

Medios de Producción Agrícola

Manual de Conocimiento y Uso



Consejería de Agricultura y Pesca

**MEDIOS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA.
MANUAL DE CONOCIMIENTO Y USO**

MEDIOS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA. MANUAL DE CONOCIMIENTO Y USO

© Edita: JUNTA DE ANDALUCÍA. *Consejería de Agricultura y Pesca.*

Publica: VICECONSEJERÍA. Servicio de Publicaciones y Divulgación.

Colección: AGRICULTURA

Serie: MEDIOS DE PRODUCCIÓN

Dirección: Norberto Fernández Mancilla¹ y Rafael Cabrera García¹

Coordinación y Síntesis: Rafael Cabrera García¹, Alfonso G^a-Ferrer Porras² y Manuel Sánchez de la Orden²

Autores: Jesús López Giménez², Juan Domínguez Giménez³, Miguel Ángel Parra Rincón², Luis García Torres⁴, Carmen Giménez Padilla² e Ignacio Lorite Torres⁴.

Ilustraciones: Autores

Depósito Legal: SE. 1.261 - 2003

Fotocomposición e impresión: J. de Haro Artes Gráficas, S.L. Parque Ind. P.I.S.A.
Mairena del Aljarafe • Sevilla

1. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. Dirección General de la Producción Agraria

2. Universidad de Córdoba. E.T.S. Ingenieros Agrónomos y Montes

3. Junta de Andalucía. Centro de Investigación y Formación Agraria de Córdoba

4. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto de Agricultura Sostenible

MEDIOS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA MANUAL DE CONOCIMIENTO Y USO

- **Maquinaria Agrícola**
- **Semillas**
- **Fertilización**
- **Tratamientos fitosanitarios**
- **Riego**

PRESENTACIÓN:

Los medios de producción agrícola, han sido siempre la base para el desarrollo de una agricultura avanzada, propiciada tanto por la mecanización como por el aumento de producción y la reducción de costes en los distintos cultivos. Con ellos se han ido desarrollando nuevas tecnologías y sistemas de cultivo enfocados hacia una conservación del medio ambiente, mediante la adecuación de la mecanización, producción, aportes de nutrientes y tratamientos a una agricultura que no degrade el medio físico allí donde se desarrolla, ni contamine su entorno.

Por ello, el conocimiento y buen uso de los medios empleados en la agricultura constituyen parte fundamental de los criterios de buenas prácticas agrícolas, que permiten un desarrollo compatible entre una agricultura tecnológicamente avanzada y el medio ambiente en el entorno que la rodea.

Con la publicación de este Manual de Conocimiento y Uso de los medios de producción agrícola, la Consejería de Agricultura y Pesca pone a disposición de sus usuarios una herramienta que va a ofrecerles una valiosa información sobre sus componentes, sobre formas óptimas para su uso y aplicación, y, en definitiva, sobre métodos para rentabilizar los esfuerzos de tantos profesionales de la agricultura.

Paulino Plata Cánovas
Consejero de Agricultura y Pesca

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I: MAQUINARIA AGRÍCOLA

| | |
|---|----|
| 1. Tractores | 15 |
| 1.1. Potencias de un tractor | 15 |
| 1.2. Curvas características | 16 |
| 1.3. Balance de potencias | 17 |
| 1.4. Toma de fuerza | 18 |
| 1.5. Neumáticos | 20 |
| 1.6. Distribución de pesos | 23 |
| 1.7. Lastrado | 24 |
| 1.8. Posibilidades de ahorro de energía | 25 |
| 2. Máquinas para laboreo | 26 |
| 2.1. Capacidad de trabajo de una máquina | 26 |
| 2.2. Clasificación de los aperos de laboreo | 28 |
| 2.3. Subsoladores | 29 |
| 2.4. Arados de vertedera | 30 |
| 2.5. Arados de discos | 32 |
| 2.6. Fresadoras | 33 |
| 2.7. Chisel | 34 |
| 2.8. Cultivadores | 35 |
| 2.9. Gradas | 37 |
| 2.9.1. Gradas de discos | 37 |
| 2.9.2. Gradas de púas | 38 |
| 2.9.3. Gradas rodantes de estrellas | 39 |
| 2.10. Rodillos | 40 |
| 2.11. Combinación de aperos | 42 |
| 2.12. Maquinaria para sistemas de laboreo de conservación | 43 |
| 2.13. Máquinas para siembra directa | 44 |
| 3. Máquinas de recolección | 46 |
| 3.1. Consecadoras de cereales | 46 |
| 3.2. Recolección de algodón | 52 |
| 3.3. Recolección de remolacha | 57 |
| BIBLIOGRAFÍA | 60 |

CAPÍTULO II: SEMILLAS

| | |
|-------------------------------------|----|
| 1. Concepto de semilla | 63 |
| 1.1. Botánico | 63 |
| 1.2. Agrícola | 63 |

| | |
|---|----|
| 2. Función de la Semilla en | 64 |
| 2.1. La Naturaleza | 64 |
| 2.2. La Agricultura | 64 |
| 3. Sistemas reproductivos | 64 |
| 3.1. Vegetativo | 64 |
| 3.2. Sexual..... | 65 |
| 3.2.1. Autogamia | 65 |
| 3.2.2. Alogamia | 65 |
| 4. Concepto de Cultivar o variedad comercial | 66 |
| 5. Variedades Locales | 67 |
| 6. Importancia de la mejora genética en el desarrollo de nuevos cultivares | 68 |
| 7. Aspectos cualitativos de la semilla | 69 |
| 7.1. Calidad genética | 69 |
| 7.1.1. Evaluación de las variedades | 70 |
| 7.1.2. Identificación de las variedades | 71 |
| 7.1.3. Comprobación de la pureza de la variedad | 72 |
| 7.1.4. Controles para preservar la calidad genética | 74 |
| 7.2. Viabilidad y germinación de las semillas | 75 |
| 7.3. Pureza de la semilla..... | 75 |
| 7.4. Calidad sanitaria | 76 |
| 7.5. Calidad física..... | 77 |
| 7.6. Control de la calidad durante el proceso de producción de semilla .. | 77 |
| 7.7. Certificación de semilla | 78 |
| 7.8. Control de la calidad durante el proceso de comercialización de la semilla..... | 80 |
| 8. Producción de Semillas | 80 |
| 8.1. Planificación del cultivo | 81 |
| 8.2. Cultivando para producir semillas | 82 |
| 8.3. Recolección..... | 83 |
| 8.4. Importancia del contenido en humedad de las semillas..... | 83 |
| 8.5. Acondicionamiento de las semillas post-recolección | 84 |
| 8.6. Limpieza de la semilla | 84 |
| 8.6.1. Maquinaria especializada..... | 85 |
| 8.6.2. Muestreo | 87 |
| 8.7. Tratamiento de las semillas | 87 |
| 9. Elección de la variedad a sembrar | 89 |
| 9.1. Importancia de la elección | 90 |
| 9.2. Adaptabilidad..... | 90 |

| | |
|---|------------|
| 9.3. Especificidad | 91 |
| 9.3.1. Características y manejos especiales | 91 |
| 9.4. Información | 92 |
| 9.4.1. Fuentes más importantes de información | 92 |
| 9.4.2. Contraste de la información..... | 93 |
| 10. Compra de la Semilla | 93 |
| 10.1. Dónde, a quién y que comprar | 94 |
| 11. Características de las Semillas adquiridas | 94 |
| 11.1. Instrucciones del productor | 94 |
| 11.2. Las etiquetas oficiales | 95 |
| 12. Sembradoras | 96 |
| 12.1. Tipos de sembradoras | 96 |
| 12.2. Sembradoras adecuada para cada tipo de siembra y semilla | 98 |
| 12.3. Dosis de siembra..... | 99 |
| 12.3.1. Cálculo de la dosis de siembra | 99 |
| 12.3.2. Precauciones a tomar | 99 |
| 13. La operación de siembra | 100 |
| 13.1. Labores previas | 100 |
| 13.2. Aplicación de herbicidas de presiembr..... | 101 |
| 13.3. Tempero | 101 |
| 13.4. Sembrando | 101 |
| 13.5. Prácticas inmediatas tras la siembra..... | 102 |
| CAPÍTULO III: FERTILIZACIÓN | 103 |
| 1. El Suelo agrícola | 105 |
| 1.1. Perfil y horizontes del suelo | 105 |
| 1.2. Interpretación del perfil del suelo: Propiedades relevantes para la nutrición vegetal | 107 |
| 1.2.1. Complejo Arcilloso-Húmico..... | 107 |
| 1.2.2. Profundidad efectiva | 107 |
| 1.2.3. pH del suelo | 108 |
| 1.2.4. Salinidad y exceso de sodio | 110 |
| 2. Elementos minerales esenciales y nutrición de la plantas | 112 |
| 2.1. Macronutrientes y micronutrientes | 112 |
| 2.2. Como se alimentan las plantas: Importancia de la disolución del suelo y de su renovación..... | 112 |
| 2.3. Comportamiento de los macronutrientes primarios en el suelo | 113 |
| 2.3.1. Nitrógeno (símbolo N) | 113 |

| | |
|---|------------|
| 2.3.2. Fósforo (símbolo P) | 113 |
| 2.3.3. Potasio (símbolo K) | 113 |
| 3. La Fertilización y su fundamento. Plan de Abonado | 114 |
| 3.1. La cantidad de cada nutriente a aplicar como fertilizante | 114 |
| 3.1.1. Cultivos anuales. Nitrógeno (N) | 115 |
| 3.1.2. Cultivos anuales. Fósforo (P) y Potasio (K) | 122 |
| 3.1.3. Cultivos perennes. Utilización del análisis foliar | 124 |
| 4. Fertilizantes | 127 |
| 4.1. Definición | 127 |
| 4.2. Riqueza garantizada: expresión y ejemplos | 128 |
| 4.3. Elección del fertilizante y época de aplicación | 128 |
| 4.4. Tipos de fertilizantes | 129 |
| 4.4.1. Fertilizantes minerales..... | 129 |
| 4.4.1.1. <i>Fertilizantes minerales simples</i> | 129 |
| 4.4.1.2. <i>Fertilizantes minerales compuestos</i> | 133 |
| 4.4.1.3. <i>Fertilizantes minerales complejos</i> | 134 |
| 4.4.1.4. <i>Fertilizantes de liberación lenta</i> | 134 |
| 4.4.2. Fertilizantes orgánicos..... | 136 |
| 5. Maquinaria para la aplicación de fertilizantes | 136 |
| 5.1. Distribuidoras por gravedad | 137 |
| 5.2. Distribuidoras centrífugas..... | 137 |
| 5.3. Distribuidoras neumáticas | 137 |
| 5.4. Distribuidoras en líneas o localizadoras | 138 |
| 5.5. Regulaciones y rendimientos..... | 138 |
| ANEXO I.- Toma de muestras de tierra..... | 140 |
| ANEXO II.- Muestreo de hojas | 141 |
| | |
| CAPÍTULO IV: TRATAMIENTOS FITOSANITARIOS | 143 |
| 1. Introducción..... | 145 |
| 2. Grupos de Fitosanitarios, características y estado actual de su desarrollo..... | 146 |
| 2.1. Herbicidas..... | 146 |
| 2.2. Insecticidas | 152 |
| 2.3. Fungicidas..... | 154 |
| 3. Evolución del uso fitosanitarios en la UE, España y Andalucía | 156 |
| 4. Garantía sanitaria y ecotoxicología | 161 |

| | |
|---|------------|
| 4.1. El Registro único europeo de productos fitosanitarios | 162 |
| 4.2. Degradación y Residuos de los fitosanitarios. Límites máximos tolerados..... | 164 |
| 4.3. Programas de vigilancia de residuos fitosanitarios en los alimentos | |
| 5. Tendencias en la agricultura al uso de fitosanitarios | 169 |
| 5.1. Agricultura Ecológica/Biológica/Orgánica | 169 |
| 5.2. Producción integrada | 170 |
| 5.3. Agricultura de conservación | 171 |
| 5.4. Uso de cultivares transgénicos | 172 |
| 5.5. Agricultura de precisión | 173 |
| 6. Técnicas y equipos de aplicación de productos fitosanitarios | 174 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 181 |
| | |
| CAPÍTULO V: RIEGO | 183 |
| 1. Balance de agua en el suelo..... | 185 |
| 1.1. Componentes del balance de agua | 185 |
| 1.2. Agua almacenada en el suelo | 186 |
| 1.3. Agua utilizada por el cultivo | 190 |
| 1.3.1. El cultivo | 190 |
| 1.3.2. El ambiente | 192 |
| 2. Programación de Riegos..... | 193 |
| 2.1. Elección de cuándo regar..... | 194 |
| 2.2. Elección de cuánto regar | 194 |
| 2.3. Programación de riegos para riego localizado | 195 |
| 2.4. Otros métodos usados para la programación de riegos | 195 |
| 3. Sistemas de Riego..... | 197 |
| 3.1. Riego por superficie..... | 197 |
| 3.1.1. Riego por inundación..... | 198 |
| 3.1.2. Riego por surcos | 199 |
| 3.2. Riego por aspersión..... | 199 |
| 3.2.1. Aspersión tradicional..... | 200 |
| 3.2.2. Métodos pivotantes..... | 200 |
| 3.3. Riego localizado | 201 |
| 4. Calidad del agua de riego..... | 202 |
| 4.1. Salinidad | 202 |
| 4.2. Sodio, carbonatos, cloruros y Boro..... | 205 |

| | |
|---|-----|
| 5. Manejo del riego en condiciones de estrés | 206 |
| 5.1. Disponibilidad limitada de agua de riego | 206 |
| 5.2. Salinidad | 207 |

CAPÍTULO I

MAQUINARIA AGRÍCOLA

Jesús López Giménez (*)

* Universidad de Córdoba. E.T.S. Ingenieros Agrónomos y Montes.

MAQUINARIA AGRÍCOLA

1. TRACTORES

1.1. POTENCIAS DE UN TRACTOR.

A la hora de elegir un tractor, uno de los datos más importantes a tener en cuenta es su potencia. La potencia expresa la capacidad que tiene el tractor para realizar trabajo y viene dada por el trabajo realizado en la unidad de tiempo ($\text{kJ/s} = \text{kW}$; $1 \text{ kW} = 1,36 \text{ CV}$). No obstante, existen diferentes valores de potencia según el método o norma de ensayo utilizada para su obtención.

Tabla 1. Normas de ensayo de un tractor.

| <i>Norma</i> | <i>Régimen del motor</i> | <i>Condiciones del ensayo</i> |
|--------------------------------------|--|---|
| Norma ASAE (1995) (Americana) | Régimen nominal del motor | <ul style="list-style-type: none"> - Se ensaya solo el motor al volante del cigüeñal - Se eliminan los elementos accesorios (filtro de aire, sistema de escape, ventilador, etc). |
| Norma DIN 70020 (Alemana) | Régimen nominal del motor* | <ul style="list-style-type: none"> - Se ensaya solo el motor al volante del cigüeñal - Se mantienen todos los elementos accesorios |
| Norma OCDE (1988) (Europea) | Régimen nominal del motor* | - Se ensaya el tractor a la t.d.f. con todos sus elementos |
| Código OCDE (1961) (Homologación) | Régimen normalizado de la t.d.f.: a 540 o 1000 rpm | - Se ensaya el tractor a la t.d.f. con todos sus elementos |

* El **régimen nominal** del motor está establecido por el fabricante como el número de revoluciones por minuto más adecuado para obtener las mejores prestaciones de un motor.

Las **potencia fiscal** no tiene nada que ver con las prestaciones de un tractor; se establece por la Administración a efectos fiscales en función de la cilindrada y número de cilindros del motor.



1.2. CURVAS CARACTERÍSTICAS.

Para conocer bien las prestaciones de un tractor así como las óptimas condiciones de funcionamiento no basta con el conocimiento de la potencia homologada sino que es conveniente disponer al menos de sus curvas características de **par motor (M)**, **potencia (N)** y **consumo específico (q)** en función del régimen de giro del motor, obtenidas del ensayo homologado a la toma de fuerza en régimen de alimentación máxima por lo que representa el techo de prestaciones máximas de un tractor.

Siendo:

- El par motor (Nm), el cociente entre la potencia y la velocidad de giro del motor
- El consumo específico (g/kW-h) viene dado por la cantidad de combustible que consume el motor, expresada en gramos, para obtener un kW de potencia durante una hora (un kW-h de trabajo efectivo).
- El consumo horario (g/h o l/h) expresa la cantidad de combustible consumido en la unidad de tiempo. Se obtiene a partir del consumo específico, multiplicándolo por la potencia desarrollada.

De la información que suministran estas curvas fijaremos la atención en el régimen de la potencia máxima, la zona de consumos mínimos y la elasticidad del motor.

Como norma práctica a seguir diremos que se debe trabajar al 70-80% del régimen máximo o con una caída de régimen del motor entre 150 y 200 rev/min en trabajos de tracción.

Un motor es elástico si la curva de par motor tiene pendiente negativa, ofreciendo una reserva de par que puede ser del 25 al 30%. La reserva de par viene dada por la diferencia entre el par máximo y el par que corresponde al régimen de potencia máxima. Esta característica expresa la capacidad de reacción que tiene el motor para superar aumentos momentáneos de carga reduciendo el régimen de giro sin necesidad de cambiar de marcha.

