	117.100	7,6	55,3
Olivar	613.700	39,6	93,5
Viñedo	301.600	19,5	88,7
Otros cultivos	105.500	6,7	5,9
TOTAL ESPAÑA	**1.548.000**	**100,0**	**45,8**

Fuente: ESYRCE (2008)

la posibilidad de regar con aguas de baja calidad son algunas razones que justifican su expansión. Y además, una fundamental: que permite aplicar, a través del agua, de forma eficiente y con mínimas pérdidas, los nutrientes que la planta precisa. España es el país de la U.E. y del ámbito mediterráneo con mayor superficie fertirrigada.

VENTAJAS QUE APORTA LA FERTIRRIGACIÓN

En riego localizado, las ventajas de la fertirrigación son muy importantes:

- Mayor eficiencia en el empleo de los fertilizantes, ya que se produce un incremento de las cosechas con menores dosis de abono.
- Menores pérdidas de nutrientes por lixiviación y, por tanto, hay una mejora medioambiental.
- Comodidad de aplicación y ahorro de mano de obra, sobre todo si se utilizan abonos líquidos.
- Mejor y más rápida asimilación de los nutrientes, por mantenerse constante la humedad del bulbo.
- Ajuste de las dosis de nutrientes a las necesidades de la planta en cada momento de su ciclo vegetativo.

Instalación de fertirrigación: bombas dosificadoras eléctricas

- Localización de los nutrientes a lo largo de todo el perfil del bulbo explorado por las raíces.
- Perfecta dosificación de los fertilizantes gracias a los equipos que se utilizan.
- Posibilidad de utilizar fertilizantes "a la carta", especialmente diseñados.
- Actuación inmediata para corregir deficiencias nutricionales.

Para la aplicación correcta de esta técnica el agricultor tiene que tener una adecuada preparación, manejar bien los abonos para evitar obturaciones de los goteros y disponer de una instalación de riego en la que sea uniforme el reparto del agua.

PROCESO DE LA FERTIRRIGACIÓN

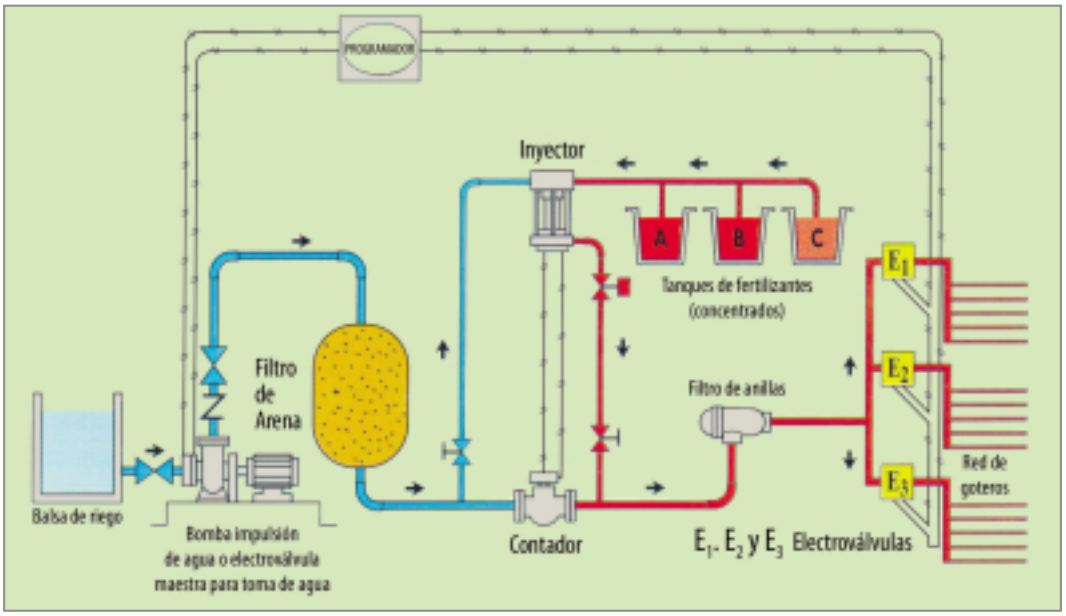
Es fundamental decidir en cada momento cual es la solución nutritiva que más se adapta a las necesidades de la planta. Esta solución suele prepararse en el cabezal de riego, dentro de una instalación, que esquemáticamente se presenta en la figura 14.1.

El cabezal de riego consta de distintos elementos. Por un lado, están los tanques que contienen los fertilizantes, que suelen ser tres y que pueden disponer de un agitador, si se emplean abonos sólidos, para preparar con ellos "soluciones madre". Por otro, está el equipo de inyección del abono, normalmente bombas eléctricas o hidráulicas. Y a lo largo del circuito se colocan los filtros de arena y de anillas. La instalación puede controlarse de forma automática o manual.

DINÁMICA DE LOS NUTRIENTES

Para manejar bien la fertirrigación es necesario conocer el movimiento de los nutrientes en el bulbo.

Figura 14.1. Esquema del proceso de fertirrigación



Fuente: C. Cadahía (2005)

El nitrógeno como ión nitrato es totalmente móvil y se aplica, generalmente, en forma nítrico-amoniacal, transformándose rápidamente la parte amoniacal en nítrica. Por ello, la aplicación nitrogenada debe hacerse muy fraccionada. El nitrógeno en forma ureica se utiliza menos al ser difícil de controlar su velocidad de transformación, lo que puede ocasionar algún trastorno vegetativo a las plantas. En los cultivos leñosos se suele aplicar el 60% del nitrógeno hasta el cuajado y el 40% restante en el engorde del fruto.