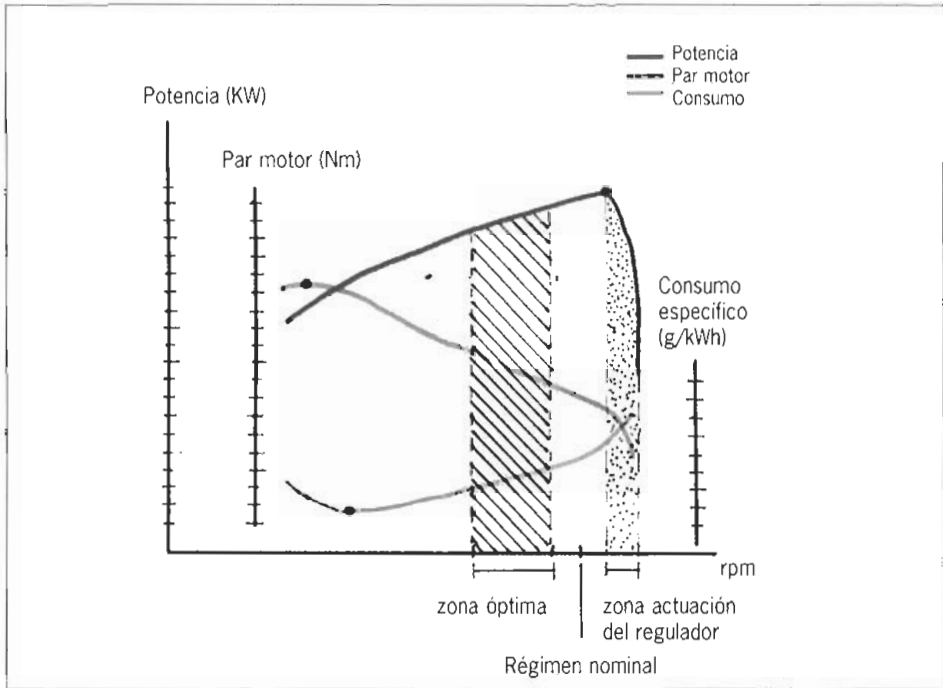


Fig 1. Curvas características de un motor

1.3. BALANCE DE POTENCIAS

La potencia que desarrolla el motor de un tractor (N_m) se invierte en los distintos órganos de trabajo: eje de las ruedas (N_e), toma de fuerza (N_{tdf}), sistema hidráulico (N_h) y las pérdidas en la transmisión (N_t).

$$N_m = N_e + N_{tdf} + N_h + N_t$$

A su vez la potencia que recibe el eje de las ruedas (N_e) se gasta en los siguientes conceptos: vencer la rodadura, vencer las pendientes, realizar tracción a la barra y en pérdidas por resbalamiento.

$$N_e = N_R + N_\alpha + N_b + N_\sigma$$

N_R (kW) = R (kN) · v_r (m/s); R = resistencia a la rodadura total; v_r = velocidad real

N_α (kW) = $P \sin \alpha$ (kN) · v_r (m/s); P = peso del tractor

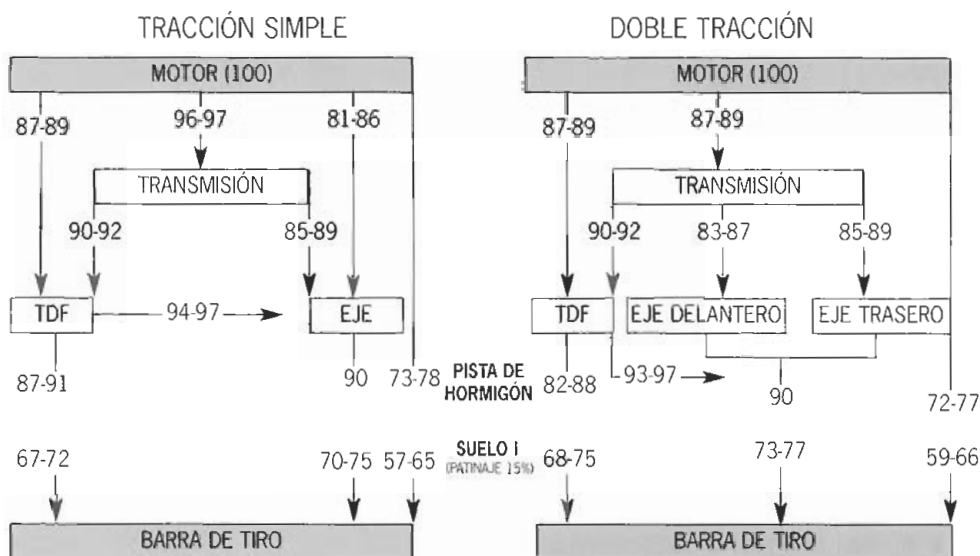
N_b (kW) = Z (kN) · v_r (m/s) ; Z = esfuerzo de tracción que realiza

$N_\sigma = \sigma N_e$, siendo σ el resbalamiento expresado en %.



El resbalamiento viene dado por el cociente: $\sigma = (v_t - v_r) / v_t$, siendo v_t la velocidad teórica y v_r la velocidad real.

En los siguientes esquemas se representa los rendimientos en la transmisión de potencia desde el motor a la barra de tiro para tractores de simple y doble tracción en dos supuestos: sobre pista de hormigón y sobre un suelo medio con un resbalamiento del 15%.



1.4. TOMA DE FUERZA

Son unos pequeños ejes estriados que disponen los tractores con salida de potencia para el accionamiento de aperos (subsoladores vibrantes, fresadoras, cavadoras, gradas móviles, etc), equipos de tratamientos (bombas, ventiladores, agitadores), equipos de abonado y siembra (abonadoras centrífugas, discos, turbinas, boquillas oscilantes, etc) y sobre todo máquinas de recolección (segadoras, empacadoras,...), así como grupos de bombeo y máquinas de almacén y granja.

Para asegurar la polivalencia de empleo en el tractor así como que un mismo apero o máquina pueda conectarse a diferentes tractores, las tomas de fuerza deben cumplir unas normas en cuanto a ubicación, medidas y estriado del eje y velocidad de giro. El sentido de giro normalizado es "a derechas" observado desde la parte trasera del tractor.

Existen tres categorías de t.d.f. que tienen, evidentemente, dimensiones y características diferentes y una propuesta de norma de una cuarta categoría capaz de transmitir mayor potencia. Se recogen en el siguiente cuadro.

Tabla 2. Características de las diferentes categorías de tomas de fuerza.

| Categoría | 1 | 2 | 3 | 4* |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| Diámetro del eje (mm) | 35 | 35 | 45 | 57 |
| Nº de acanaladuras | 6 | 21 | 20 | 18 |
| Velocidad nominal (rpm) | 540 | 1000 | 1000 | 1000 |
| Pot. máx. que pueden transmitir, kW (CV) | 48 (65) | 92 (125) | 132 (180) | 340 (462) |
| Altura sobre el suelo (mm) | 450 a 675 | 550 a 775 | 650 a 875 | 800 a 1060 |

*Propuesta de Norma.

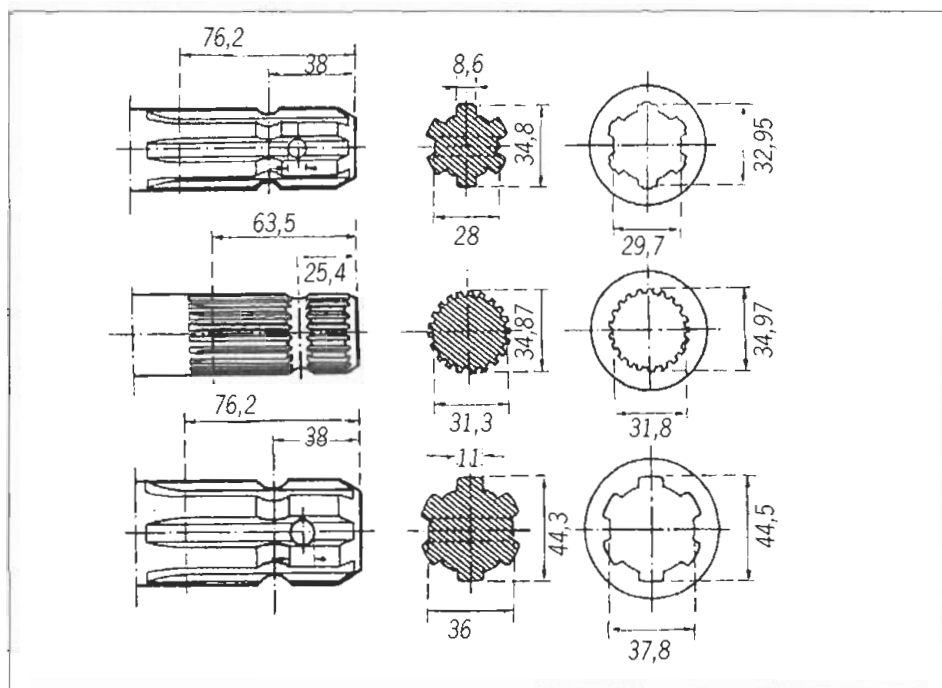


Fig 2. Tomas de fuerza normalizadas



Tipos de t.d.f. según su accionamiento.

La transmisión del movimiento del motor a la t.d.f. se realiza generalmente a través de un embrague y un mecanismo de conexión accionado por una palanca. Según su forma de accionamiento se distinguen cuatro tipos de t.d.f.

Tabla 3. Tipos de tomas de fuerza según su accionamiento.

| Tipo de toma de fuerza | Accionamiento | Funcionamiento |
|-----------------------------------|---|--|
| Dependiente | A través del mismo embrague de la caja de velocidades del tractor | Con el embrague conectado el tractor avanza y la t.d.f. gira; cuando se desconecta el embrague se paran el tractor y la t.d.f. |
| Independiente | A través de un embrague distinto al de la caja de velocidades | El embrague de la t.d.f. se acciona por un pedal independiente del pedal del embrague de la caja de velocidades |
| Semidependiente | A través de un embrague doble | En el primer recorrido del pedal se desconecta la t.d.f. y en el segundo se suspende la transmisión a la caja de velocidades |
| Sincronizada o "de camino" | Desde el eje de salida de la caja de velocidades | La velocidad de giro de la t.d.f. es proporcional al avance |

1.5. NEUMÁTICOS

Código de identificación de un neumático: Las características de un neumático se recogen en el flanco de la cubierta incluyendo unas cifras y letras que hacen referencia a sus dimensiones, relación de forma, capacidad de carga, presión de inflado y velocidad recomendada.

Dimensiones de un neumático: vienen dadas por la anchura nominal B (anchura entre los flancos del neumático) y el diámetro de la llanta D (distancia entre los resaltes de la llanta donde apoyan los talones del neumático), expresados en pulgadas, en la forma B-D. Para los neumáticos delanteros de un tractor (ruedas no motrices) y de vehículos ligeros de "todo terreno" se utiliza una notación simplificada con solo estas dos cifras.



Por ejemplo: **6,5-16** indica que se trata de un neumático cuya anchura es de 6,5 pulgadas y el diámetro de la llanta en la que se debe montar es de 16 pulgadas.

En estos neumáticos, así como en los vehículos pesados, puede utilizarse una notación con tres cifras en la que la del medio es la relación altura/anchura (relación de forma), expresada en porcentaje del balón.

Por ejemplo: **9,5/85-15** indica que se trata de un neumático con una anchura de balón de 9,5 pulgadas a montar en una llanta de 15 pulgadas y cuya altura del balón es el 85% de su anchura.

Relación de forma: es el cociente entre la altura **h** y la anchura **b** del neumático. Atendiendo a esta relación los neumáticos se clasifican en:

- normal o standard, para $h/b = 100\%$
- base ancha o de bajo perfil, para $h/b = 75-85\%$
- base extra ancha, para $h/b = 60-70\%$

Capacidad de carga: es el peso que puede soportar el neumático para una presión dada y un límite de velocidad establecido. Depende de su resistencia que viene dada por el número PR (número de lonas o Play Rating). Generalmente se representa por un número (índice de carga) que tiene una equivalencia con la capacidad de carga en kg.

Presión de inflado: generalmente se representa con unas estrellas (de una a tres) correspondiéndose con distintas presiones de inflado recomendadas:

- una estrella (★): presión recomendada de 1,6 bar; aplicable a tractores agrícolas
- dos estrellas (★★): presión recomendada de 2,4 bar; aplicable a maquinaria de obras públicas.
- tres estrellas (★★★): presiones del orden de 3,2 bar y superiores; aplicable a cosechadoras de cereales y otras máquinas pesadas.

Código de velocidad para un neumático: expresa la velocidad máxima recomendada con relación a la carga que soporta. Tiene la siguiente equivalencia.

| Símbolo | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | B | C | D | E | F | G |
|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Velocidad máx. (km/h) | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 65 | 70 | 80 | 90 |

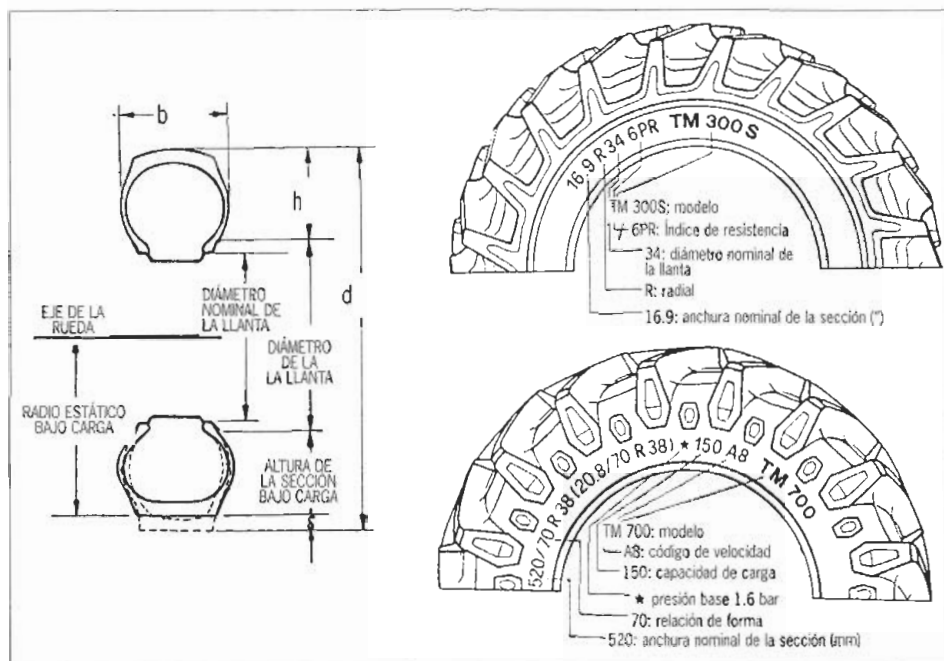


Fig 3. Dimensiones y códigos de un neumático agrícola

Por ejemplo (Fig. 3):

- Un neumático con el código **16,9 R 34 6PR** significa: 16,9 pulgadas de anchura del balón; R, neumático del tipo radial; 34 pulgadas de diámetro de la llanta; 6 PR, índice de resistencia.
- Un neumático con el código **520/70 R 38 (20,8/70 R 38) * 150 A8** significa: 520 mm de anchura; 70, relación de forma; (20,8/70 R 38) corresponde a la notación antigua; *, presión de inflado de 1,6 bar; 150, índice de carga que equivale a 3350 kg; A8, representa la velocidad máxima recomendada de 40 km/h.

Como elegir un neumático

A partir del establecimiento del calendario de tareas a realizar, se puede establecer el tipo de neumático más adecuado:

- Para el transporte por carretera: neumático con nervios en ángulos más agudos que mejoran la conducción y alarga la duración del neumático.
- Para suelos duros: cubiertas con gran resistencia mecánica.

- Presiones de inflado: baja para labores en el campo y alta para el transporte por carretera.

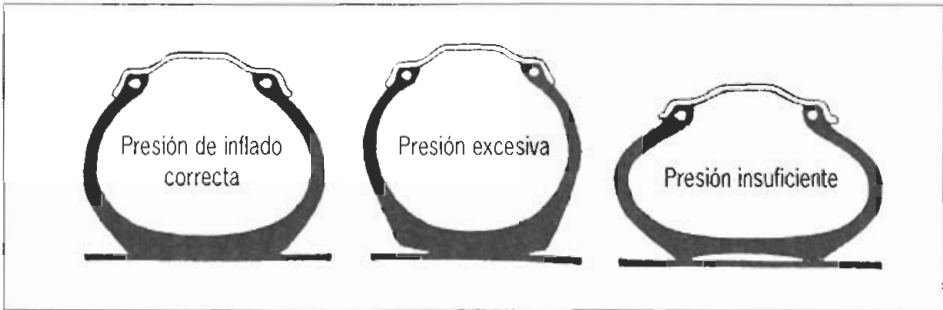


Fig 4. Presiones de inflado correctas e incorrectas

1.6. DISTRIBUCIÓN DE PESOS

El peso de un tractor influye en el resbalamiento, en la resistencia a la rodadura y en el esfuerzo de tracción que puede realizar. Cuanto mayor sea su peso sobre las ruedas motrices mayor es el esfuerzo de tracción que puede realizar, pero al aumentar el peso también aumenta la compactación y la resistencia a la rodadura.

De igual forma, un aumento de la potencia disponible en el eje de las ruedas, sólo se convierte en un incremento de la capacidad de tiro si se produce un aumento proporcional de peso sobre las ruedas motrices.

La capacidad de un tractor para realizar esfuerzos de tracción viene dada por el coeficiente de tracción, definido por el cociente entre la tracción neta y la reacción del suelo sobre el eje trasero. La tracción neta viene dada por la fuerza periférica (par en el eje dividido por el radio de la rueda) menos la resistencia a la rodadura de esa rueda motriz.

$$\chi = T/B$$

En tractores de tracción simple, la distribución de pesos entre ejes es de un 35-40% en el eje delantero y el resto, 60-65%, en el eje trasero. En términos generales, se debe procurar que el peso delantero nunca resulte inferior a la mitad del peso trasero para aperos suspendidos ni menor que la tercera parte cuando se trabaja con aperos arrastrados.

En tractores de doble tracción la distribución puede ser la siguiente: 45-48% en el eje delantero y el resto en el eje trasero.



Estas distribuciones de pesos pueden verse modificadas por la acción de lastrado.

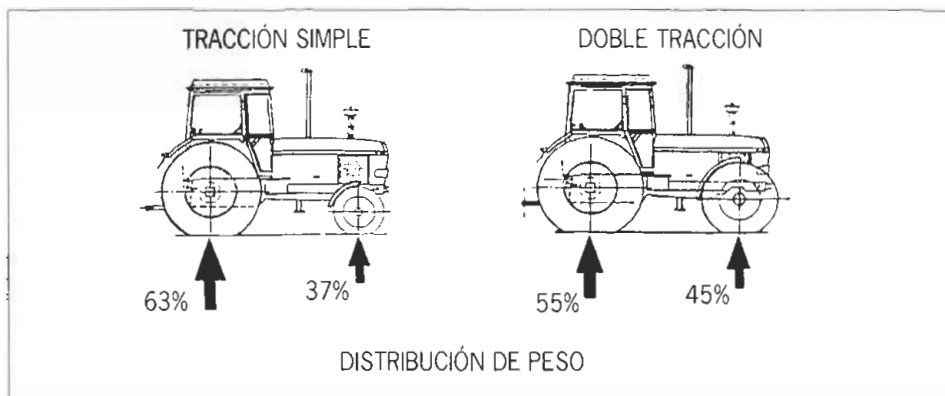


Fig. 5. Distribución de pesos en tractores de simple y doble tracción.

1.7. LASTRADO

El aumento de peso de un tractor se puede conseguir con el lastrado utilizando contrapesos en el eje delantero y/o trasero o bien lastrando con agua las ruedas del eje trasero.

El empleo de contrapesos en el eje delantero en tractores de tracción simple no mejora directamente la capacidad de tracción pero contribuye a la estabilidad y seguridad del vehículo, sobre todo cuando se utiliza el elevador del enganche a los tres puntos.

Los contrapesos en las ruedas motrices deben estar limitados por la capacidad del neumático o por la del tractor.

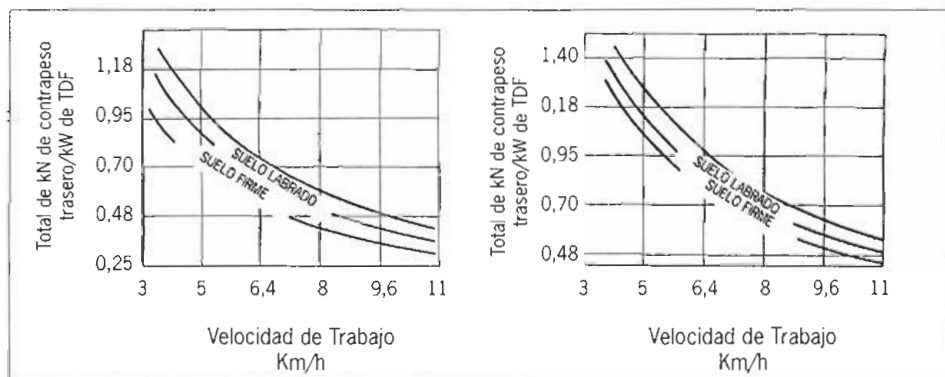


Fig. 6. Guías de contrapesado

Existen guías de contrapesado que nos indican el lastre recomendado (kN) en función de la potencia (kW), la velocidad de trabajo (m/s) y condiciones de suelo y apero (Fig. 6).

Sin embargo hay que tener presente que la incorporación de lastre incrementa el peso del tractor y, en consecuencia, produce un aumento de la resistencia a la rodadura. E igualmente, el empleo de contrapesos innecesarios da lugar a un aumento del consumo de combustible.

1.8. POSIBILIDADES DE AHORRO DE ENERGÍA

Las posibilidades de ahorro de energía en el empleo de tractores y máquinas agrícolas se pueden orientar hacia la reducción de las pérdidas (en el motor, en rodadura y resbalamiento), a la adaptación del tamaño de tractor y apero, la elección de la marcha en la que el motor se sitúa en puntos de funcionamiento de mínimo consumo o a la organización del trabajo y elección de las técnicas que demanden menos energía.

Según los casos, se pueden alcanzar importantes ahorros de energía como se recoge en el siguiente cuadro.

Tabla 4. Posibilidades de ahorro de energía.

| Concepto | Ahorro |
|---|--------|
| • Puesta a punto de los motores. Buen estado de conservación y mantenimiento | 4-10% |
| • Elección de la marcha adecuada | 3-7% |
| • Adaptación del tamaño tractor-apero. Tipo y presión de los neumáticos (rodadura), resbalamiento | 3-8% |
| • Regulación y mantenimiento de los aperos. Enganche, regulación y estado de los elementos de trabajo | 3-10% |
| • Elección de las técnicas de cultivo. Organización del trabajo | 5-15% |



2. MAQUINAS PARA LABOREO.

2.1. CAPACIDAD DE TRABAJO DE UNA MÁQUINA.

Es la superficie que trabaja una máquina en la unidad de tiempo y se expresa en hectáreas por hora (ha/h). Viene dada por la expresión:

$$C \text{ (ha/h)} = \frac{a \text{ (m)} \cdot v \text{ (km/h)}}{10} \cdot \eta_{\text{efectivo}}$$

siendo:

a: anchura de trabajo (m)

v: velocidad de trabajo (km/h)

η_{efectivo} : rendimiento efectivo, que tiene en cuenta las pérdidas de tiempo producidas en los virajes, paradas, tiempos muertos etc. y variable, por tanto, con el tamaño de la parcela.

La inversa de la capacidad de trabajo de una máquina nos da el tiempo que tarda en trabajar una hectárea.

Tabla. 5. Valores medios de velocidades de trabajo y rendimiento efectivo de distintas máquinas. (Adaptado de ASAE).

| Máquina | η_{efectivo} (intervalo) | η_{efectivo} (medio) | Velocidad (km/h) (intervalo) | Velocidad (media) |
|-------------------------------|---|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| Laboreo: | | | | |
| - Subsolador | 0,7-0,9 | 0,8 | 5-8 | 7 |
| - Arados (vertedera y discos) | 0,7-0,9 | 0,8 | 5-9 | 7 |
| - Cultivadores en líneas | 0,7-0,9 | 0,85 | 3-4 | 3,5 |
| - Cultivadores | 0,7-0,9 | 0,8 | 6-12 | 9 |
| - Chisel | 0,7-0,9 | 0,8 | 5-10 | 8 |
| - Gradas de discos | 0,7-0,9 | 0,85 | 5-10 | 8 |
| - Gradas rotativas | 0,7-0,9 | 0,85 | 8-15 | 10 |
| Siembra: | | | | |
| - A voleo | 0,8-0,9 | 0,85 | 6-10 | 8 |
| - A chorrillo | 0,8-0,9 | 0,85 | 4-8 | 6 |
| - De precisión | 0,7-0,9 | 0,8 | 5-9 | 6 |
| - Siembra directa | 0,6-0,8 | 0,7 | 4-6 | 5 |

(Continúa página siguiente)

| Máquina | η_{efectivo} (intervalo) | η_{efectivo} (medio) | Velocidad (km/h) (intervalo) | Velocidad (media) |
|----------------------------|---|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| Abonado: | | | | |
| - Centrifuga | 0,6-0,7 | 0,65 | 5-8 | 7 |
| Tratamientos: | | | | |
| - Herbicidas | 0,5-0,7 | 0,6 | 5-12 | 10 |
| - Fitosanitarios | 0,6-0,8 | 0,7 | 6-12 | 10 |
| Recolección: | | | | |
| - Barra de corte | 0,6-0,8 | 0,7 | 4-7 | 5 |
| - Segadora rotativa | 0,6-0,8 | 0,7 | 8-11 | 10 |
| - Segadora acondicionadora | 0,6-0,8 | 0,75 | 6,5-9,5 | 8 |
| - Rastrillo hilerador | 0,75-0,85 | 0,8 | 6-11 | 8 |
| - Picadora de forraje | 0,6-0,8 | 0,7 | 4-7 | 5,5 |
| - Cosechadora de maíz | 0,6-0,75 | 0,65 | 3,5-7 | 5 |
| - Cosechadora de cereales | 0,65-0,8 | 0,7 | 3,5-7 | 5 |
| - Cosechadora de remolacha | 0,6-0,8 | 0,7 | 6-8 | 7 |
| - Cosechadora de patata | 0,5-0,7 | 0,6 | 2,5-6,5 | 3 |
| - Cosechadora de algodón | 0,6-0,7 | 0,65 | 3-6 | 4,5 |

Ejemplo. Capacidad superficial de un arado trisurco de 14" (35 cm de ancho de cada reja).

Anchura de trabajo (a): 35 cm x 3 = 105 cm = 1,05 m

Velocidad de trabajo (v): 7 km/h

Rendimiento efectivo (η_{efectivo}): 0,8

$$C \text{ (ha/h)} = \frac{a \text{ (m)} \cdot v \text{ (km/h)}}{10} \cdot \eta_{\text{efectivo}} = \frac{1,05 \cdot 7}{10} \cdot 0,8 = 0,588 \text{ ha/h}$$

Tardará $1/0,588 = 1,7$ horas para trabajar una hectárea.

**2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS APEROS DE LABOREO.**

a) Según su forma de trabajo:

| | | |
|--------------------------|-----------------------------|--|
| No accionados | Aperos de labranza vertical | Subsolador Escarificador Chisel |
| | Aperos con volteo | De vertedera De discos |
| | Gradas | De discos De púas |
| | Cultivadores | De dientes rígidos De dientes flexibles De dientes vibrantes |
| | Rastras | |
| | Rodillos | |
| Accionados por la t.d.f. | Fresadoras | De eje transversal De eje vertical |
| | Cavadoras | |
| | Gradas de púas | Oscilante Rotativa |
| | Arados accionados | De vertedera rotativa De discos accionados |

b) Según su acoplamiento al tractor:

| | | |
|---|---|--|
| Arrastrados: Se enganchan al tractor en la barra de tiro. El apero va soportado sobre ruedas. Las operaciones de enganche y desenganche son rápidas. | Suspendidos: Aperos acoplados al tractor en el enganche de tres puntos del elevador hidráulico. La profundidad de trabajo puede controlarse con el elevador. Cuidado en la operaciones de elevación. | Semisuspendidos: Aperos suspendidos con apoyo en una rueda trasera. |
|---|---|--|

c) Según la labor que realizan:

| | | |
|--|---|---|
| <p>Laboreo primario: labores de preparación del suelo para al siembra con profundidades medias o altas (20 a 80 cm). Se emplean subsoladores, arados, chisel.</p> | <p>Laboreo secundario: labores realizadas en la capa superficial a una profundidad baja (hasta 15 cm), al objeto de producir un esponjamiento del suelo previo a la siembra, realizar labores de cultivo entre líneas, incorporar abonos, desterronar, etc. Se emplean cultivadores, gradas, rastras, fresadoras, rodillos, etc.</p> | <p>Labores especiales: se realizan para dar al terreno una determinada configuración. Se emplean alomadores, abrezanjas, acaballadores, etc.</p> |
|--|---|---|

2.3. SUBSOLADORES

Descripción y tipos.

Constan de uno o varios brazos de material pesado y resistente que se unen a una estructura o bastidor. Los brazos pueden ser rectos u oblicuos y en su extremo inferior tienen una reja de forma rectangular o trapecial de acero resistente al desgaste y con una ligera inclinación respecto a la horizontal. Existen tipos de subsoladores dotados de movimiento vibratorio producido por masas excéntricas o un mecanismo biela-manivela accionados por la t.d.f. Trabaja a grandes profundidades (40 a 60 cm).

Acción sobre el suelo.

Produce una rotura y resquebrajamiento del suelo en profundidad con fisuras laterales al brazo y la reja. Da lugar al levantamiento del suelo con la formación de grandes terrones en superficie.

La labor de subsolado se debe realizar con el suelo relativamente seco para conseguir el efecto deseado.

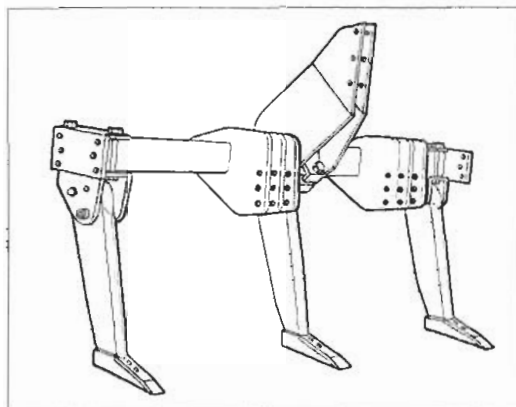


Fig. 7. Subsolador.

Empleo.

Se emplean para roturaciones, desfondes, pases cruzados previo a una plantación frutal, drenaje, despedregado, destocoado, como labor previa a la siembra de cultivos tales como tubérculos o raíces, para romper la suela de labor y facilitar el desarrollo radicular.

Capacidad superficial, consumo y potencia. (tres cuerpos)

| Profundidad (cm) | Anchura (m) | Capacidad superficial (ha/h) | Consumo (l/ha) | Potencia (kW) |
|------------------|-------------|------------------------------|----------------|---------------|
| 25 | 1,8 | 0,7-1,1 | 15-25 | 60-75 |
| 30 | 1,8 | 0,6-0,85 | 20-35 | 70-90 |
| 40 | 1,8 | 0,5-0,75 | 30-40 | 80-110 |

2.4. ARADOS DE VERTEDERA

Descripción y tipos.

Los elementos de trabajo son la reja y la vertedera que junto con el resguardador se unen al brazo mediante el dental o cuerpo del arado. El brazo se une al bastidor.

Las vertederas pueden tener distintas formas:

- cilíndricas: son parte de la superficie lateral de un cilindro.
- helicoidales: son parte de una superficie alabeada.
- universales: la parte anterior es cilíndrica y la parte posterior es helicoidal.
- discontinuas: están formadas por tiras de metal. Presentan menor resistencia al tener menor superficie de contacto con el suelo.
- rombales: el corte de la pared del surco no es recto sino curvado. Permite una menor distancia entre cuerpos.

Los arados de vertedera pueden ser fijos (generalmente arrastrados) o reversibles (suspendidos).

Acción sobre el suelo.

Realizan el corte vertical y horizontal de una capa de suelo, de sección rectangular, mediante la cuchilla y la reja respectivamente, produciéndose a continuación su ascensión y volteo lateral por la acción de la vertedera. Da lugar a una inversión de la capa arable y pulverización de la misma produciendo: un aumento de la porosidad del suelo, aumento de la capacidad de almacenamiento del agua y enterrado de restos vegetales y abono. El fondo o solera de la labor queda horizontal.

Empleo.

Se emplea en labores profundas preparatorias de la siembra.

Las vertederas cilíndricas son cortas y producen mayor pulverización dando lugar a una labor llana y uniforme. Se utilizan en labores profundas y con velocidades de trabajo comprendidas entre 4 y 6 km/h.

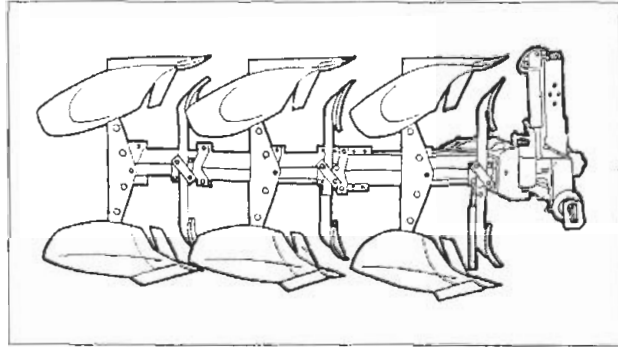


Fig. 8. Arado de Vertedera

Las vertederas helicoidales son de mayor longitud y producen un buen volteo de la tierra sin apenas pulverización. Se utilizan en labores más superficiales, para enterrado de hierbas, dando lugar a una labor de aristas vivas y con velocidades de trabajo comprendidas entre 6 y 9 km/h.

Las vertederas universales tienen unas características de empleo intermedias a las anteriores.

En condiciones plásticas los arados de vertedera pueden producir "suela" de labor.

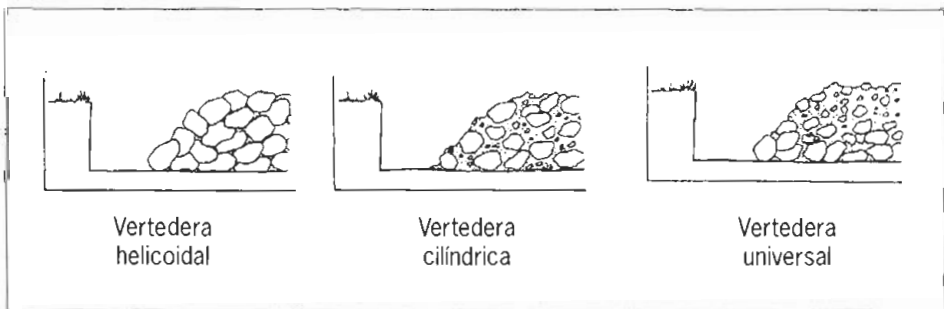


Fig. 9. Aspecto de la labor con diferentes vertederas.



Capacidad superficial, consumo y potencia. (tres cuerpos)

| Profundidad (cm) | Anchura (m) | Capacidad Superficial (ha/h) | Consumo (l/ha) | Potencia (kW) |
|------------------|-------------|------------------------------|----------------|---------------|
| 30 | 1 | 0,5-0,7 | 25-30 | 60-70 |

2.5. ARADOS DE DISCOS

Descripción y tipos.

El elemento de trabajo es un disco en forma de casquete esférico que gira alrededor de su eje situado sobre un brazo unido al bastidor o cama.

La posición del disco queda definida por dos ángulos:

- ángulo de corte, o inclinación del disco con respecto a la dirección de avance (proyección sobre el plano horizontal) que puede variar entre 40 y 50°. El ancho de la banda de tierra trabajada aumenta o disminuye según que este ángulo aumente o disminuya.
- ángulo de ataque, o inclinación del disco con relación al suelo (proyección en el plano vertical) que puede variar de 15 a 25°.

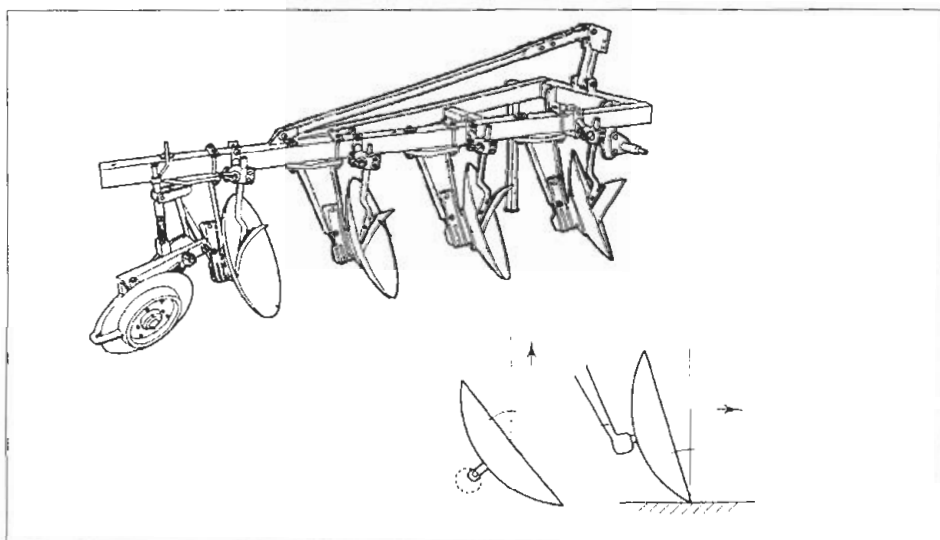


Fig. 10. Arado de discos.

Acción sobre el suelo.

El disco corta la capa de suelo que asciende por la cara interna del casquete acompañándolo en su rotación. Cuando alcanza una cierta altura, una rasqueta desvía su trayectoria haciéndole caer produciendo de este modo el volteo y pulverización.

Así, los restos vegetales quedan en la capa superficial junto con el material más pulverizado. Los terrones de mayor tamaño quedan en la capa inferior trabajada.

El fondo o solera de la labor es ondulada.

Empleo.

Se utilizan para labores preparatorias de la siembra, igual que los arados de vertedera, y en particular son aconsejables en las situaciones siguientes:

- Terrenos con abundante presencia de piedras.
- Terrenos muy abrasivos.
- Terrenos pesados y adherentes.
- Terrenos secos y duros.

Capacidad superficial, consumo y potencia. (cuatro discos)

| Profundidad (cm) | Anchura (m) | Capacidad Superficial (ha/h) | Consumo (l/ha) | Potencia (kW) |
|------------------|-------------|------------------------------|----------------|---------------|
| 25 | 1,1 | 0,5-0,7 | 20-30 | 60-70 |

2.6. FRESADORAS.

Descripción y tipos.