El fósforo, en riego localizado, es 5 a 10 veces más móvil que en el riego tradicional, desplazándose bastante lejos del punto en que se incorpora. La aportación de este nutriente puede hacerse con antelación suficiente al momento de máximas necesidades, que coincide con la floración y el cuajado.

El potasio es menos móvil que el nitrógeno, pero más que el fósforo y su aplicación en los cultivos leñosos debe hacerse también fraccionada en el tiempo, aunque repartida al contrario que el nitrógeno: 40% hasta el cuajado y 60% durante el engorde del fruto.

FERTILIZANTES UTILIZADOS EN FERTIRRIGACIÓN

Cuando se vayan a utilizar fertilizantes en riego localizado hay que tener en cuenta distintos factores, unos relativos al abono y otros referidos a su utilización.

Las características básicas que deben reunir los fertilizantes son:

- Solubilidad total en agua de los abonos sólidos.
- Pureza, pues si contienen materias inertes podrían producir obturaciones en los goteros.
- Bajo "índice de sal", de forma que aumenten lo menos posible la salinidad del agua de riego, que se mide por la Conductividad Eléctrica (CE).

En las tablas 14.3 y 14.4 se indican los abonos sólidos y líquidos más utilizados en fertirrigación. El consumo de abonos líquidos ha ido creciendo gracias a su facilidad de manejo, ahorro de mano de obra y posibilidad de poder fabricar una gran variedad de "fórmulas a medida", adaptadas a las necesidades de cada cultivo.

Los microelementos pueden aportarse en fertirrigación mediante sales minerales inorgánicas que pueden reaccionar con la disolución nutritiva y precipitar, sobre todo en la corrección de carencias de hierro y manganeso. Por ello, es más habitual la utilización de quelatos.

El conocimiento de las posibilidades de mezcla de los fertilizantes utilizados en fertirrigación, facilita su manejo adecuado y evita precipitaciones que pueden dar origen a obturaciones.

AGUA DE RIEGO

Es muy importante conocer las características del agua de riego a la hora de efectuar el abonado. El análisis del agua debe determinar el contenido de las distintas sales que contiene, la Conductividad Eléctrica, el pH, la dureza (contenido de calcio y magnesio) y el contenido de sodio. El calcio que contiene el agua puede producir obturaciones al precipitar con los sulfatos y los bicarbonatos, que pueden evitarse si se mantiene una cierta acidez en el agua de riego. Los cloruros son tóxicos para muchos cultivos, entre ellos los agrios. El contenido de nitratos y potasio del agua debe tenerse presente al calcular la dosis de los abonos que se utilizan.

Tabla 14.3. Abonos sólidos más usados en fertirrigación en España

ABONOS SÓLIDOS	Nutrientes principales	Otros nutrientes	Solubilidad a 24º C (g/l)	CE disolución 0,5 g/l en agua pura (dS/m)
Nitrato amónico	34.5% N		2.190	850
Nitrato de calcio	15% N	27% CaO	1.220	605
Nitrato de magnesio	11% N	15% MgO	500	448
Sulfato magnésico	16% MgO		380	410
Fosfato monoamónico	12%N 60% P_2O_5		400	455
Nitrato potásico	13%N 46% K_2O		335	693
Cloruro potásico	60% K_2O		340	948
NPK–cristalinos	Alta concentración	A veces	150/250	Según fórmulas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14.4. Abonos líquidos más usados en fertirrigación en España

ABONOS LÍQUIDOS	Nutrientes principales	Otros nutrientes	Densidad (g/l)	Temper. cristal ºC	pH
Solución nitrogenada 32	32% N		1.325	0	6/7
Solución nitrogenada 20	20% N		1.260	6	6/7
Ácido nítrico *	13% N		1.360	-20	Ácido
Solución nitrato de calcio	8% N	16% CaO	1.400	-13	<4
Solución nitrato de magnesio	7% N	9.5% MgO	1.300	-20	<4
Ácido fosfórico*	54% P_2O_5		1.600	-26	Ácido
Solución potásica	10% K_2O		1.150	5	5
Solución NPK–neutra	Baja concent.		1.200-1.300	Variable	6/7
Solución NPK–ácida	Baja concent.		1.200-1.300	Variable	1/2

*Productos clasificados como peligrosos. Precaución en su empleo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14.5. Compatibilidad entre los fertilizantes más usados en fertirrigación

	Nitrato amónico	Nitrato cálcico	Nitrato potásico	Nitrato de magnesio	Fosfato monoamónico	Ácido fosfórico	Ácido nítrico	Sulfato potásico	Sulfato de magnesio	NPK líquidos	Sulfatos de Fe, Zn, Cu y Mn	Quelatos de Fe, Zn, Cu y Mn
Nitrato amónico	-	N	S	S	X	N	N	S	S	N	S	S
Nitrato cálcico	N	-	N	S	N	N	N	X	N	N	N	N
Nitrato potásico	S	N	-	S	S	N	N	S	S	S	S	S
Nitrato de magnesio	S	N	S	-	S	N	N	N	S	S	S	S
Fosfato monoamónico	N	N	S	S	-	N	N	S	S	N	N	N
Ácido fosfórico	N	N	N	N	N	-	N	N	N	N	N	N
Ácido nítrico	N	N	N	N	N	N	-	N	N	N	N	N
Sulfato potásico	S	N	S	S	S	N	N	-	S	N	N	N
Sulfato de magnesio	S	N	S	S	S	N	N	X	-	N	N	S
NPK líquidos	N	N	N	N	N	N	N	N	N	-	N	N
Sulfatos de Fe, Zn, Cu y Mn	S	X	S	S	N	N	N	S	S	N	-	X
Quelatos de Fe, Zn, Cu y Mn	S	N	S	S	N	N	N	N	N	N	N	-

N= No se pueden mezclar S= Si se pueden mezclar X= Se pueden mezclar en el momento

Fuente: L. Rincón (2007)

Plantación de cerezos en riego por goteo

SOLUCIONES MADRE

Cuando se utilizan abonos sólidos, éstos se disuelven previamente en los tanques de la instalación de riego preparándose disoluciones concentradas, "soluciones madre", que después se inyectan en las conducciones de riego.