Los elementos de trabajo son unas cuchillas giratorias que van montadas en un eje horizontal accionado por la toma de fuerza del tractor. También se denominan cultivadores rotativos de eje horizontal.

Acción sobre el suelo.

Producen una rotura del suelo en partículas de diversos tamaños por la acción de corte de las cuchillas y la posterior proyección del suelo hacia atrás. Desmenuza bien la tierra, realizando una intensa mezcla de las partículas del suelo. La mayor parte de la materia orgánica queda en la superficie.

Su empleo continuado a la misma profundidad puede dar lugar a la formación de una capa endurecida o "suela" de labor que dificulta el desarrollo radicular.

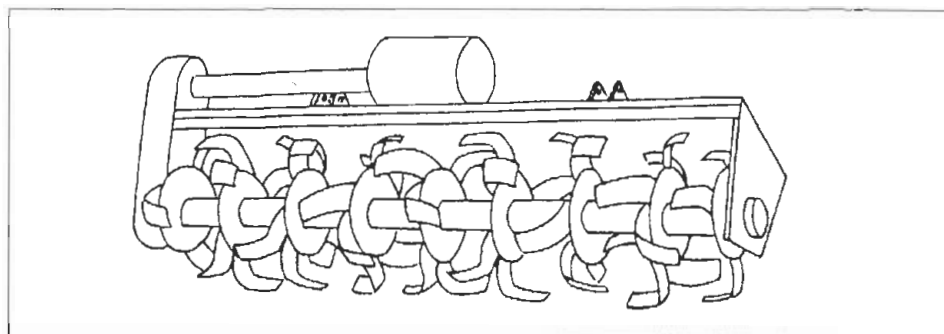


Fig. 11. Fresadora

Empleo.

Se emplean para el desmenuzamiento de terrones después de la labor de alzar; para el mullido del suelo y trituración de vegetales mezclándolos con el terreno. Sobre todo se emplean en cultivos hortícolas y en plantaciones frutales.

Capacidad superficial, consumo y potencia.

| Profundidad (cm) | Anchura (m) | Capacidad Superficial (ha/h) | Consumo (l/ha) | Potencia (kW) |
|------------------|-------------|------------------------------|----------------|---------------|
| 12 | 1,8 | 0,8-1,4 | 12-18 | 50-65 |

2.7. CHISEL.

Descripción y tipos.

Se denominan también arados escarificadores y son más ligeros y trabajan a menor profundidad que los subsoladores. Constan de un bastidor formado con barras longitudinales soldadas a otras transversales que portan los brazos.

El tipo de bastidor queda caracterizado por su peso por metro lineal de ancho. Éste determina su capacidad para penetrar la reja en el suelo. Según los modelos, el peso por metro lineal varía de 130 a 360 kg.

Los brazos son robustos disponiendo en su extremo una reja de forma rectangular. En algunos tipos disponen de un movimiento vibratorio para facilitar la disgregación del suelo necesitando menos potencia.

Acción sobre el suelo.

Producen una rotura y resquebrajamiento del suelo con movimiento vertical del mismo. Se les denomina aperos para labranza vertical. El desmenuzamiento producido junto con la elevación del suelo dan lugar a la mezcla de éste con los restos vegetales.

Después de su paso se observa un perfil asurcado en superficie con los residuos vegetales también en superficie y con fisuras laterales en las zonas adyacentes al paso del brazo.

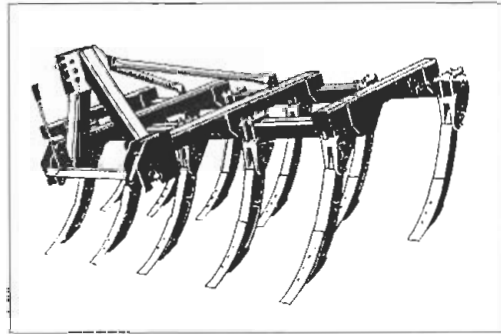


Fig. 12. Chisel

Empleo.

Se emplean en labores preparatorias de la siembra con profundidades de trabajo análogas a las de los arados de vertedera.

Capacidad superficial, consumo y potencia.

| Profundidad (cm) | Anchura (m) | Capacidad Superficial (ha/h) | Consumo (l/ha) | Potencia (kW) |
|------------------|-------------|------------------------------|----------------|---------------|
| 20 | 4 | 1,2-1,8 | 12-14 | 70-80 |

2.8. CULTIVADORES.

Descripción y tipos.

El bastidor está formado por barras longitudinales soldadas a otras transversales que portan los brazos. Los brazos, que en su extremo llevan la reja, pueden ser de formas muy variadas y pueden montarse a distancias variables en cada barra. Según los modelos el bastidor puede tener tres o cuatro barras transversales.

El peso por metro lineal de ancho, determina su capacidad de penetración de la reja en el suelo y permite clasificarlos en:

- cultivadores ligeros: 100 a 200 kg por metro lineal.
- cultivadores pesados: 130 a 300 kg por metro lineal.

Los diferentes tipos de cultivadores se diferencian en la forma de las rejas, que pueden ser: escarificadoras, binadoras, cavadoras, aporcadoras y extirpadoras (de "cola de golondrina")

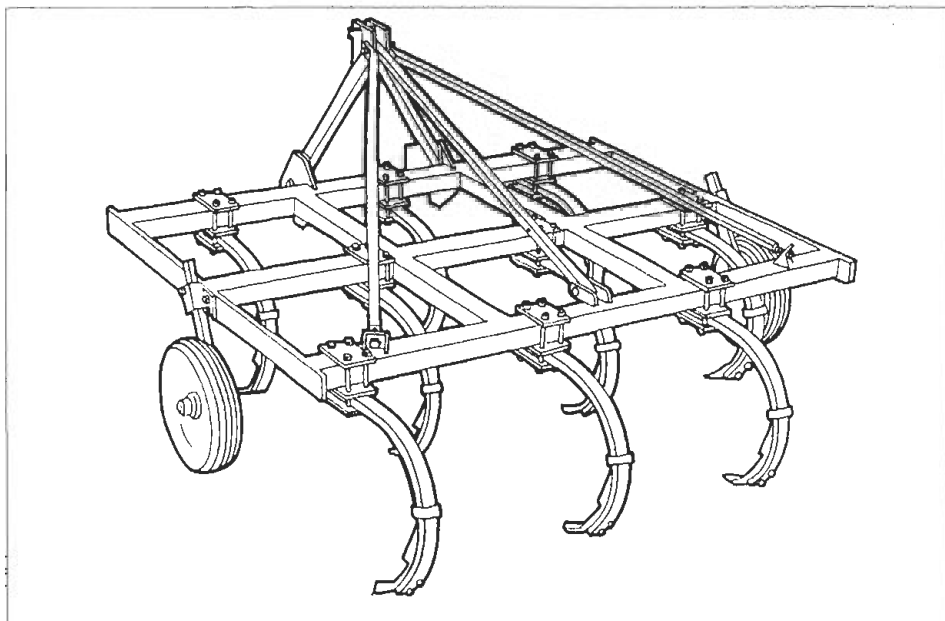


Fig. 13. Cultivadores

Acción sobre el suelo.

Producen la rotura del suelo proyectando lateralmente los terrones formados. El suelo se eleva al paso del brazo produciendo fisuras laterales

Empleo.

Se emplean para el desmenuzamiento de terrones, mullido de la capa superficial del terreno, extirpación de malas hierbas e incorporación de fertilizantes o enmiendas al terreno. Pueden utilizarse tanto antes como después de la siembra en los cultivos alineados.

Capacidad superficial, consumo y potencia.

| Tipo | Profundidad (cm) | Anchura (m) | Capacidad Superficial (ha/h) | Consumo (l/ha) | Potencia (kW) |
|--------|------------------|-------------|------------------------------|----------------|---------------|
| Pesado | 13 | 4 | 0,9-1,4 | 10-12 | 60-70 |
| Ligero | 10 | 4 | 1-1,5 | 8-10 | 50-60 |

2.9. GRADAS.

Descripción y tipos.

Con esta denominación existen un gran número de máquinas bien diferentes que se utilizan fundamentalmente en labores secundarias o complementarias. Podemos distinguir las gradas de discos, gradas de púas, de dientes fijos u oscilantes y gradas rodantes de estrellas o paletas.

2.9.1. GRADAS DE DISCOS.

La gradas de discos están constituidas por un conjunto de dos o cuatro cuerpos de discos. Cada cuerpo puede tener de 4 a 10 discos de diámetro entre 400 y 500 mm montados en un eje horizontal con una separación variable entre 150 y 200 mm sobre el que giran libremente soportados por unos rodamientos. Los discos tienen forma de casquete esférico y pueden ser de borde liso o escotado. Según la disposición y el número de los cuerpos se distingue:

- a) Las gradas en tandem, con cuatro cuerpos dispuestos en "X" simétricamente con relación a la dirección de avance. Cada cuerpo lleva los discos montados en sentido inverso de derecha a izquierda y de delante a atrás.
- b) Las gradas simples, formadas por dos cuerpos de discos dispuestos en "V" que trabajan la misma anchura y montados en sentido inverso.

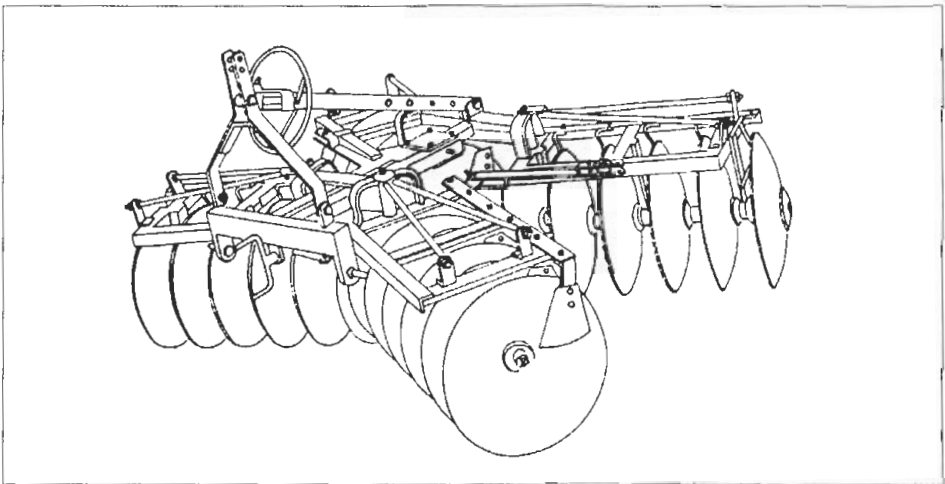


Fig. 14. Grada de discos en tandem.



Acción sobre el suelo.

Producen una remoción del suelo ya labrado por efecto de la rotación de los discos dando lugar a la mezcla homogénea de la tierra y los restos vegetales existentes. El abuso en el empleo de estas máquinas o el uso en condiciones semiplásticas del suelo pueden producir suelas de labor.

Empleo.

Se emplean para desmenuzar terrones previo a la siembra, extirpación de malas hierbas, enterrado de restos de cosecha, incorporación de fertilizantes, etc. En terrenos con abundantes raíces y restos vegetales se deben utilizar discos acanalados que facilitan el enterrado de residuos.

Capacidad superficial, consumo y potencia.

| Profundidad (cm) | Anchura (m) | Capacidad Superficial (ha/h) | Consumo (l/ha) | Potencia (kW) |
|------------------|-------------|------------------------------|----------------|---------------|
| 15 | 3,5 | 1,2-1,8 | 6-8 | 60-65 |

2.9.2. GRADAS DE PÚAS.

Descripción y tipos.

Están constituidas por un bastidor sobre el que se fijan los elementos de trabajo que son unos dientes de sección circular o cuadrada de 15 a 25 cm de longitud. Trabajan a una profundidad reducida (5 a 7 cm).

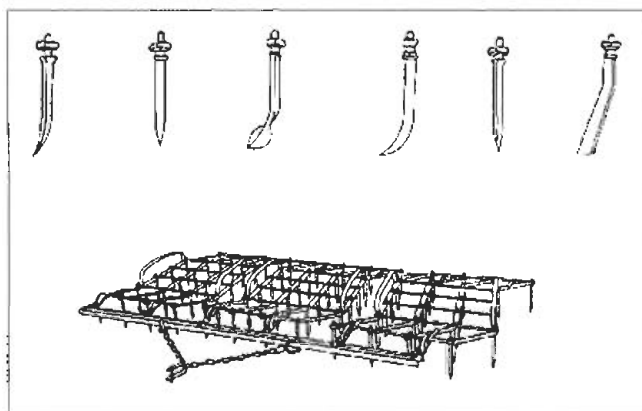


Fig. 15. Gradas de púas.

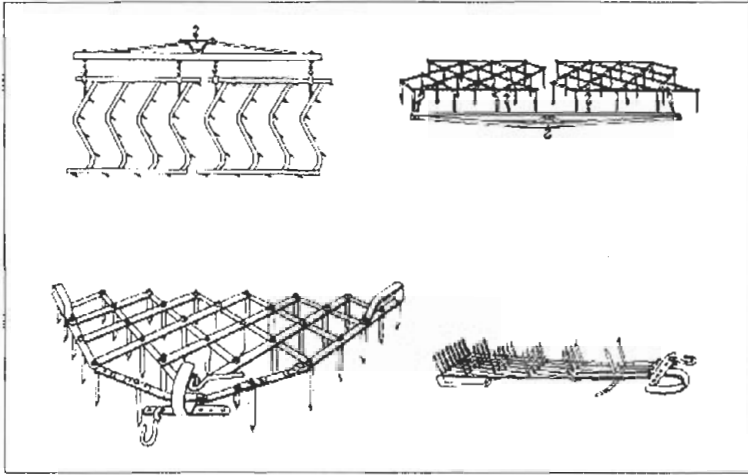


Fig. 15b. Gradas de púas.

Acción sobre el suelo.

Produce la rotura de los terrones como consecuencia del choque de los dientes dando lugar a un desmenuzamiento importante y uniforme en la superficie del suelo.

Empleo.

Se emplean para mullir superficialmente el suelo, para eliminar y romper la costra superficial, limpiar el suelo de malas hierbas en superficie, nivelar y alisar la superficie.

Capacidad superficial, consumo y potencia.

| Profundidad (cm) | Anchura (m) | Capacidad Superficial (ha/h) | Consumo (l/ha) | Potencia (kW) |
|------------------|-------------|------------------------------|----------------|---------------|
| 8 | 5 | 3-4 | 4-6 | 45-60 |

2.9.3. GRADAS RODANTES O DE ESTRELLAS.

Descripción y tipos.

Están constiuidas por un bastidor que soporta dos o tres ejes horizontales en los que se dispone de unas ruedas estrelladas con cinco o seis puntas, que son los elementos de trabajo. El diámetro de la estrella es de 15 a 25 cm y se encuentran separadas unos 10 cm. en algunos casos dispuestas en hélice. Las puntas de las estrellas son generalmente rectas aunque existen algunos modelos con las puntas curvadas. La profundidad de trabajo puede ser de 8 a 12 cm.

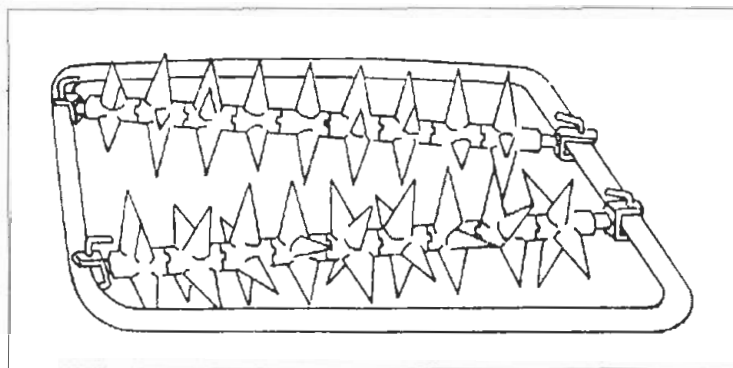


Fig. 16. Gradados rodantes o de estrella.

Acción sobre el suelo.

Realizan una acción intermedia entre los gradados de púas y los rodillos. La acción de choque y proyección del suelo hacia atrás y los laterales produce un fraccionamiento y mezcla de los terrones con los residuos presentes.

Empleo.

Se emplean después de las labores primarias para romper los terrones e incorporar los restos vegetales.

Capacidad superficial, consumo y potencia.

| Profundidad (cm) | Anchura (m) | Capacidad Superficial (ha/h) | Consumo (l/ha) | Potencia (kW) |
|------------------|-------------|------------------------------|----------------|---------------|
| 8 | 3 | 0,8-1,4 | 8-12 | 45-60 |

2.10. RODILLOS.

Descripción y tipos.

Están constituidos por unos elementos cilíndricos de tipología variada montados sobre un eje perpendicular al avance. Su diámetro puede ser de 40 a 80 cm, su anchura entre 2 y 3 m, y su peso de 600 a 800 kg.

Según sea la forma de los elementos cilíndricos de trabajo, los rodillos pueden ser:

- Rodillos lisos.* Están constituidos por uno o varios cilindros huecos o macizos de superficie lisa. Producen compactación en superficie.

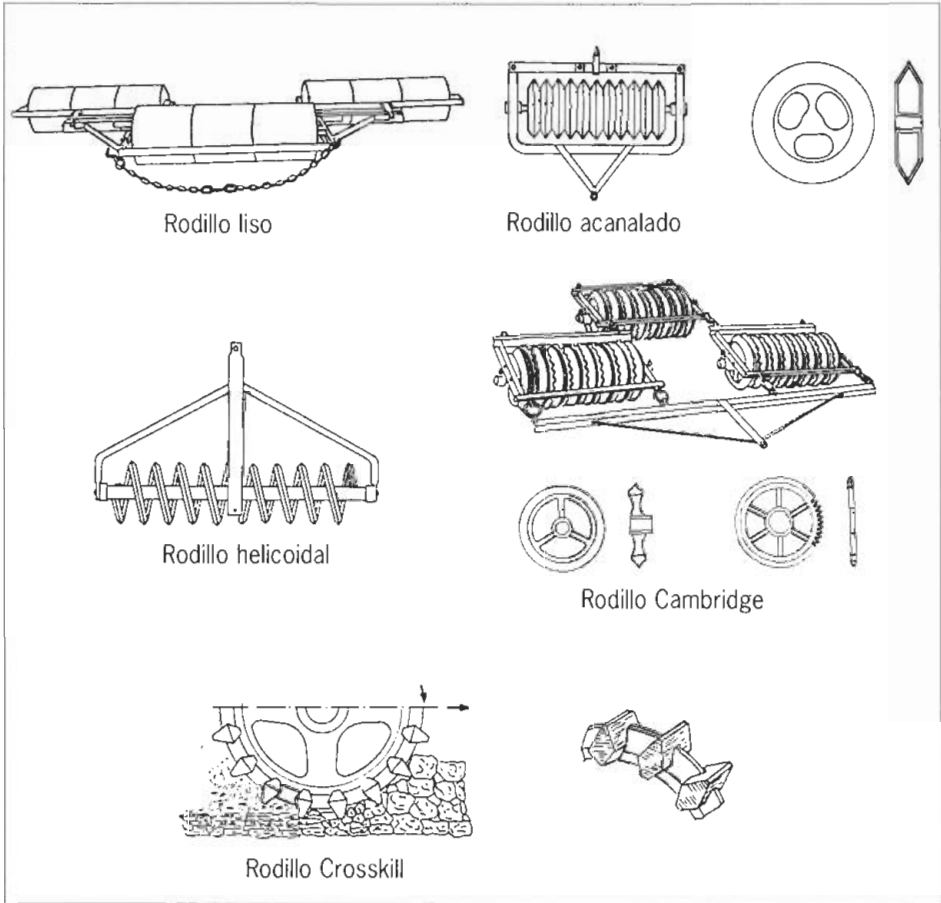


Fig. 17. Rodillos.

- b) *Rodillos acanalados*. En este caso los elementos de trabajo son discos acanalados montados independientemente sobre un mismo eje.
- c) *Rodillos helicoidales*. El eje del rodillo se encuentra rodeada por una barra de acero curvada en espiral. El conjunto presenta una forma de serpentin que por la acción de arrastre gira libremente sobre el suelo.
- d) *Rodillos "Cambridge"*. Formados por discos metálicos de diferente diámetro, de superficie lisa y rugosa, situados alternados en el mismo eje. Los discos al tener diferente diámetro, tienen diferente velocidad angular y este movimiento relativo entre discos favorece el fraccionamiento del suelo.
- e) *Rodillos "Crosskill"*. Como los anteriores, tienen discos de diferente forma y diámetro montados alternativamente sobre el mismo eje. Aquí además, los discos tienen unos resaltes en su superficie exterior.



- f) *Rodillos jaula*. Están formados por una serie de barras dentadas en la generatriz del cilindro cuya misión es la de completar la fragmentación de los terrones superficiales. Generalmente se montan al final de una combinación de aperos para alisar la superficie.

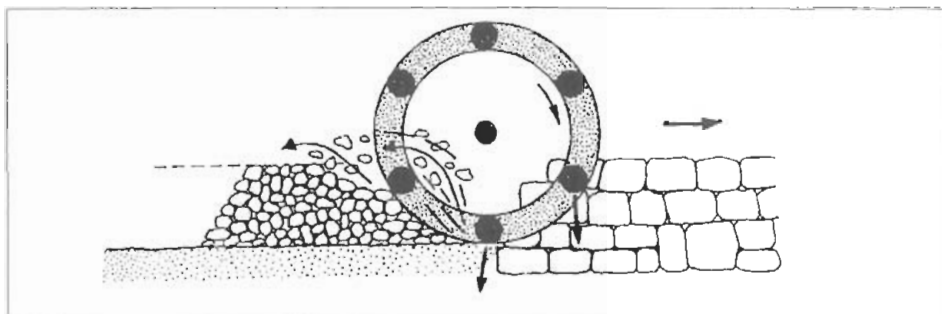


Fig. 18. Modo de acción del rodillo jaula.

Acción sobre el suelo

Producen la rotura de los pequeños agregados superficiales, sobre todo los tipos "Cambridge" y "Croskill", debido a la diferente velocidad de giro de los discos de diferente diámetro situados alternadamente en el mismo eje. Por la acción de su peso producen compactación en superficie reduciendo el volumen de huecos.

Empleo.

Se emplean para destruir los terrones, uniformar la superficie y compactar la parte superior del suelo regulando su humedad y facilitando la germinación y primeros desarrollos de las plantas.

Capacidad superficial, consumo y potencia.

| Profundidad (cm) | Anchura (m) | Capacidad Superficial (ha/h) | Consumo (l/ha) | Potencia (kW) |
|------------------|-------------|------------------------------|----------------|---------------|
| - | 3 | 1,2-1,7 | 5-6 | 20-30 |

2.11. COMBINACIÓN DE APEROS.

Para reducir el número de pasadas y en consecuencia reducir costes de producción aprovechando la mayor potencia de los tractores se pueden agrupar un cierto número



ro de aperos que simultáneamente y en una sola pasada realicen varias operaciones. Se trata de realizar las operaciones de preparación del suelo para la siembra en una sola pasada.

Se pueden montar en un bastidor, por ejemplo, unidades de cultivador o grada y a continuación una rastra o rodillo para fraccionar los terrones y alisar la superficie.

Cuando se dispone de enganche tripuntal delantero, se puede montar un apero delante y otro detrás consiguiendo además una mejor distribución de pesos entre los ejes del tractor.

Esta combinación de aperos puede incluir al final la operación de siembra.

Las dificultades de la combinación de aperos derivan de la longitud que necesariamente alcanza el conjunto, presentando menor maniobrabilidad y por tanto de aplicación en grandes parcelas donde los tiempos de maniobra se ven reducidos.

2.12. MAQUINARIA PARA SISTEMAS DE LABOREO DE CONSERVACIÓN.

Es bien conocido el efecto no deseado del laboreo de producir pérdida de suelo por erosión y con ésta la pérdida de fertilidad. También, el paso repetido de los tractores y máquinas sobre el terreno produce compactación. Además, dentro de los costes de producción en las explotaciones agrícolas, los correspondientes a la mecanización de las labores constituyen un porcentaje elevado que se puede reducir mediante el uso racional y limitando el trabajo mecánico del suelo. Es por ello que se han desarrollado sistemas en los que se reducen la intensidad y frecuencia de las labores manteniendo además los restos de cosecha anterior para proteger el suelo de la erosión.

Se conoce como laboreo de conservación a los sistemas de laboreo que mantienen al menos un 30 % de la superficie cubierta por residuos después de la siembra.

Por ello, la primera cuestión que se debe tener en cuenta en estos sistemas es el manejo de los residuos de cosecha. Debe conseguirse uniformidad en su distribución para evitar dificultades en la operación de siembra.

En el caso de los cereales (trigo, cebada, avena), se recoge y empaca la paja, salvo casos de baja producción, con lo que se facilita la siembra del cultivo siguiente. En caso de que no se recoja la paja, se debe picar y distribuir uniformemente sobre el terreno operación que puede realizar la propia cosechadora dotándola de los elementos de picado y esparcido a la salida de los sacudidores.

Si no se dispone de estos elementos de picado y esparcido en la cosechadora se deberán emplear máquinas picadoras esparcidoras que actúen sobre los cordones de paja.



En el caso del maíz y girasol, el empleo de picadoras directamente sobre los restos de cosecha, o una vez hilerados, resulta caro. En estos casos puede ser interesante realizar un pase con grada de discos con poco ángulo para trocear los restos sin producir grandes alteraciones del suelo.

En cualquier caso, conviene conocer el efecto que tienen los aperos de laboreo sobre la permanencia de los residuos (Tabla 6).

Tabla 6. Porcentaje de residuos que quedan tras el paso de los aperos.

| Apero | Porcentaje de residuos |
|------------------------------------|-------------------------------|
| Arado de vertedera | < 10% |
| Grada de discos profunda (15 cm) | 30 % |
| Grada de discos superficial (8 cm) | 70 % |
| Arado chisel de brazo recto | 75 % |
| Arado chisel de brazo curvo | 50 % |
| Escarificador | 75 % |
| Escardillo de la ancha | 90 % |
| Rulo ligero | 95 % |
| Sembradora directa | > 90 % |

2.13. MÁQUINAS PARA SIEMBRA DIRECTA.

Se denomina siembra directa a la localización de la semilla en un suelo que no ha sido preparado con operaciones previas de laboreo y se realiza un control químico de las plantas no deseadas.

En algunas ocasiones pueden utilizarse sembradoras convencionales con ligeras modificaciones sobre todo cuando no hay abundancia de residuos.

Las sembradoras para realizar la operación de siembra directa, con gran presencia de residuos, además de las condiciones que se exigen para una sembradora convencional, como son uniformidad y regularidad en la siembra, posibilidad de regulación a diferentes dosis, versatilidad para utilización con semillas de tamaños diferentes, control de profundidad, etc, deben tener peso suficiente para cortar los residuos y penetrar en el suelo así como elementos para el cierre del surco y enterrado de la semilla.

Los elementos fundamentales de una máquina para realizar la siembra directa son:

- Elementos de corte de residuos y suelo.
- Elementos de apertura del surco de siembra y deposición de la semilla.
- Elementos de fijación de la semilla.

- Elementos de enterrado de la semilla.
- Elementos de cierre y compactación del surco de siembra.

Si bien no siempre las máquinas disponen de todos estos elementos, los que resultan imprescindibles son los de cortar los residuos e iniciar el surco de siembra, los de apertura del surco con deposición de semilla y los de cierre del mismo.

Por razón de su singularidad y especificidad nos vamos a referir a aquellos elementos característicos de las sembradoras para siembra directa.

- Para el corte de residuos se utilizan discos de diversos tipos (lisos, escotados, estriados, acanalados, ondulados o accionados) con diámetros de 300 a 600 mm y espesores de 3 a 12 mm. También se utilizan fresadoras estrechas situadas a mayor separación del resto de elementos para facilitar la circulación de los residuos.
- Para la apertura del surco y deposición de la semilla se utilizan discos (simples o dobles en V) o rejas (tipo bota, cincel o sable). Los discos suelen ser más pequeños que los de corte de residuos y las rejas están dispuestas casi verticalmente.
- Para cubrir la semilla se utilizan discos inclinados simples o dobles, paletas aporcadoras o dedos flexibles. Finalmente disponen de ruedas (simples o dobles) que compactan y cierran el surco.

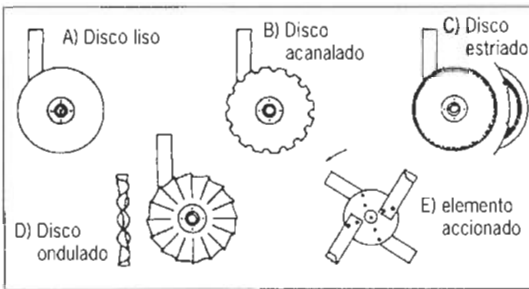


Fig. 19. Elementos de corte de residuos.

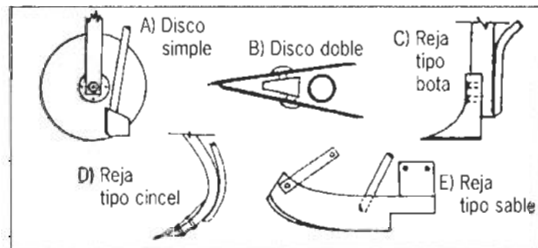


Fig. 20. Elementos de apertura del surco.



3. MAQUINAS DE RECOLECCIÓN.

3.1 COSECHADORAS DE CEREALES.

Descripción.

En el interior de una cosechadora de cereales se realizan las siguientes operaciones de manera sucesiva: corte y alimentación de la mies, trilla, separación de grano, limpia, almacenamiento y descarga.

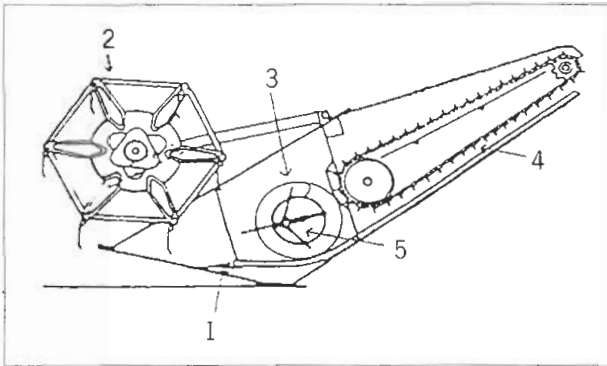


Fig. 21. Plataforma de corte: 1) barra de corte; 2) molinete; 3) sinfín; 4) cadena de alimentación; 5) dedos del sinfín.

Del corte y alimentación de la mies se encarga la plataforma de corte constituida por la barra de corte, el molinete, el sinfín embocador y la cadena de alimentación (Fig. 21). La anchura de trabajo puede ser de 2 a 6 metros.

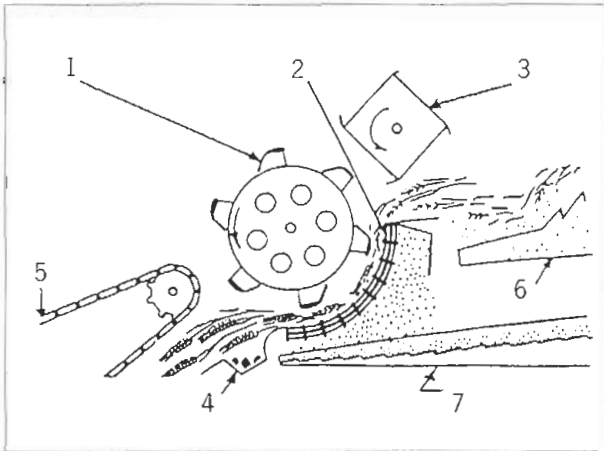


Fig. 22. Órganos de trilla: 1) cilindro desgranador; 2) cóncavo; 3) batidor; 4) recuperador de piedras; 5) cadena de alimentación; 6) sacudidores; 7) plataforma de grano.

La trilla se realiza en el cilindro desgranador y el cóncavo (Fig. 22). El cilindro desgranador es un elemento giratorio que va provisto de unas barras estriadas longitudinales. El cóncavo es un elemento fijo con forma de parrilla que se sitúa justo debajo del cilindro manteniendo con éste una separación variable (mayor a la entrada de la mies y menor a la salida). El sector angular del cóncavo define el ángulo de trilla, que varía entre 100° y

120°. Al pasar la mies entre el cilindro y el cóncavo se produce la separación del 80 al 90% del grano que cae, a través del cóncavo, a la plataforma de grano. Los órganos de trilla admiten dos regulaciones: la velocidad de giro del cilindro y la separación entre cilindro y cóncavo.

El sistema de separación lo constituyen el cilindro batidor y los sacudidores (Fig. 23). Los sacudidores, colocados en forma ascendente hacia atrás, están dotados de movimiento oscilante de 200 a 250 oscilaciones por minuto accionados por unos cigüeñales. En su movimiento desplazan la paja hacia arriba y hacia atrás produciendo la separación de grano que se recoge en la plataforma de grano mientras la paja se desplaza hacia la salida.

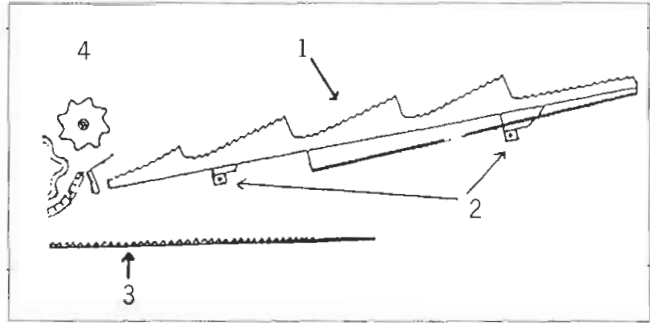


Fig. 23. Órganos de separación: 1) sacudidores; 2) cigüeñales; 3) plataforma de grano; 4) batidor.

El sistema de limpia se compone de dos cribas con movimiento de vaivén y un ventilador (Fig. 24). La criba superior está formada por una serie de láminas o aletas de inclinación regulable desde la posición casi vertical (abierta) hasta la posición horizontal (cerrada). La criba inferior es de chapa perforada con orificios de forma y tamaño variables.

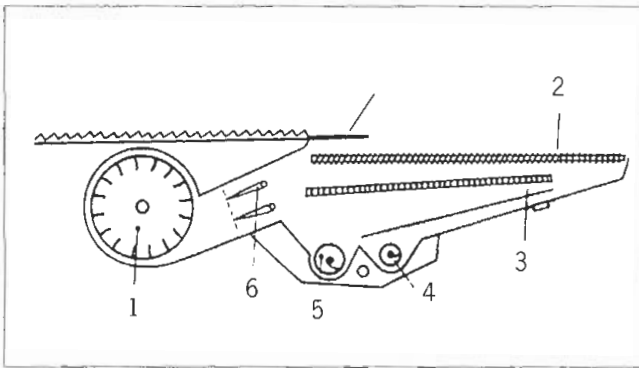


Fig. 24. Órganos de limpia: 1) ventilador; 2) criba superior; 3) criba inferior; 4) sinfín de granos; 5) sinfín de granzas; 6) deflectores.

Ambas son intercambiables. El ventilador genera una corriente de aire que permite separar el grano de las impurezas. Puede regularse la velocidad de giro del ventilador mediante un variador, el caudal de aire cerrando la toma de aire y la dirección de la corriente de aire mediante unos deflectores. El grano limpio se recoge en un sinfín y se envía a la tolva.



Evolución reciente de los órganos de trilla y separación.

Al objeto de reducir la longitud y volumen de la máquina así como disminuir el ruido y las vibraciones al tiempo que mejorar la eficacia de los sistemas de trilla y separación, se han desarrollado las cosechadoras de **flujo axial**. En éstas, se sustituye el conjunto cilindro desgranador-cóncavo y los sacudidores por un rotor longitudinal que gira en el interior de un cilindro entre los que circula la mies describiendo un recorrido en espiral siguiendo el eje del rotor (Fig. 25). En el primer tramo se realiza la alimentación, en el segundo se realiza la trilla y en el tramo trasero se produce la separación. Existen dos tipos: de rotor único y de doble rotor.

Para mejorar la eficacia de los sacudidores se incorporan agitadores rotativos justo encima de los sacudidores con la función de distribuir uniformemente la mies en los sacudidores al tiempo que airean la masa facilitando la separación.

Mención aparte merecen los separadores rotativos o los sistemas de separación con cilindros múltiples.

El separador rotativo es un cilindro con dedos en su superficie que va montado encima de un cóncavo con rejilla abierta (Fig. 26). Este separador se sitúa a continuación del cilindro batidor y antes de los sacudidores, consiguiendo la separación de gran parte del grano que no fue separado en los órganos de trilla.