Es recomendable utilizar en las disoluciones una concentración comprendida entre 100 y 150 g/l, en función de la temperatura del agua, no siendo conveniente bajar de 100 g/l para no sobredimensionar los tanques en que se prepara la solución madre.

Cuando se disuelven varios fertilizantes, los nitrogenados deben dejarse para el final, ya que al disolverse enfrían el agua lo que dificulta la dilución de los otros fertilizantes.

SOLUCIONES NUTRITIVAS

Las soluciones nutritivas de riego deben contener los nutrientes que la planta necesita y pueden prepararse en la instalación de riego, con abonos simples o suministrarse mediante abonos complejos.

El pH de la solución depende del pH del agua de riego y del de los abonos utilizados. Es conveniente bajar el pH del agua, con el fin de que el agua de la red de riego tenga un pH entre 5,5 y 6. Para conseguirlo se utilizan abonos de reacción ácida y si es necesario, ácido nítrico. En las zonas donde las aguas están cargadas de bicarbonatos, que dan una reacción fuertemente alcalina, el empleo de ácido nítrico es habitual.

Se debe procurar que la Conductividad Eléctrica (CE) de la solución no sobrepase 3 dS/m, pues si es superior la salinidad podría afectar al desarrollo de los cultivos.

EQUIPOS PARA FERTIRRIGACIÓN

El **tanque fertilizante** es el dispositivo más simple y se usa en superficies pequeñas, donde se requiere movilidad. Su mayor problema es que la concentración de nutrientes de la solución fertilizante decrece a lo largo del riego.

El **inyector Venturi** es un sistema sencillo que consiste en instalar un inyector, conectado al tanque de la solución nutritiva, en una derivación de la tubería de riego. Es un sistema robusto, manual, que no requiere ningún tipo de energía exterior para su funcionamiento. Es adecuado para superficies medianas.

Con las **bombas de inyección** se consigue el sistema de inyección más preciso. Las más generalizadas son las de tipo volumétrico, ya sean de pistón o de diafragma. El accionamiento puede ser mediante motor eléctrico o hidráulico, aprovechando la propia energía de la red de riego (imprescindibles cuando no se dispone de energía eléctrica).

El **inyector de accionamiento eléctrico** es el sistema más preciso y más extendido en fincas de cierta entidad, siendo el más adecuado cuando se realiza la automatización de la fertirrigación y el riego. En los sistemas convencionales la **automatización** consiste en la apertura y cierre de válvulas hidráulicas de los tanques y en el arranque y parada de los inyectores, en conexión directa con los sistemas que regulan el funcionamiento del riego. En la actualidad, en cultivos hidropónicos y ornamentales, los sistemas automáticos también están controlando el pH y la CE de la solución nutritiva, bien de forma directa o con recirculación de la disolución nutritiva.

DISPOSITIVOS PARA LA FERTIRRIGACIÓN

Los dispositivos para fertirrigación en riego localizado han ido mejorando de forma importante en los últimos años, automatizándose la instalación en las fincas de gran extensión.

FUTURO DE LA FERTIRRIGACIÓN

La fertirrigación, que ocupa ya un papel muy destacado en la agricultura española, tiene ante sí un magnífico futuro por múltiples razones.

El ahorro de agua es un objetivo preferente en todos los países (Directiva marco del agua de la U.E.). Otro objetivo es lograr la máxima eficiencia en el empleo de los fertilizantes (Directiva de la U.E. sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias). Y ambos objetivos tienen en la fertirrigación, en riego localizado, su máximo exponente.

Por ello y por otras muchas razones, es seguro que la superficie fertirrigada seguirá creciendo en los próximos años y que se mejorarán, cada vez más, las técnicas utilizadas. La automatización de las instalaciones se impondrá, los programas informáticos para calcular las soluciones nutritivas para cada cultivo se irán introduciendo, y el suministro de fertilizantes "a la carta" será cada vez más frecuente.

15 LA FERTILIZACIÓN Y LOS SISTEMAS DE CULTIVO

En la actualidad, son muy diversos los sistemas productivos que conviven en la agricultura española y en cada uno de ellos la fertilización, sin abandonar sus principios básicos, presenta unas connotaciones especiales y debe cumplir, en algunos, unas normas establecidas por la Administración. En particular hay que tener en cuenta:

- Las *Zonas Vulnerables* a la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes agrarias, las explotaciones en las que se practica la *producción integrada* y las fincas cuyos sistemas de cultivo se encuadran dentro de la *producción ecológica* (en total 9,6 millones de ha). Todas ellas, tienen que respetar una normativa legal en cuanto a la fertilización, específica para cada situación o técnica de cultivo.

- La *agricultura de conservación*, *mínimo laboreo y siembra directa*, ocupa unos 4 millones de ha, y por sus especiales características requiere una adaptación específica del abonado convencional, e igual sucede con la *agricultura de precisión*, que está en sus comienzos en España.