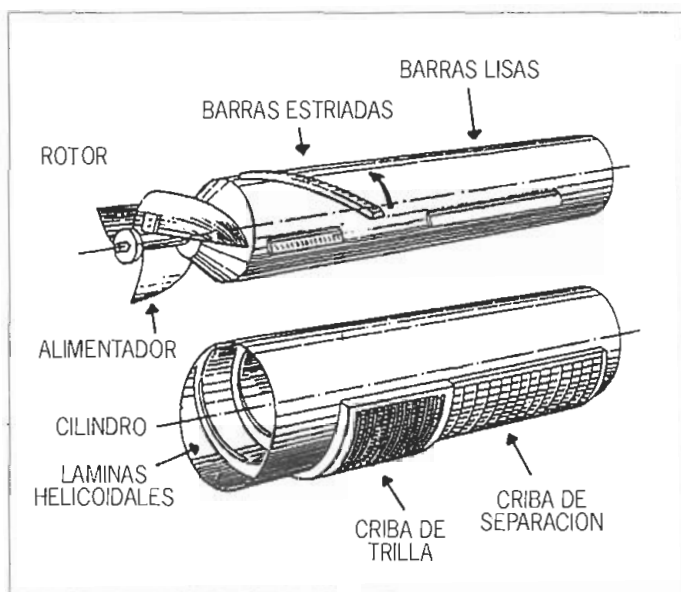


Fig. 25a. Elementos de trilla y separación en cosechadoras de flujo axial con rotor único.

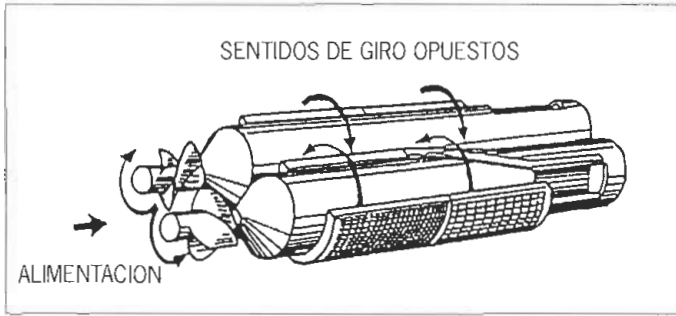


Fig. 25b. Elementos de trilla y separación en cosechadoras de flujo axial con doble rotor.

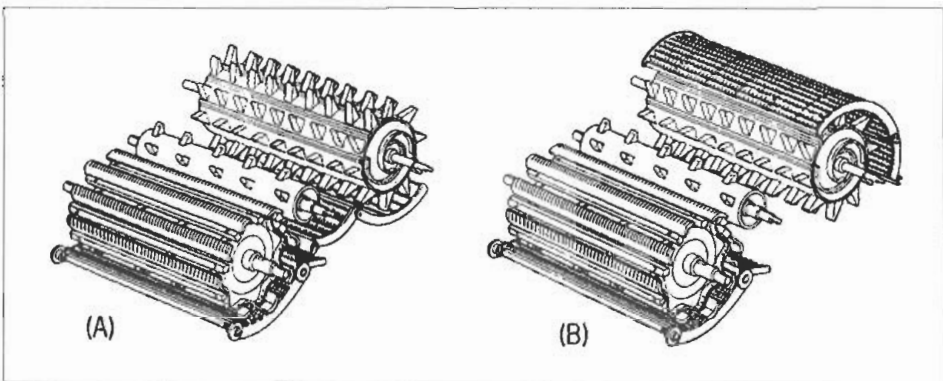


Fig. 26. Separador rotativo: A) posición de trabajo; B) inactivo.

En otros casos, los sacudidores se sustituyen por una serie de ocho cilindros transversales provistos de barras, con sus respectivos cóncavos por entre los cuales circula la paja hasta su salida (Fig. 27).

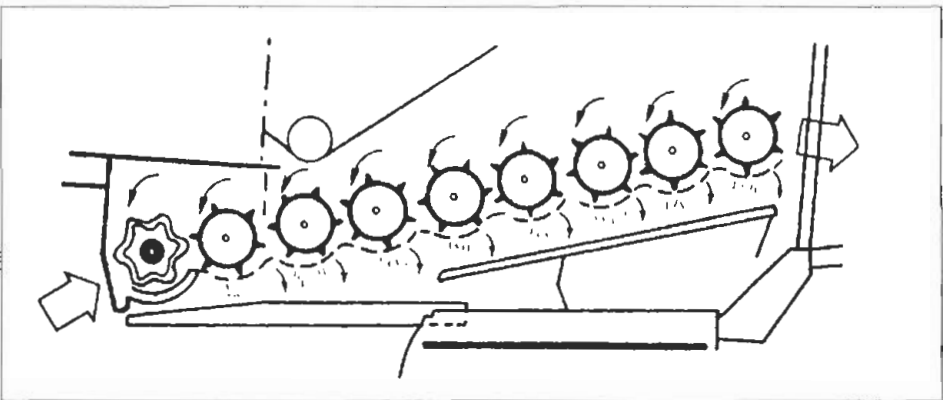


Fig. 27. Sacudidores rotativos.

**Tabla 7. Características técnicas medias de las cosechadoras.**

| Ancho de corte (m) | Potencia (kW) | Superficie (m ²) | | Peso en vacío (kg) | Capacidad de la tolva (l) | Capacidad de trabajo | |
|--------------------|---------------|------------------------------|--------|--------------------|---------------------------|----------------------|-------|
| | | Sacudidor | Limpia | | | (ha/h) | (t/h) |
| 3,00 | 60 | 2,7 | 2,2 | 4.000 | 1.800 | 0,80 | 3,2 |
| 3,60 | 80 | 3,0 | 2,5 | 5.000 | 2.000 | 1,00 | 4,0 |
| 4,20 | 95 | 3,3 | 2,8 | 5.500 | 2.300 | 1,25 | 5,0 |
| 4,80 | 100 | 4,5 | 3,3 | 6.000 | 2.700 | 1,25 | 5,0 |
| 5,40 | 120 | 4,8 | 3,6 | 7.000 | 3.600 | 1,75 | 7,0 |
| 6,00 | 150 | 5,3 | 4,0 | 7.500 | 4.000 | 2,00 | 8,0 |

Adaptaciones para cosechar otros cultivos.

Las cosechadoras de cereales, con ligeras modificaciones y regulaciones, pueden adaptarse para la recolección de otros cultivos.

Girasol: A la plataforma de corte se incorporan unas bandejas de forma alargada y en punta que recogen los capítulos y los llevan hasta el sinfín. También se sustituye el molinete por otro de tres aspas específico para este fin. El corte se realiza lo más alto posible.

Colza: Debe utilizarse una plataforma en la que la barra de corte se encuentra algo más alejada del sinfín que en las plataformas normales para que no se produzcan pérdidas de grano por la acción del molinete.

Maíz grano: Se utiliza una plataforma de corte específica que, en cada línea dispone de unos rodillos estriados que tiran del tallo hacia abajo y separan la mazorca para introducirla en la máquina.

Además, para cada cultivo, se debe regular la velocidad del cilindro desgranador, la separación cilindro-cóncavo y colocar las cribas apropiadas.

Tabla 8. Regulaciones medias para diferentes cultivos

| Cultivo | Velocidad de giro (rev/min) | Velocidad periférica (m/s) | Separación cilindro-cóncavo (mm)* | |
|---------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------|
| | | | Anterior | Posterior |
| Cebada | 1.000-1.200 | 25-30 | 13 | 5 |
| Trigo | 900-1.200 | 22-30 | 13 | 5 |
| Avena | 900-1.150 | 22-29 | 12 | 3 |

(Continúa página siguiente)

| Cultivo | Velocidad de giro (rev/min) | Velocidad periférica (m/s) | Separación cilindro-cóncavo (mm)* | |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------|
| | | | Anterior | Posterior |
| Arroz y sorgo | 800-1.000 | 20-25 | 10 | 5 |
| Soja | 500-700 | 13-18 | 20 | 15 |
| Guisante y lentejas | 400-600 | 10-15 | 18 | 6 |
| Girasol | 350-450 | 9-11 | 30 | 20 |
| Colza | 540-700 | 17-22 | 12 | 3 |
| Maiz | 500-700 | 15-20 | 20 | 15 |

* Depende de la humedad del grano

Tabla 9. Algunas incidencias frecuentes en el trabajo de las cosechadoras (Ortiz-Cañavate, 1993).

| Incidencia | Causa | Solución |
|--|--|---|
| Se atasca el cilindro desgranador | ✓ Excesiva velocidad de avance | ✓ Reducirla |
| | ✓ Lenta velocidad del cilindro | ✓ Aumentarla |
| | ✓ Escasa separación cilindro-cóncavo | ✓ Ajustarla |
| | ✓ Mies muy húmeda | ✓ Esperar a que seque |
| | ✓ Cilindro batidor lento | ✓ Tensar correa |
| Caída de grano al suelo en la plataforma de corte | ✓ Sacudidor no da salida a la paja | ✓ Aumentar la velocidad |
| | ✓ Molinete muy adelantado | ✓ Retrasarlo |
| | ✓ Molinete bajo | ✓ Subirlo |
| | ✓ Excesiva velocidad del molinete | ✓ Reducirla |
| Pérdida de grano en el sacudidor | ✓ Barra de corte muy alta | ✓ Bajarla |
| | ✓ Trilla insuficiente | ✓ Ajustar cilindro y cóncavo |
| | ✓ Reducida velocidad del sacudidor | ✓ Tensar correa |
| | ✓ Excesiva cantidad de paja | ✓ Reducir la velocidad de avance o subir el corte |
| | ✓ Obstrucción de orificios en el cóncavo o en el sacudidor | ✓ Limpiarlos |

(Continúa página siguiente)



| Incidencia | Causa | Solución |
|---------------------------------------|---|---|
| Pérdida de grano en las cribas | <ul style="list-style-type: none">✓ Ventilación excesiva✓ Orificios de la cribas demasiado cerrados✓ Reducida velocidad de las cribas | <ul style="list-style-type: none">✓ Reducirla✓ Abrirlos✓ Tensar correa |
| Grano partido | <ul style="list-style-type: none">✓ Trilla excesiva✓ Criba inferior muy pequeña o demasiado cerrada | <ul style="list-style-type: none">✓ Reducir velocidad del cilindro o separa cóncavo✓ Cambiar criba o abrir orificios |
| Grano sucio | <ul style="list-style-type: none">✓ Ventilación insuficiente✓ Criba superior muy abierta | <ul style="list-style-type: none">✓ Aumentarla (aumentando las revoluciones o abriendo las chapas laterales)✓ Cambiarla o cerrar orificios |

3.2 RECOLECCIÓN DE ALGODÓN.

Para conseguir las mejores condiciones de trabajo de las máquinas se debe tener en cuenta lo siguiente:

- a) La siembra debe realizarse en líneas separadas 0,90-1 metro por exigencias de la cosechadora de algodón, con una densidad de 120.000 a 200.000 plantas por hectárea.
- b) Las plantas no deben tener un tamaño excesivo ni sus ramas fructíferas demasiado separadas. Las ramas más bajas deben estar, al menos, 10 cm por encima de la superficie del terreno. El excesivo desarrollo lateral produce una sobrecarga de trabajo no deseable. Para concentración de cápsulas pueden utilizarse reguladores de crecimiento que, aplicados correctamente durante la aparición de las primeras flores, producen acortamiento de los entrenudos de las ramas principales y laterales. También se consiguen buenos resultados conjugando correctamente la distribución de abono nitrogenado y las fechas de los últimos riegos.
- c) Para evitar la recogida de restos foliares verdes junto con la fibra, que daría lugar a un aumento de la humedad y manchas con la consiguiente pérdida de calidad del producto, se hace necesario la aplicación de defoliantes como operación previa a la recolección.

- d) La efectividad del defoliante depende del estado de madurez de las cápsulas, de la temperatura y de la humedad ambiental. Como idea orientativa, diremos que el momento de aplicación debe ser cuando existan el 70-80% de cápsulas abiertas, pudiendo iniciarse la recogida transcurridos 8-10 días. La aplicación se realiza generalmente con equipos aéreos.
- e) La maduración en el algodón se produce de forma escalonada por lo que, teniendo en cuenta los efectos perjudiciales de las condiciones climáticas, resulta inevitable realizar varias pasadas de recogida.

Cosechadoras de fibra.

Las diferentes fases del trabajo de la máquina son:

- a) Reunión, guiado de las plantas y elevación de las ramas bajas y cápsulas próximas al suelo, función que realizan los divisores.
- b) Extracción de fibra de las cápsulas que se consigue por la acción del conjunto de husillos previamente humedecidos.
- c) Retirada de la fibra de los husillos mediante discos separadores giratorios recubiertos de goma.
- d) Una vez separado el algodón se transporta a la tolva o canasta de malla metálica, por la acción de una corriente de aire, de aspiración e impulsión, generada por un ventilador. Simultáneamente se produce la limpieza de la fibra ya que la corriente de aire se dirige contra una rejilla, en la tapa de la canasta.
- e) Descarga lateral de la tolva mediante cilindros hidráulicos. La capacidad de la tolva puede oscilar entre 1.200 y 1.300 kg y puede alcanzar 1.700 kg si dispone de compactadores.

Una de las partes fundamentales de la máquina es el sistema de extracción de la fibra, que está constituido por un conjunto de husillos giratorios cónicos dentados o cilíndricos rugosos, de pequeño diámetro, de acero y con tratamiento superficial anticorrosivo.

Según la forma y colocación de los husillos, existen dos tipos de cosechadoras de fibra: cosechadoras de tambor y cosechadoras de cadena sinfín.

En las cosechadoras de tambor, los husillos van dispuestos cilíndricamente, o como un tambor puesto de pie. Dispone de un tambor a cada lado de la línea de plantas pero no enfrentados (Fig. 28). Los husillos, en número de 18 a 20, van montados en una barra, cuyo extremo superior va unido a un brazo acodado y un cojinete que se desplaza por una vía con una leva (Fig. 29). Cada tambor tiene de 12 a 14 barras de husillos. La velocidad tangencial de los tambores es igual y de sentido contrario



a la de avance de la máquina, de manera que la velocidad de traslación de los husillos respecto a la planta es nula, al objeto de producir el menor daño posible a la planta y aumentar el tiempo de contacto de los husillos con las plantas. La fibra de las cápsulas abiertas se enreda en los husillos gracias al movimiento de rotación sobre su propio eje y a las muescas superficiales orientadas que poseen. Con todos los tipos de husillos se emplea un agente humedecedor, que puede ser agua o un aceite textil, con lo que el algodón se adhiere mejor, los husillos se mantienen limpios y el algodón se desprende mejor.

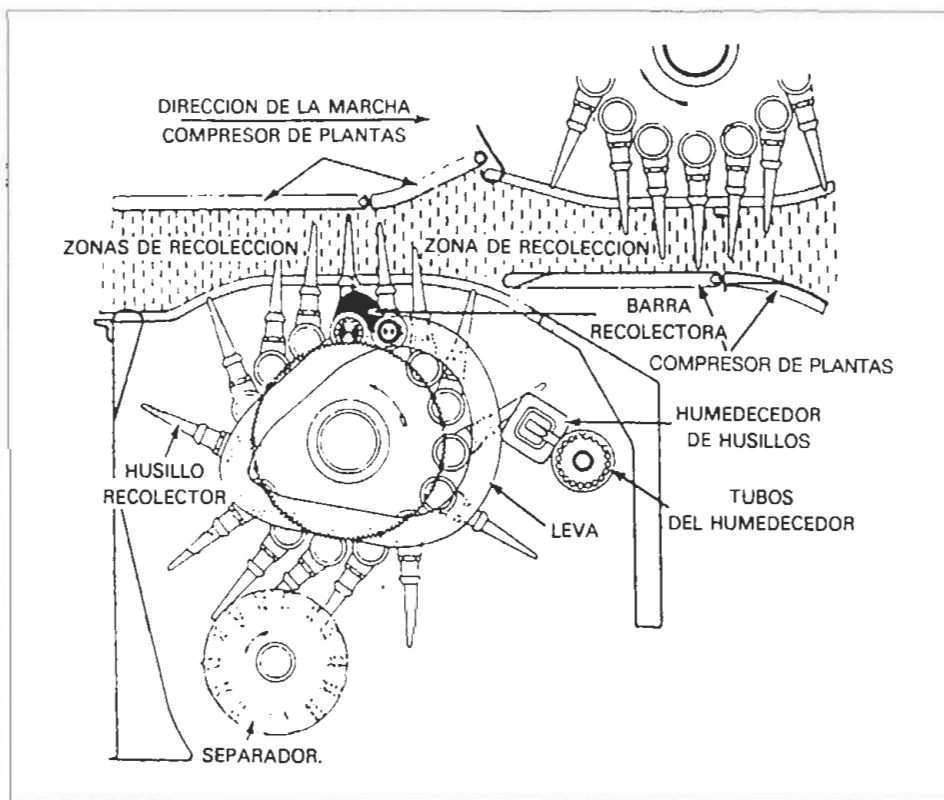


Fig. 28. Esquema de funcionamiento del sistema de extracción de fibra de una cosechadora de tambor

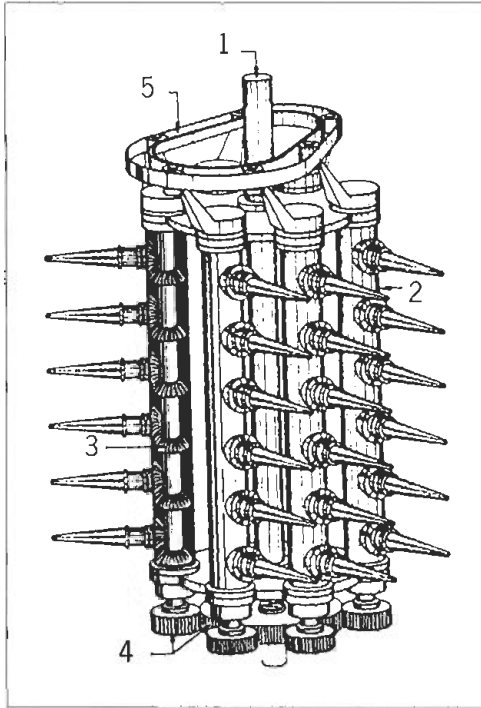


Fig. 29. Esquema de tambor de husillos: 1) eje de accionamiento; 2) barra portahusillos; 3) accionamiento de los husillos con pares de piñones cónicos; 4) accionamiento de las barras portahusillos; 5) guía excéntrica.

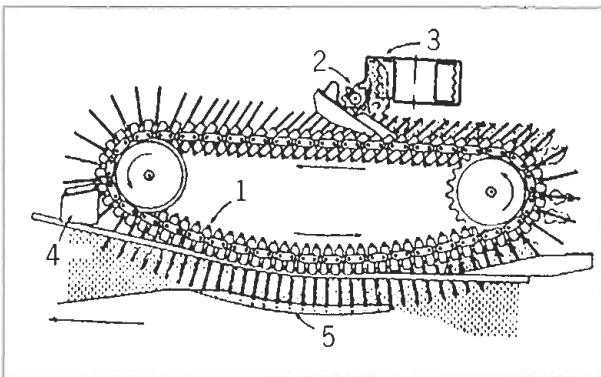


Fig. 30. Esquema de funcionamiento de una cosechadora de cadena sinfín: 1) cadena sinfín; 2) separadores de fibra; 3) canales de recogida; 4) humedecedores; 5) placa de presión.

En las cosechadoras de cadena sinfín, que tienen un funcionamiento similar al anterior, los husillos permanecen mayor tiempo en la zona de recogida (Fig. 30). La cadena está formada por 80 barras verticales con 16 husillos cada una. Los husillos suelen ser rectos y con ranuras longitudinales.



Características de trabajo.

Son máquinas muy voluminosas, de gran peso, alrededor de 5.500 kg, pero de una gran maniobrabilidad. Las pérdidas producidas por la máquina pueden variar entre el 5 y el 15 % dependiendo del estado del cultivo y de las regulaciones de la máquina. La velocidad de trabajo puede variar entre 4 y 6 km/h y su capacidad de trabajo puede ser de 0,5 a 0,7 ha/h. Teniendo en cuenta las horas y días útiles en la campaña, una cosechadora de fibra de dos líneas puede atender, aproximadamente, 90 ha por campaña.

Transporte del algodón recogido.

Cuando se realiza la recogida con cosechadora, una vez llena la tolva, se descarga su contenido sobre un remolque especial o cajón de rejilla metálica para su traslado a la desmotadora. La carga en general es de poco peso y mucho volumen. Este sistema se utiliza cuando la distancia de transporte a la desmotadora no es excesiva.

Otra posibilidad es la utilización de una prensa de grandes pacas prismáticas (Fig. 31). Dicha máquina está constituida por un cajón metálico reforzado, sin fondo, montado sobre una plataforma. Dispone de un puente en su parte superior que se desplaza longitudinalmente y que incorpora una prensa manejada por un operario desde una plataforma situada en la parte delantera. El accionamiento de la prensa se realiza a través de la toma de fuerza de un tractor.

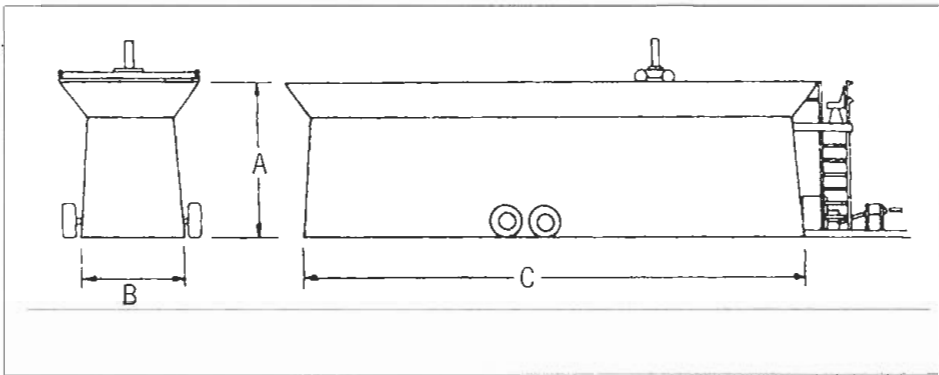


Fig. 31. Compactador de algodón. Dimensiones: A: 2,7-3,4 m; B: 2,2 m; C: 7,3-9,8 m. (ASAE S392).

Una vez formado el módulo, el compactador se desplaza para situarse sobre otra plataforma y comenzar un nuevo módulo. La paca obtenida se monta en un camión de plataforma basculante y deslizante para su traslado a la finca, donde se carga a un camión convencional para realizar el transporte a la desmotadora.

Una prensa estacionada en la cabecera de parcela puede atender a varias cosechadoras. Éstas descargan sobre remolques especiales del tipo de canasta basculante que trasladan el algodón al compactador aprovechando así la máxima capacidad operativa de la cosechadora al evitarle los desplazamientos para el vaciado de la tolva.

Las dimensiones de la paca de algodón compactado puede ser de 8 m de longitud, 3 m de anchura y 2,5 m de altura con un peso de 10.000 a 12.000 kg, pudiéndose alcanzar densidades de hasta 210 kg/m³.

3.3 RECOLECCIÓN DE REMOLACHA.

Las operaciones que comprende la recolección de la remolacha son: descoronado (eliminación de las hojas y de la parte aérea de la raíz), arranque de la raíz, limpieza y carga para el transporte.

Estas operaciones se pueden realizar con equipos descompuestos, que efectúan una o varias operaciones simultáneamente, o con cosechadoras, que realizan todas las operaciones en una sola pasada.

Equipos descompuestos.

Descoronadoras. Deben realizar el corte horizontal dejando la raíz sin presencia de hojas. Se puede considerar suficiente cuando menos del 10% de las raíces llevan hojas. Esta operación la realizan un conjunto palpador-cuchilla montado sobre un brazo oscilante que le permite modificar su altura sobre el suelo. La cuchilla suele ser fija y está colocada horizontalmente con una inclinación de 45° respecto a la dirección de avance. El palpador puede ser de patín o rotativo (Fig. 32). Los palpadores rotativos son cilindros de superficie dentada que giran en sentido de la marcha a una velocidad algo superior a la de avance de manera que sujeta la remolacha durante el corte permitiendo a la cuchilla realizar un corte horizontal. Los palpadores de patín, aunque más sencillos y económicos, pueden dar lugar a un corte oblicuo incorrecto al no sujetar convenientemente a la remolacha.

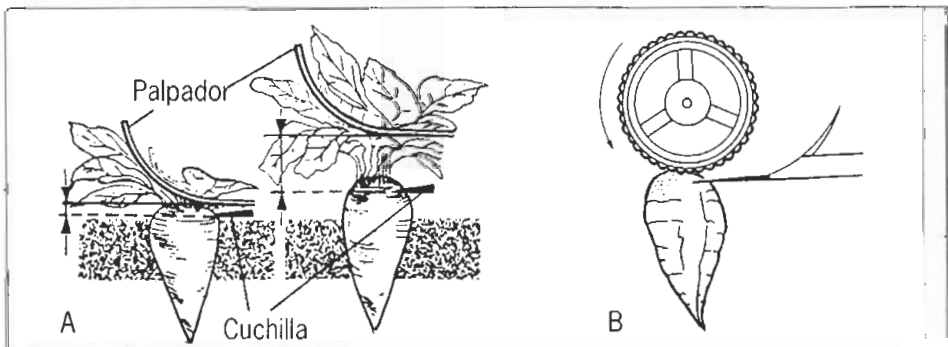


Fig. 32. Sistemas de descoronado: A) con palpador de patín; B) con palpador rotativo



Otros sistemas combinan los elementos de descoronado con la acción de deshojado previo, función de la que se encargan unos rotores de latiguillos de eje en la dirección de avance.

Arrancadoras. Extraen la raíz del suelo para su posterior hilerado o carga. Se utilizan rejas o discos. Las características de empleo se recogen en la siguiente tabla.

Tabla 10. Características de empleo de máquinas arrancadoras de remolacha

| Tipo | Condiciones del suelo | Daños por rotura | Presencia de tierra |
|----------------------|---|---------------------------|--|
| De púas | Penetra bien | Excesivos | Escasa |
| De rejas | Empleo posible en diferentes condiciones de suelo y humedad | Pocos | Escasa, en los sistemas oscilantes; abundantes en terrenos húmedos |
| De discos inclinados | Apropiado en suelos húmedos | Excesivos en suelos secos | Escasa |
| De disco-patín | Apropiado en suelos ligeros | Escasos | Escasa |

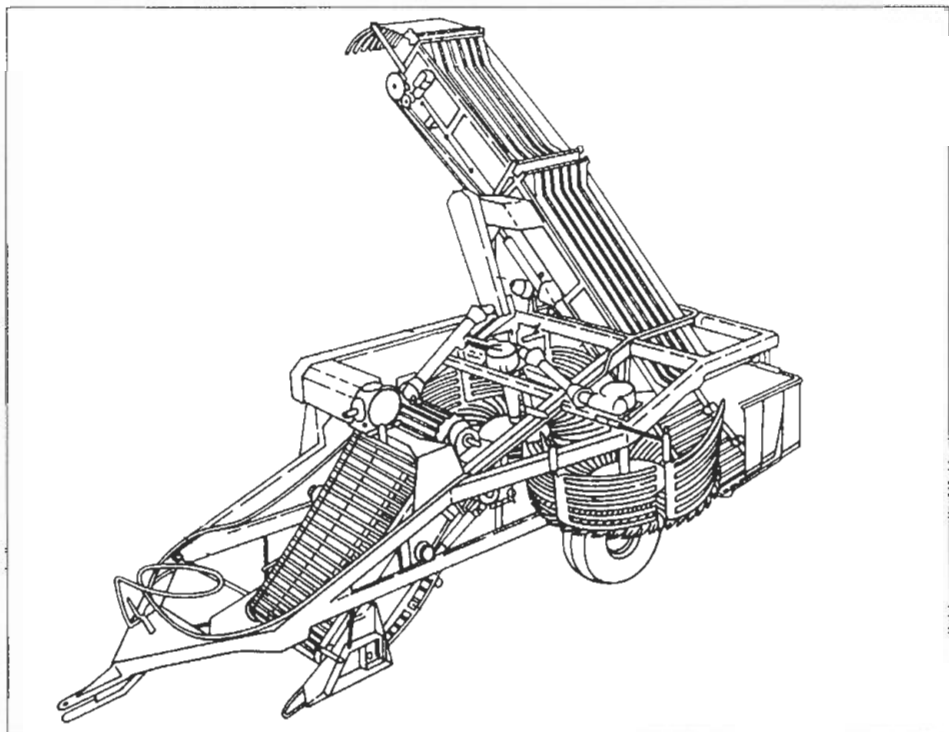


Fig. 33. Recogedora cargadora de remolacha.

Recogedoras-cargadoras. Realizan la recogida de las raíces previamente arrancadas e hileradas, conduciéndolas a una tolva o un remolque que se desplaza lateralmente (Fig. 32). La recogida y transporte de las raíces se realiza mediante cadenas que, junto a unos tambores rotativos, permiten la eliminación de la tierra.

Realizan en una sola pasada las operaciones de descoronado, arranque, limpieza y carga. Para el descoronado y el arranque utilizan alguno de los sistemas descritos con anterioridad. Normalmente trabajan sobre dos líneas según el sistema 1 + 1, es decir, recogen una línea mientras descoronan la siguiente.

Las operaciones de transporte y limpieza se realizan mediante cadenas sacudidoras, tambores rotativos de varillas o ruedas giratorias.

Las cosechadoras autopropulsadas tienen una tolva basculante por accionamiento hidráulico con una capacidad de 4 a 5 toneladas

Regulaciones.

En los diferentes sistemas o elementos de las máquinas de recolección de remolacha se deberán tener en cuenta las siguientes regulaciones:

- Distancia entre el palpador y la cuchilla de descoronado.
- Presión del palpador sobre las coronas.
- Velocidad del palpador rotativo accionado
- Profundidad de arranque
- Ajuste de la separación entre líneas
- Velocidad de las cadenas transportadoras

Tabla 11. Rendimientos medios de equipos descompuestos y cosechadoras de remolacha. (Ortiz-Cañavate 1993).

| Equipo | Velocidad de trabajo (km/h) | Potencia necesaria (kW) | Capacidad de trabajo (ha/día) |
|--|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Descoronadora* | 4-8 | 10-15 | 1,5-2 |
| Arrancadora | 3-6 | 10-15 | 1,5-2 |
| Descoronadora-Arrancadora | 4-6 | 20-30 | 1,5-2 |
| Cosechadora arrastrada de 2 líneas | 5-7 | 65-90 | 4-5 |
| Cosechadora autopropulsada de 2 líneas | 5-7 | 75-95 | 5-6 |

* Datos referidos a cada línea de trabajo



BIBLIOGRAFÍA.

- AEAC.SV. 1999. Sembradoras para siembra directa. Ficha técnica nº 4.
- ASAE Standards 1996.
- Barthelemy, P., D. Boisgontier, P. Lajoux. 1987. Choisir les outils de travail du sol. ITCF.
- Basso, H. 1985. El tractor en trabajos de tracción. Conf. Int. Mec. Agraria. Zaragoza.
- Detraux, F., O. Oestges. 1979. La mecanisation des travaux agricoles. Les Presses Agronomiques de Gembloux.
- García, L., P. González. 1997. Agricultura de conservación. AELC/SV.
- López, F.J. 1993. Elección de las unidades motrices. Potencia, rodadura y características complementarias. Máquinas y Tractores. 4, 60-64.
- Morrison, J.E. et al. 1988. Conservation planter, drill and air-type seeder selection guideline. Applied Engineering in Agriculture. 4 (4):300-309.
- Ortiz-Cañavate, J. 1993. Las máquinas agrícolas y su aplicación. Mundi Prensa.
- Ortiz-Cañavate, J. 1993. Los neumáticos del tractor. Máquinas y Tractores. 4, 65-69.
- Pellizi, G. 1987. Meccanica e meccanizzazione agricola. Edagricole.

CAPÍTULO II

SEMILLAS

Juán Domínguez Giménez (*)

* Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Centro de Investigación y Formación Agraria de Córdoba.

II. SEMILLAS.

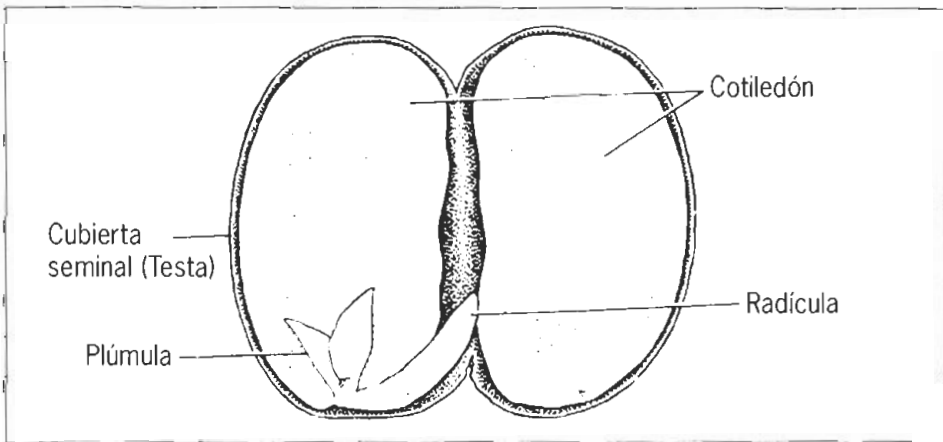
Importancia de la semilla en la agricultura moderna.

La semilla siempre ha jugado un papel muy importante en la aventura del hombre en la naturaleza, sobre todo desde que el hombre pasa de ser recolector a agricultor. En las últimas décadas del siglo XX esta importancia se acrecienta y las actividades relacionadas con la mejora genética y producción de semillas de calidad, llegan a ser una base esencial para el desarrollo de una agricultura eficaz y productiva.

1. CONCEPTO DE SEMILLA.

1.1. BOTÁNICO.

Desde un punto de vista botánico, una semilla verdadera consiste en un óvulo fertilizado y maduro que posee un embrión de planta, un almacén de sustancias de reservas (muy pocas veces falta) y una serie de capas protectoras. El embrión puede estar constituido por uno o mas cotiledones, una plúmula (brote embrionario), un hipocotilo (una porción de tallo) y una radícula (raíz rudimentaria)



Esquema de la semilla de una planta dicotiledónea

1.2. AGRÍCOLA.

Desde un punto de vista agrícola, la palabra semilla no siempre se aplica estrictamente a esta definición botánica, antes referida. Agrícolamente, el término «semilla» puede corresponder a un fruto, normalmente seco, con una o, raramente, más semillas; así como a verdaderas semillas.



Se entiende por fruto a un ovario floral maduro que puede contener una o más semillas. Ejemplos de frutos denominados «semillas» en términos agrícolas, tenemos la “pipa” de girasol (aquenio) o el “grano” de maíz (cariópside). Un ejemplo típico de una verdadera semilla es la judía o el garbanzo.

2. FUNCIÓN DE LA SEMILLA EN:

2.1. LA NATURALEZA.

En la naturaleza, las semillas llevan a cabo tres grandes funciones para la planta: a) proveen el método mediante el cual la planta se multiplica; b) son capaces de sobrevivir, por largo tiempo, a condiciones muy adversas; y c) poseen mecanismos que mantienen a la semilla durmiente o latente hasta que se presenten las condiciones idóneas para que tenga lugar la germinación.

2.2. LA AGRICULTURA.

El arte o saber (“know-how”) de producir semilla para fines agrícolas, consiste en manejar adecuadamente las tres propiedades anteriores y adaptarlas a las necesidades del hombre, multiplicando las semillas deseadas para cultivos futuros. Esto se lleva a cabo mediante el establecimiento de un cultivo con un suficiente número de plantas para que produzcan el número necesario de semillas para las siembras futuras. Posteriormente el cultivo se cosecha en el momento apropiado y la semilla, una vez limpia, se almacena hasta que se utiliza en siembras venideras.

3. SISTEMAS REPRODUCTIVOS.

Se describen a continuación los dos sistemas reproductivos mediante los cuales las plantas de utilidad agrícola se reproducen:

3.1. VEGETATIVO.

Algunas especies se reproducen vegetativamente: partes del tallo o las raíces pueden desarrollar órganos especializados, por ejemplo el tubérculo de la patata, que puede ser utilizados de una forma similar a las semillas. Otras especies se pueden reproducirse enraizando trozos de tallos. La propagación vegetativa tiene la ventaja que las plantas propagadas de esta forma son mucho más estables, desde el punto de vista genético, que las que se reproducen por semilla. La principal desventaja de este sistema de reproducción está en que las partes de la planta utilizadas para la reproducción se manejan y se almacenan con más dificultad que las semillas y tienen una vida menor, generalmente sólo pueden ser guardadas de una cosecha a la próxima, mientras que las semillas pueden ser almacenadas, en unas condiciones adecuadas, por mucho más tiempo.

3.2. SEXUAL.

El segundo sistema de reproducción es mediante un proceso sexual a través de la semilla. La reproducción sexual puede llevarse a cabo mediante autofecundación (autogamia) o fecundación cruzada (alogamia).

Un número pequeño de especies de interés agrícola se reproducen mediante un proceso sexual denominado apomixia, mediante el cual se producen unas estructuras parecidas a las semillas que se comportan, a todos los efectos, como si lo fueran. Cuando la apomixia ocurre, la semilla se produce sin que exista un proceso de fertilización o fecundación. En algunas especies, la apomixia es obligatoria; en otras puede ocurrir alternativamente a una reproducción sexual verdadera. En la práctica, la apomixia se trata, en lo relacionado con la producción de semilla, como si de un cultivo autógeno se tratara.