ZONAS VULNERABLES A LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS POR NITRATOS

En el apéndice de la Guía, relativo a la legislación sobre fertilizantes, se comentan las dispo-

Tabla 15.1. Superficie declarada como Zonas Vulnerables por CC.AA. Año 2009

Comunidades Autónomas	Zonas Vulnerables (ZV) (000 ha)	Sup. ZV / Superficie total ZV España (%)	Sup. ZV / Superficie total de la C.A. (%)
Andalucía	1.507	19,4	17,3
Aragón	501	6,5	10,5
Baleares	114	1,5	23,1
Canarias	20	0,3	2,7
Cataluña	773	9,9	24,2
Castilla-La Mancha	3.677	47,3	46,4
Castilla y León	236	3,0	2,5
Extremadura	65	0,8	1,6
La Rioja	21	0,3	4,2
Madrid	64	0,8	8,0
Murcia	80	1,0	7,0
Navarra	33	0,4	3,2
País Vasco	18	0,2	2,5
Valencia	665	8,6	28,6
TOTAL ESPAÑA	**7.774**	**100,0**	**15,5**

Fuente: MARM (2009)

siciones fundamentales que sobre la fertilización deben cumplirse en las "Zonas Vulnerables", superficies cuya escorrentía o filtración puede originar que las aguas contengan más de 50 mg/l de nitratos.

Es por ello, que en este apartado sólo vamos a considerar:

- Las superficies designadas en cada Comunidad Autónoma como Zonas Vulnerables.
- Libro-Registro de aplicación de fertilizantes en las explotaciones agrícolas y el Libro-Registro de producción y movimiento de estiércoles.

Como puede apreciarse, no existe homogeneidad entre CC.AA. en los porcentajes de Zonas Vulnerables sobre la superficie total. Los criterios aplicados en la designación de Zonas Vulnerables y las características propias de la agricultura en cada territorio, condicionan esta discrepancia.

Entre las normas de obligado cumplimiento en las Zonas Vulnerables, está cumplimentar un Libro-Registro de aplicación de fertilizantes de las parcelas de las explotaciones agrícolas, que se encuentran incluidas dentro de ellas. En algunos Planes de Acción se legisla que debe acompañarse a la declaración de la PAC del ejercicio correspondiente (Aragón) y en otros, que debe estar a disposición de la Administración cuando se le solicite (Andalucía). Igual sucede con el Libro-Registro de producción y movimiento de estiércoles.

PRODUCCIÓN INTEGRADA (PI)

Se realizará un programa de fertilización para cada cultivo y para toda la rotación, potenciando la aportación de fertilizantes naturales y reduciendo los químicos de síntesis. En la programación habrá de considerarse que los ferti-

Mapa 15.1. Zonas Vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de la agricultura en España. Año 2009

Fuente: MARM (2009)

PRODUCCIÓN INTEGRADA

El R.D. 1201 la define como el sistema agrícola de obtención de vegetales que utiliza al máximo los recursos y los mecanismos de producción naturales y asegura a largo plazo una agricultura sostenible, introduciendo en ella métodos biológicos y químicos de control y otras técnicas que compatibilicen las exigencias de la sociedad, la protección del medio ambiente y la productividad agrícola.

En España, en 2008, la PI abarcaba una superficie de unas 472 mil ha, extendiéndose por todas las CC.AA. del país, alcanzando gran importancia en Andalucía (que supone el 63% de la superficie total), Aragón, Valencia y Extremadura. Los cultivos afectados son principalmente olivar (43% del total), algodón, arroz y otros cereales.

Cada Comunidad Autónoma ha elaborado sus propias normas de PI, aunque en 2002 se publicó el R.D. 1201 que la regula a nivel nacional y después se publicaron distintas Ordenes APA sobre hortícolas, cítricos, algodón y remolacha.

Los operadores sujetos a normas de PI deberán cumplimentar un cuaderno de explotación, donde se anoten todas las operaciones y prácticas de cultivo y sus actividades serán controladas por una entidad de certificación acreditada por ENAC (Entidad Nacional de Acreditación)

lizantes provenientes del exterior (fertilización directa, materia orgánica, aguas) deben compensar las extracciones de las cosechas y las pérdidas técnicas.

La base para estimar las necesidades de macronutrientes, excepto el nitrógeno, será el análisis físico-químico del suelo, que se realizará al menos cada cinco años. Para comprobar que el programa de fertilización que se lleva a cabo es el adecuado, se hará un seguimiento analítico (hojas, savia, etc) a lo largo de cada campaña.

En la PI se permite el uso de fertilizantes químicos, estableciéndose siempre un límite máximo para la aportación total de N/ha en cada cultivo (en algunos cultivos y CC.AA., se establece un límite máximo de P_2O_5 y K_2O). También, están establecidos unos límites máximos de metales pesados y patógenos que no pueden sobrepasarse. Los micronutrientes sólo se aplicarán cuando un análisis previo determine su insuficiencia.

AGRICULTURA ECOLÓGICA (AE)

Dentro de las prácticas agrícolas permitidas, relacionadas con la fertilización, podemos reseñar las que se indican en el artículo 12, apartado b, del Reglamento (CE) nº 834/2007:

"La fertilidad y la actividad biológica del suelo deberán ser mantenidas o incrementadas mediante la rotación plurianual de cultivos que comprenda las leguminosas y otros cultivos de abonos verdes y la aplicación de estiércol animal o

Olivar cultivado ecológicamente en Sierra Mágina

AGRICULTURA ECOLÓGICA

El MARM la define como un compendio de técnicas agrarias que excluye normalmente el uso, en la agricultura y ganadería, de productos químicos de síntesis como fertilizantes, plaguicidas, antibióticos, etc, con el objetivo de preservar el medio ambiente, mantener o aumentar la fertilidad del suelo y proporcionar alimentos con todas sus propiedades naturales.

La superficie ocupada por la AE, en 2008 en España, es de unas 1.320 mil ha, de las que unas 950 mil están ocupadas por pastos, praderas, bosques y barbechos y el resto por distintos cultivos, sobre todo cereales, olivar y frutos secos. Por CC.AA. destaca Andalucía, con más de la mitad de la superficie, seguida de Castilla-La Mancha, Extremadura, Aragón y Cataluña.

La normativa que regula la agricultura ecológica es el Reglamento (CE) nº 834/2007 del Consejo desarrollado posteriormente por el Reglamento (CE) nº 889/2008 de la Comisión. En el Reglamento (CE) nº 834/2007 se especifican las normas de producción vegetal que regulan la agricultura ecológica y en el Reglamento (CE) nº 889/2008 se indican los fertilizantes y acondicionadores de suelo que pueden utilizarse, únicamente en la medida en que sea necesario.

La agricultura ecológica recibe ayudas económicas, diferentes según los cultivos y su control y certificación se lleva a cabo a través de los Comités de Agricultura Ecológica, dependientes de las Consejerías de Agricultura de las Comunidades Autónomas, aunque algunas han autorizado a algunos organismos privados para realizar estas funciones.

materia orgánica, ambos de preferencia compostados, de producción ecológica". La cantidad total de estiércol, no podrá exceder de 170 kg de N/ha x año de superficie agrícola empleada.

En el anexo I del Reglamento (CE) nº 889/2008 se indican los fertilizantes y acondicionadores de suelo permitidos. Entre ellos podemos citar:

- Estiércol de granja, estiércol desecado, gallinaza deshidratada, mantillo de excrementos sólidos, excrementos líquidos, residuos domésticos compostados o fermentados, turba, deyecciones de lombrices, guano, mezcla de materias vegetales compostadas, productos y subproductos de origen animal y vegetal, algas, etc.
- Fosfato natural blando, fosfato alumínicocálcico, escorias de defosforación.
- Sal potásica en bruto, sulfato de potasio.
- Vinazas, carbonato de calcio, sulfato de magnesio, sulfato de calcio, azufre elemental, microelementos, etc.

En relación a la absorción de los nutrientes por las plantas hay que recordar que absorben nitrógeno principalmente en forma de anión nitrato, tras su transformación a este estado desde su forma amoniacal, provenga el nitrógeno bien de abonos orgánicos o minerales. El fósforo lo toman en forma de anión fosfato, soluble en agua, proceda de donde proceda. El potasio lo absorben también siempre en forma de catión potasio.

AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN (AC)

En relación al abonado debemos decir, en primer lugar, que la producción de los cultivos en la AC es similar a la de la agricultura convencional, por lo que son iguales las necesidades de nutrientes de los cultivos. Por otra parte, como las raíces quedan más superficiales, los abonos, cuando se reparten a voleo, pueden llegar más fácilmente hasta la zona radicular.

AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

Comprende una serie de técnicas que tienen como objetivo fundamental conservar, mejorar y hacer un uso más eficiente de los recursos naturales mediante un manejo integrado del suelo, el agua, los agentes biológicos y los medios de producción.
Las tres técnicas más conocidas dentro de la AC son:

- Siembra directa, que implica no-labranza o labranza cero. Los cultivos se siembran y crecen sin la alteración del suelo desde la cosecha anterior.
- Laboreo mínimo, en el que se realizan mínimas labores verticales entre los sucesivos cultivos.
- Cubiertas vegetales, adaptadas a cultivos leñosos.

La superficie ocupada en España por la agricultura de conservación es de unas 275 mil ha en siembra directa, 2,7 millones en mínimo laboreo (2,1millones en cultivos leñosos y 575 mil en cultivos herbáceos) y 1 millón en cubiertas vegetales.
La práctica del laboreo de conservación y sobre todo la siembra directa, implica algunas modificaciones sobre el cultivo tradicional, que deben tenerse presentes a la hora de hacer el abonado:

- El régimen de humedad de los suelos se modifica. Los suelos disponen de más agua. Hay menos evaporación y mayor infiltración.
- El suelo se vuelve más frío y hay menos oscilaciones térmicas.
- El horizonte superficial está más enriquecido en nutrientes.
- La materia orgánica y la actividad microbiana son mayores en los horizontes superficiales.
- Las raíces de los cultivos proliferan en el perfil superficial.
- La estructura del suelo se desarrolla de forma natural y la compactación disminuye.

En relación al abonado nitrogenado en la AC, por lo general se incrementa la materia orgánica y el nitrógeno orgánico del suelo, pero éste se transforma más lentamente, por lo que es recomendable al inicio del sistema aumentar las dosis de los fertilizantes nitrogenados. En la AC pueden producirse más pérdidas de nitrógeno por lixiviación, al mejorarse la infiltración, y también por volatilización, por la aplicación superficial de los fertilizantes amoniacales y de la urea. En cambio, las pérdidas por erosión se reducen.

Equipo de siembra-abonado

En relación al abonado fosfatado, la gran cantidad de restos orgánicos favorece la formación de fosfohumatos, lo que mejora la absorción del fósforo. La localización del abono fosfatado es recomendable en suelos muy deficientes de regiones frías y secas. En cuanto al abonado potásico la AC no añade dificultades en la absorción de este nutriente, muy condicio-

nado por el contenido y estructura de las arcillas del suelo.

La incorporación de elementos de abonado está siendo clave en los equipos de siembra directa, que utilizan un abridor propio o aprovechan los de la sembradora. La mayor parte de los equipos actuales de siembra a chorrillo pueden tener la tolva dividida o tener tolvas adicionales de abono.

Para el abonado de los cultivos, preferentemente cuando se emplean técnicas de siembra directa y mínimo laboreo, se pueden emplear, además de fertilizantes tradicionales, sólidos y líquidos, *fertilizantes microgranulados y fertilizantes de granulometría más fina*.

Los fertilizantes microgranulados están diseñados para su localización, junto a la semilla, en el momento de la siembra, siempre que se disponga de la maquinaria adecuada para su aplicación, y permiten, por su localización, la aplicación de menores dosis.

Los fertilizantes microgranulados, que normalmente contienen nitrógeno y un alto contenido en fósforo, dada su composición química y modo de aplicación cerca de la semilla, favorecen el rápido y homogéneo crecimiento de los cultivos en los estadíos iniciales de desarrollo, gracias a la formación de un potente sistema radicular, y pueden constituir la fertilización de fondo en suelos con adecuados contenidos en otros nutrientes.

AGRICULTURA DE PRECISIÓN (AP)

La aplicación de los fertilizantes con este sistema se basa en la recopilación de datos para ajustar el abonado a las necesidades de cada punto de la finca, identificado por GPS, mediante:

- Mapas de suelos: muestreo, toma de muestras y análisis de los suelos en cada punto. Esto permitirá conocer, sobre todo, las disponibilidades de fósforo y potasio asimilables.
- Mapas de producción: cosecha obtenida en cada punto, lo que permitirá saber las necesidades nutritivas del cultivo.

Existen dos métodos principales de muestreo del terreno: el sistemático, que consiste en dividir el terreno en zonas manteniendo una distancia determinada entre cada dos puntos, y el selectivo, que divide la finca en zonas de características similares, si es que se conoce bien el terreno.

Con los mapas de suelos y de producción de cada punto de la finca, identificado por GPS, se

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Es un concepto agronómico de la gestión de las explotaciones agrarias basado en la existencia de la variabilidad espacial dentro de las parcelas de una misma finca. Por tanto, en función de ella se realiza una aplicación variable de los factores productivos, en este caso de los fertilizantes, según las necesidades concretas de cada punto.

La AP está muy desarrollada en EEUU, donde muchas cosechadoras de cereales van equipadas con dispositivos que permiten hacer mapas de producción. En Europa su implantación es menor y en España se está iniciando.

La AP influye en los costes y en la producción y puede llegar a influir en la calidad. Aplicando correctamente los insumos, por ejemplo fertilizantes, necesarios en cada zona, se puede conseguir:

- Producciones más elevadas con las mismas cantidades de fertilizantes, pero distribuyéndolos más racionalmente.
- Igual producción con menor gasto de fertilizantes.

Tractor equipado con GPS

elabora por ordenador un programa de abonado ajustando disponibilidades y necesidades de nutrientes.

La distribución de los fertilizantes se lleva a cabo con máquinas abonadoras que pueden distribuir varios productos simultáneamente, de forma que la tolva de cada producto está unida a un sensor que regula la cantidad, que según el programa de abonado corresponde a ese punto identificado por el GPS.

También, se puede distribuir el abono en dosis variables basándose en que el color verde de las hojas del cultivo emite distintas radiaciones, en función de su nivel de nutrición, que son recogidas por sensores instalados en los equipos de abonado. Los datos de estos sensores son enviados a una unidad de control, que de acuerdo a un programa de abonado establecido, envía a la abonadora la cantidad de fertilizante que hay que incorporar.

Bibliografía

- ACEFER (Asociación Comercial Española de Fertilizantes), 2006. Agricultura ecológica en España – Uso de fertilizantes. Información Técnica nº 47.
- ACEFER (Asociación Comercial Española de Fertilizantes), 2006. Producción integrada – Aplicación de fertilizantes. Información Técnica nº 45.
- ACEFER (Asociación Comercial Española de Fertilizantes), 2007. Agricultura de conservación – Aplicación de fertilizantes. Información Técnica nº 52.
- ACEFER (Asociación Comercial Española de Fertilizantes), 2007. Agricultura de precisión – Aplicación de fertilizantes. Información Técnica nº 54.
- ANFFE (Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes), 2009. Desarrollo del mercado de fertilizantes en España.
- Arviza Valverde, J., 2001. Dispositivos para fertirrigación en sistemas de riego localizado. Vida Rural 15/02/01. pag. 34-40.
- BOE., 19/07/2005. Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes.
- Bartolini, C., 1989. La fertilidad de los suelos. Libros Mundi-Prensa. Madrid.
- Böckman, Oluf Chr., Hydro Agri, 1993. Agricultura y fertilizantes.
- Bohórquez, J.M., Gavilán, P y Salvatierra, B., 2008. Fertirrigación con riego localizado: un sistema en expansión. Agricultura nº 910. pag. 652-656.
- Cadahía López, C., 2005. Fertirrigación: Cultivos Hortícolas, Frutales y Ornamentales. Libros Mundi-Prensa. Madrid.
- Cadahía, C. et al, 2005. Fertirrigación. Libros Mundi-Prensa Madrid.
- Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Centro y Canarias, 1992. Aplicación de abonos y enmiendas en una agricultura ecocompatible. Editorial Agrícola Española, S.A.
- Darpoux y Debelley, 1967. Las plantas de escarda.
- De la Riva, F., 2004. La Fertilización en una Agricultura Competitiva y Compatible con el Medio Ambiente. IV Jornada Internacional de Medios de Producción Agrícola. Foro Agrario.
- Domínguez, A., 1990. El abonado de los cultivos. Libros Mundi-Prensa. Madrid.
- Domínguez, A., 1996. Fertirrigación. Agroguías, Libros Mundi-Prensa. Madrid.
- E. Truog, 1951. Procedure for special type of mechanical and mineralogical soil analysis.
- EFMA (European Fertilizer Manufacturers Association), 1997. Code of Best Agricultural Practice: Nitrogen.
- EFMA (European Fertilizer Manufacturers Association), 2000. Code of Best Agricultural Practice: Urea.
- EFMA (European Fertilizer Manufacturers Association), 2000. Sustenaible soil management an achievable goal.
- EFMA (European Fertilizer Manufacturers Association), 2000. Understanding Phosphorous and its use in Agriculture.
- EFMA (European Fertilizer Manufacturers Association), 2002. Harvesting Energy with Fertilizers.
- EFMA (European Fertilizer Manufacturers Association), 2003. Farming for the future.
- EFMA (European Fertilizer Manufacturers Association), 2003. Understanding Potassium and its use in Agriculture.
- EFMA (European Fertilizer Manufacturers Association), 2004. Understanding Nitrogen and its use in Agriculture.
- EFMA (European Fertilizer Manufacturers Association), 2006. Producing Bioenergy and Making the best of European land.
- EFMA (European Fertilizer Manufacturers Association), 2006. Sustaining Fertile Soils and Productive Agriculture.
- EFMA (European Fertilizer Manufacturers Association), 2005. Guía de compatibilidad para la mezcla de fertilizantes.
- ERT (Explosivos Río Tinto), 1986. Curso de fertilización.
- ERT-Fertilizantes (Explosivos Río Tinto), 1993. Curso sobre fertilización.
- Fageria, N.K., 2009. The use of nutrients in crop plants. CRC Press. Boca Raton. Fl.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2009. Studies Unit. Global agriculture: towards 2030/2050. Interim report. Prospects for food, nutrition, agriculture and major commodity groups. Global Perspective.
- Fernández-Escobar, R., 2002. Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas. Junta de Andalucía.

- Fertiberia, S. A., 2005. Determinación, interpretación y consecuencias prácticas del análisis de suelo.
- Fertiberia, S. A., 2003. Guía de abonado de los cultivos en fertirrigación. www.fertiberia.es
- FESA/ENFERSA, 1990. Curso de Análisis de Suelos. Departamento técnico.
- Fuentes, J.L., 1999. El Suelo y los Fertilizantes. MAPA.
- Gobierno de Aragón, 2006. Fertilización nitrogenada. Dirección Gral. Desarrollo Rural.
- Gros, A., 1981. Guía práctica de la fertilización. Libros Mundi – Prensa. Madrid.
- Guerrero, A., 1996. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Libros Mundi – Prensa. Madrid.
- Hofman, G. and Cleemput, O., 2004. Soil and Plant Nitrogen. IFA (International Fertilizer Industry Association).
- IFA (International Fertilizer Industry Association), 2002. Los fertilizantes y su uso.
- IFA (International Fertilizer Industry Association). The fertilizer industry – The key to world food supplies.
- INIA (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria), 2009. Metales pesados, materia orgánica y otros parámetros de los suelos agrícolas y de pastos de España. MARM.
- Isherwood, K.J., 2000. Mineral fertilizer use and the environment. IFA (International Fertilizer Industry Association).
- Küsters J. and Lammel, J., 1999. Investigation of the energy efficiency of the production of winter wheat and sugar beet in Europe. European Journal of Agronomy 11, 1999 35-43.
- Legrand, Félix, 2008. Los abonos. Editorial MAXTOR.
- Espada, J.L. 2009. El abonado de los frutales caducifolios.
- DOUE L 273, 2002. Reglamento (CE) nº 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo de 3 de octubre de 2002 por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales no destinados al consumo humano.
- DOUE L 304, 2003. Reglamento (CE) nº 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003 relativo a los abonos.
- Jenkinson, D., 1988/89. The long-term effects of nitrogen fertilizers. The Farmers Club J. no. 96, Jan-Dec.
- Jenkinson, D.S., 1982. The nitrogen cycle in long-term field experiments. Phil Trans. Royal Soc. London B. 296.
- Lindsay, W.L., 1979. Chemical Equilibria in Soils. J. Willey and Sons.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), 1996. Código Buenas Prácticas Agrícolas.
- MARM (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino), 2007. Balance del Fósforo en la Agricultura Española.
- MARM (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino), 2007. Balance del Nitrógeno en la Agricultura Española.
- MARM (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino), 2008. Anuario de Estadística Agroalimentaria.
- MARM (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino), 2008. Encuesta de Superficies y Rendimientos de Cultivos en España (ESYRCE).
- MARM (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino), 2009. Zonas Vulnerables a la contaminación de nitrato.
- Navarro, G., 2003. Química agrícola. Libros Mundi – Prensa. Madrid.
- Norks Hydro, 1990. Agricultura y Fertilizantes.
- Polo, A., 1991. Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. CCSI.
- Rincón Sánchez, L., 2007. Fertilizantes y disoluciones nutritivas en la fertirrigación múltiple. Vida Rural nº 246. pag. 60-63.
- Ruano Criado, S., 2007. Desarrollo de la fertirrigación en España. Vida Rural nº 246. pag. 55-58.
- Trenkel, M.E., 1997. Improving Fertilizer Efficiency. Controlled Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture. IFA.
- UNIFA (Union des Industries de la Fertilisation), 2005. ¿Porquoi fertiliser? ¿Comment fertiliser?.
- UNIFA (Union des Industries de la Fertilisation), 2005. Parlons de la fertilisation.
- Urbano, P., 1989. Tratado de Fitotecnia General. Libros Mundi – Prensa. Madrid.
- Urbano, P., 2002. Fitotecnia: Ingeniería de Producción Vegetal. Ediciones Mundi–Prensa. Madrid.
- USDA (United States Department of Agriculture),1977. National Soil Survey Manual.
- Villar Mir, J.M., 2003. La química y su contribución a la alimentación humana – Los fertilizantes. Fertiberia, S.A.

Figuras, Tablas y Mapas

Parte I

Figuras

1.1 Rendimientos de cereales con y sin fertilizantes 14
1.2 Evolución y previsión del consumo anual de N, P_2O_5 y K_2O en España. Periodo 1989/90-2018/19 15
1.3 Población mundial 16
1.4 Consumo per cápita (todos los usos) de los cereales por especies 16
1.5 Energía producida en 1 ha de trigo 17
1.6 CO_2 fijado en 1 ha de trigo 17

2.1 Esquema básico de la nutrición de los cultivos 19
2.2 Composición media de una planta (% de materia seca) 20
2.3 Fertilidad del suelo 23
2.4 Ley del mínimo 24
2.5 Ley de los rendimientos decrecientes Mistcherlich....24

3.1 Composición óptima volumétrica de un suelo cultivado 26
3.2 Diagrama triangular para la determinación de la textura 26
3.3 Disponibilidad de los nutrientes en función del pH del suelo 29

4.1 Esquema de las transformaciones de la materia orgánica del suelo 34
4.2 Fracciones constituyentes del humus 35

5.1 Intercambio catiónico del suelo 37
5.2 Reacción de intercambio catiónico 38

7.1 Esquema básico de fabricación de fertilizantes minerales 52

8.1 Manejo integrado de una explotación agraria. Equilibro entre productividad y responsabilidad ambiental 63

9.1 Ciclo del Nitrógeno 68
9.2 Crecimiento del maíz y absorción de elementos nutritivos 69

10.1 Formas del fósforo en el suelo 75
10.2 Formas y evolución del fósforo en el suelo.....76
10.3 Determinación de la fertilización fosfatada 77

11.1 Formas del potasio en el suelo 81
11.2 Formas y evolución del potasio en el suelo 82
11.3 Determinación de la fertilización potásica 83

13.1 Diagrama de distribución transversal. Abonadoras de proyección 96

14.1 Esquema del proceso de fertirrigación 105

Tablas

1.1 Consumo de N, P_2O_5 y K_2O por cultivos en España. Año 2006/2007 15

3.1 Cantidad de nitrógeno aportado con el agua de riego, según consumo de agua y contenido en nitratos (kg/ha) 29

4.1 Humus generado por distintas fuentes orgánicas 35
4.2 Aportación anual al suelo de N procedente de la materia orgánica 36

6.1 Limites de concentración en metales pesados (productos fertilizantes orgánicos) 42
6.2 Abonos orgánicos: contenido mínimo en nutrientes (% en masa) 43
6.3 Abonos órgano-minerales: contenido mínimo en nutrientes (% en masa) 44
6.4 Enmiendas orgánicas: especificaciones 45
6.5 Valores medios de los parámetros agronómicos de un compost 46

6.6 Aportaciones de estiércol recomendadas y periodicidad de aplicación en condiciones medias 47
6.7 Composición media de estiércoles de diferentes especies (%)....47

7.1 Características de los abonos nítrico-amoniacales más utilizados en España....54
7.2 Características de la urea....54
7.3 Características del sulfato amónico 55
7.4 Características de las soluciones nitrogenadas 56
7.5 Características de los superfosfatos....56
7.6 Características de los abonos potásicos simples....57
7.7 Abonos complejos NPK más consumidos en España 58
7.8 Características del DAP y MAP....59
7.9 Compatibilidad de varios materiales para fabricar fertilizantes compuestos de mezcla 59

10.1 Niveles de fósforo en el suelo según la textura 79

11.1 Niveles de potasio en el suelo según la textura 84

12.1 Necesidades medias de caliza pura finamente dividida para incrementar 0,5 unidades de pH al suelo en función de su pH inicial, textura y composición orgánica (t/ha) 86
12.2 Contenidos medios de micronutrientes en suelos 89

14.1 Superficie de riego localizado por Comunidades Autónomas. Año 2008 103
14.2 Superficie de riego localizado por cultivos. Año 2008 103
14.3 Abonos sólidos más usados en fertirrigación en España 106
14.4 Abonos líquidos más usados en fertirrigación en España 106
14.5 Compatibilidad entre los fertilizantes más usados en fertirrigación 107

15.1 Superficie declarada como Zonas Vulnerables por CC.AA. Año 2009....109

Mapas

3.1 pH de los suelos de España 30

4.1 Materia Orgánica de los suelos de España....36

10.1 Contenido en fósforo asimilable de los suelos españoles....79

11.1 Contenido en potasio asimilable de los suelos españoles....84

15.1 Zonas Vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de la agricultura en España. Año 2009 ..110