3.2.1. AUTOGAMIA.

La autofecundación o autogamia se produce cuando el polen de la antera de una flor es transferido al estigma de la misma flor. Cuando el polen germina y entra en contacto con el saco embrionario, la autofecundación se completa. En algunos cultivos la autofecundación tiene lugar antes de que la flor abra (trigo, cebada). En estas circunstancias el grado de autogamia es absoluto. Sin embargo, en muchas especies cultivadas, normalmente autógenas, las flores abren antes de la polinización; cuando esto ocurre, es posible que pueda ocurrir cierto grado de polinización cruzada.

A la hora de producir semilla de siembra de especies autógenas, la principal ventaja que caracteriza a este proceso es la estabilidad genética que confiere la autofecundación. Las especies autógenas tienen una mayor probabilidad de producir semillas exactamente idénticas a la variedad o cultivar reproducido que las especies alógenas, dado que el acervo genético masculino y femenino son el mismo.

3.2.2. ALOGAMIA.

En las especies de polinización cruzada o alógenas la fecundación se produce cuando el polen de una flor es transferido al estigma de otra distinta para realizar el proceso de fecundación. La flor en donde se produce éste, puede pertenecer a la misma planta de la flor productora del polen o a una planta diferente. Para que la fertilización cruzada ocurra debe existir algún medio que transfiera el polen de la flor productora a la receptora y deben, además, existir mecanismos que eviten la autofecundación.

En la mayoría de las especies de interés agrícola, el polen es transferido de una flor a otra mediante el viento o los insectos. Las especies que dependen del viento para dispersar o recibir el polen, tienen, generalmente, los tallos florales erectos y los estigmas receptivos no están demasiado recubiertos de cubiertas u hojas. Las especies que dependen de insectos para su polinización, tienen flores más elaboradas que atraen a los insectos mediante aromas, pétalos coloreados o néctar.



Desde el punto de vista del productor de semilla, es muy importante conocer el método mediante el cual tiene lugar la polinización cruzada. Si es mediante el viento, se debe tener en cuenta a la hora de la siembra del cultivo la dirección y velocidad de los vientos dominantes en el área, así como posibles obstáculos que puedan dificultar la llegada o cambio de dirección de aquellos. Si los insectos son los principales responsables de la polinización cruzada, es absolutamente esencial conocer qué insectos son los polinizadores más eficientes para el cultivo y se debe tener la seguridad que el área en donde éste se va a desarrollar es un hábitat adecuado para aquellos. En algunas especies es posible introducir colonias de los insectos que aseguren la polinización (colmenas de abejas en la producción de semilla de girasol o alfalfa).

Existen diversos mecanismos que evitan la polinización en las especies alógamas, éstos se denominan mecanismos de «autoincompatibilidad». A las especies que los poseen se denominan «autoincompatibles». En las especies en las que el viento es el medio transportador de polen, la autoincompatibilidad se manifiesta mediante el desarrollo de las anteras y cernido de polen antes de que los estigmas sean receptivos. En las especies en las que los insectos son los polinizadores, la autoincompatibilidad se consigue mediante estructuras florales dispuestas de tal forma que el insecto es guiado hacia los nectarios de tal manera que el polen entra en contacto con el cuerpo del insecto en lugares en los que lo más probable es que el polen entre en contacto con el estigma de la próxima flor visitada. Además de estos mecanismos, existen otros que controlan genéticamente la autoincompatibilidad.

El mantenimiento de la estabilidad del cultivar o variedad original, en las especies alógamas, es más difícil que en las autógamias. El parental masculino, tendrá, normalmente, una composición genética diferente a la del parental femenino y la fuente del polen que realizará la fecundación es más incierta, puesto que el polen ha de ser transportado una cierta distancia antes de alcanzar el parental femenino. Así pues hay una mayor probabilidad de que polen proveniente de un origen desconocido pueda realizar la fertilización. Para el productor de semilla, estas son consideraciones de importancia a la hora de establecer la parcela del cultivo para producir semilla, puesto que tendrá que utilizar una estrategia mediante la cual se asegure al máximo posible la probabilidad de que el parental femenino reciba el polen del parental masculino deseado.

4. CONCEPTO DE CULTIVAR O VARIEDAD COMERCIAL.

Los botánicos clasifican las plantas siguiendo esquemas naturales que suelen expresar, tan bien como sea posible, las relaciones que existen entre ellas, surgidas, seguramente, por descender o evolucionar de ancestros comunes. Tales clasificaciones generalmente agrupan las plantas en especies, y, en algunos casos, en unidades por debajo de la especie. Sin embargo, un cultivar o variedad comercial, no ocurre naturalmente, puesto que es un grupo de plantas que ha sido creado o seleccionado para que sirva a un propósito determinado.

El Código Internacional de Nomenclaturas de las Plantas Cultivadas define al cultivar como:

un conjunto de plantas que es claramente distinguible por algún carácter (morfológico, fisiológico, citológico, químico, etc.) y que cuando se reproduce (sexual o vegetativamente) retiene estos caracteres distintivos".

El vocablo cultivar proviene de las palabras inglesas "**cultivated variety**" (variedad cultivada).

5. VARIEDADES LOCALES.

Los programas modernos de mejora genética se iniciaron en este siglo y a través de ellos se han obtenido numerosos cultivares. Anteriormente existían dos mecanismos mediante los cuales se creaban tipos diferentes de plantas cultivables. El primero era el efecto de la "selección natural" impuesto por el medio ambiente. Varios factores influyen en el proceso de selección natural. Por ejemplo, los efectos del clima causados por los cambios en la longitud del día, temperatura y precipitación; factores edáficos del suelo causados por el nivel de nutrientes, la presencia de sustancias tóxicas, entre otros; y por último los efectos de los predadores y patógenos que naturalmente se encuentran alrededor de las plantas.

Otro proceso importante ha sido la selección consciente o inconsciente realizada por los agricultores. Es lógico que se realizara una selección consciente de plantas más vigorosas, semillas grandes y de buen aspecto, sobre todo por la repercusión que tendrían para la siembra siguiente. Una selección inconsciente sería el resultado de las prácticas de manejo llevadas a cabo sobre los cultivos; por ejemplo la época de siembra o recolección pudo influir en la cantidad de semilla aportada por tipos más tempranos o más tardíos.

Los procesos de selección antes comentados se combinaron para crear una gran riqueza de cultivares localmente adaptados, muchos de los cuales poseen unas características sobresalientes. Por razón de su evolución lenta en un periodo muy amplio de tiempo, estos cultivares locales son, generalmente, muy estables, siempre que se mantengan dentro del área de origen y su cultivo se realiza siguiendo las prácticas tradicionales de la zona. Su principal característica, como hemos dicho es su estabilidad en los rendimientos y no se podrá esperar grandes producciones de ellos.

La necesidad de proveer alimento para una población que ha ido creciendo en proporciones alarmantes (sobre todo en el siglo XX), ha hecho necesario la creación artificial de variabilidad en las plantas cultivadas, dentro de la cual se ha ido realizando una



selección que ha redundado en cultivares nuevos, mejores, con mas altos rendimientos y otras características deseables.

6. IMPORTANCIA DE LA MEJORA GENÉTICA EN EL DESARROLLO DE NUEVOS CULTIVARES.

La creación de variabilidad en especies autógamias se realiza mediante la hibridación o cruzamiento. Mediante este método, las características deseables de dos o más parentales pueden ser combinadas. Así pues, el nuevo cultivar dependerá, en gran parte, de las características genéticas de los padres escogidos para el cruzamiento o hibridación y además del método de selección realizado una vez el cruzamiento se ha llevado a cabo. Aunque existen muchos y diversos métodos para manejar las poblaciones resultantes de los cruzamientos creadores de la variabilidad, el mas utilizado es el denominado el método "pedigrí", que consiste, básicamente, en ir seleccionando dentro y entre las nuevas progenies generadas por la hibridación, e ir avanzando en generaciones mediante la autofecundación típica de estas especies. Al final del proceso, que normalmente durará de 8 a 12 generaciones, se obtendrán nuevas variedades, bastante homogéneas, que, supuestamente, contendrán aquellas buenas características de los parentales escogidos y que tratamos de combinar mediante los correspondientes cruzamientos.

En las especies alógamas, modernamente, la mejora genética ha dirigido sus técnicas a la creación de cultivares híbridos. Un cultivar híbrido es el resultado de un cruce controlado entre un parental masculino y uno femenino. La semilla solo se cosecha en el parental femenino y es utilizada directamente por el agricultor para la siembra del cultivo comercial.

Los cruzamientos para la producción de semilla de cultivares híbridos se llevan a cabo controlando la polinización de tal forma que se asegura que la semilla obtenida en las plantas parentales femeninas proviene del cruce deseado. Esto se puede llevar a cabo mediante diferentes métodos:

- El parental femenino se castra (se le priva de los órganos productores de polen). En algunas especies como el maíz, en la que la parte masculina se encuentra en diferente parte de la planta que la femenina, se cortan los penachos de flores masculinas antes de que empiece el cernido del polen.
- Utilizando como parental femenino uno que posea como característica genética la esterilidad masculina. Las plantas no producen polen porque poseen genes que anulan este carácter.
- Utilizando como parental femenino plantas con una alta autoincompatibilidad. Esto permite que el polen propio no progrese en los estigmas de estas plantas y sólo el polen foráneo lo hará.

Para la producción de los mejores cultivares híbridos, el mejorador selecciona parentales que tengan una buena aptitud combinatoria entre ellos, es decir, que su combinación o cruce produzca individuos de buenas características. Los cultivares híbridos tienen la gran ventaja de la **heterosis** o manifestación del vigor híbrido; además es relativamente fácil la introducción de genes mayores (por ejemplo los de resistencia a alguna enfermedad) en uno de los dos parentales o en los dos a la vez.

Sin embargo, los cultivares híbridos, tienen algunas desventajas sobre las variedades tradicionales; la principal, es el coste de desarrollo y producción del híbrido, que, normalmente, es mucho mayor que el de una variedad convencional. Se necesita llevar a cabo un trabajo considerable para producir parentales que sólo se utilizarán para la producción de nuevos híbridos y que no tienen valor alguno por sí solos. En la producción de semilla del cultivar híbrido, sólo la semilla que se recoge en el parental femenino, tiene valor comercial. Todos estos procesos hacen que la semilla que llega al agricultor se encarezca considerablemente.

La calidad de la semilla.

7. ASPECTOS CUALITATIVOS DE LA SEMILLA.

La calidad de la semilla que el agricultor utiliza es de gran importancia en el resultado final del cultivo. Entre los aspectos más importantes a considerar destaca el genético. La calidad genética de la semilla es la que asegura que las plantas que constituirán el cultivo poseen las características deseadas y que el agricultor, al comprar la semilla, supone que se encuentran en la misma y que serán desarrolladas por las plantas del cultivar o variedad. Otros aspectos relevantes son: viabilidad, germinación, calidad analítica, calidad sanitaria y calidad física. Además las semillas deben poseer una buena calidad de almacenamiento para asegurar que se mantienen sus características hasta el momento de la siembra.

7.1. CALIDAD GENÉTICA.

Como hemos visto anteriormente, el objetivo de un buen productor de semillas debe de ser el de la multiplicación de las semillas deseadas para satisfacer las necesidades de los agricultores en campañas posteriores. Quizás el aspecto más importante de la calidad de la semilla yace en la información genética que la semilla lleva y que será la principal responsable del tipo y características de la planta que el agricultor cultivará.

La semilla comprada por el agricultor de una variedad o cultivar determinado, debe producir plantas que a su vez produzcan semillas u otras partes de la planta (frutos, forraje, tallos, etc.) que tengan la calidad y producción esperada y atribuida a ese cultivar. A menos que la semilla lleve la adecuada información genética, no habrá ninguna técnica de cultivo que sea capaz de compensar la falta de esta calidad y el cultivo no corresponderá con total satisfacción a lo esperado.



Así pues, el primer paso a dar en el proceso de salvaguardar la calidad genética, será el de la identificación de cultivares que muestren las características deseadas. Hay dos aspectos fundamentales en relación a esta tarea: 1) Se necesitará determinar el valor de la variedad o cultivar para su cultivo y la utilidad del producto recolectado. 2) Se necesitará un método relativamente rápido y fácil para identificar la autenticidad del cultivar durante el proceso de multiplicación.

7.1.1. EVALUACIÓN DE LAS VARIEDADES.

La identificación de los cultivares o variedades que muestren las características deseadas requiere un procedimiento sistemático de ensayo. Los cultivares potencialmente útiles tienen que ser ensayados en condiciones de campo con el objeto de determinar cuál o cuáles poseen la combinación de características que con mayor probabilidad producirán un valor más elevado para su cultivo y aprovechamiento.



Foto 1. Ensayos de valor agronómico de trigos

Los mejoradores genéticos inician este proceso en etapas muy tempranas y progresivamente van eliminando el material que reúne características no deseables. En un determinado momento, el material más prometedor es ensayado junto con las variedades comerciales mejores de las zona o zonas para las que las nuevas variedades quieren ser dirigidas.

Los ensayos de variedades se diseñan para que estimen tan realmente como sea posible, el comportamiento de los cultivares, proporcionando una base sólida para predecir lo que sucederá cuando los agricultores los utilicen en cultivos comerciales.

Existen diferentes tipos de diseños para estos ensayos, aplicándose en cada momento el apropiado en función del número de cultivares a ensayar, número de repeticiones, etc.

En la Unión Europea y en España, en particular, es necesario, para que una nueva variedad pueda comercializarse, que ésta esté registrada en el Registro Oficial de Variedades Comerciales. Con este objeto, la Oficina Española de Variedades Vegetales (OEVV) durante 2 o 3 años, requiere la realización de los correspondientes ensayos de valor agronómico, en los que los nuevos cultivares propuestos por los obtentores son probados en distintas localidades dentro de las áreas en las que la especie se cultiva normalmente. En dichos ensayos se incluyen una serie de cultivares testigos (variedades comerciales muy implantadas) a los que los nuevos habrán de superar en un determinado nivel para cada una de las características deseadas. Aquellos cultivares que después del periodo de ensayos correspondiente son identificados como superiores a los testigos y que pueden ser identificados claramente (como veremos posteriormente) pasan a la lista oficial de Variedades Comerciales y pueden ser comercializados dentro del territorio de la UE.

Los ensayos de variedades, cualquiera que sea su finalidad, deben de ser manejados siguiendo las prácticas agronómicas normales (labores y cuidados culturales) de los agricultores de la zona, utilizándose insumos similares en dosis y épocas de aplicación.

7.1.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIEDADES.

Además de determinar el valor de un cultivar para su utilización comercial y antes de que sea admitido como variedad comercial, y llegar a ser cultivado a gran escala, es necesario que pueda ser distinguido morfológicamente de otros, con el objeto de que sea reconocible durante todo el proceso de multiplicación, puesto que existe la posibilidad de que se produzcan mezclas mecánicas de semillas, polinizaciones extrañas, o simplemente una elección de semilla equivocada por parte de los multiplicadores.

Para ello, es necesario establecer, a priori, aquellos caracteres en los que será posible distinguir el cultivar de otros de su especie. Estos caracteres deberán ser fácilmente distinguibles. Mientras que la estimación del valor agronómico de la variedad, como ya se ha visto, sólo se puede determinar con una red razonablemente amplia de ensayos, los datos de identificación deben estar rápidamente disponibles. Aunque en algunos casos hay algunas características relacionadas con las semillas que pueden utilizarse para la identificación, con sólo éstas es raramente distinguible un cultivar de otro, por lo que, en la mayoría de los casos, será necesario obtener algunas plantas del cultivar para determinar la identidad del mismo. Generalmente se utilizan una serie de caracte-



rísticas de las plantas o descriptores para establecer la identificación de los cultivares; estas características están basadas fundamentalmente en colores, formas de las hojas, presencia o ausencia de vellosidades, tamaño de los órganos reproductivos, etc. En cualquier caso, los caracteres utilizados como descriptores deben de ser bastante estables, para poder ser reconocidos en distintas circunstancias ambientales y que no se puedan perder en el paso de unas pocas generaciones.

En España, para inscribir un nuevo cultivar en la lista oficial de variedades comerciales es necesario que, además de ser evaluado en los ensayos de valor agronómico de la OEVI, sea posible identificarlo por esta misma oficina en los correspondientes ensayos de identificación. En estos ensayos no solamente se comprueba que el cultivar es distinto a todos los demás anteriormente registrados, sino que se establece una ficha del cultivar con todas las estimaciones de las características del mismo para cada descriptor. Esa ficha será utilizada posteriormente por los inspectores de campo, para comprobar tácitamente que las distintas multiplicaciones de este cultivar, corresponden exactamente al mismo.

7.1.3. COMPROBACIÓN DE LA PUREZA DE LA VARIEDAD.

La comprobación de la pureza de un cultivar durante el proceso de multiplicación es una tarea muy importante. El productor de semilla debe asegurarse que no sucede nada durante el periodo del cultivo, recolección, limpieza, acondicionamiento, ensacado y distribución posterior, que pueda haber causado mezclas de semillas u otras anomalías. Existen tres prácticas importantes para comprobar la pureza de los cultivares:

1. Ensayos de semilla en laboratorio
2. Ensayos de campo sembrados con muestras de semilla del cultivar.
3. Inspección de los campos de producción de semilla

• Ensayos de laboratorio.

Los ensayos de laboratorio, para este propósito, tienen un valor limitado. Generalmente estos ensayos se concentran en la observación del tipo de semilla, color, bandas, entre otros. También se pueden hacer observaciones en las plántulas procedentes de la germinación de estas semilla, en aquellos aspectos fácilmente observables; como la presencia o ausencia de antocianina en los hipocotilos.

• Controles pre y post cosecha.

Es una práctica habitual de las instituciones a cargo de la certificación de semillas, el realizar ensayos de control de los distintos cultivares de una especie determinada que permiten la comprobación de la pureza del cultivar durante e inmediatamente después del proceso de multiplicación de éstos.

Los ensayos de control o comprobación antes referidos, tienen como gran desventaja que sus resultados no están disponibles hasta la finalización del cultivo, por lo que la semilla sobre la cual se ha tomado la muestra para la realización de este ensayo, puede haber sido utilizada para un cultivo comercial en la misma época. En algunos casos, es posible realizar estos controles antes de que la semilla se haya comercializado o antes de que se pueda llevar a cabo una subsiguiente generación de multiplicación, si éste es el caso entonces estos ensayos se llaman de pre-control y en los demás casos de post-control. En cualquier caso, estos ensayos proporcionan una valiosa información de la eficiencia de los sistemas de producción utilizados por la entidad multiplicadora en la preservación de la pureza del cultivar multiplicado y pueden indicar las posibles causas del desvío de pureza así como posibles formas de mejorar los sistemas.

En los ensayos de control se suelen incluir parcelas con muestras auténticas del cultivar. Estas muestras suelen ser provistas por el obtentor del cultivar en el inicio del proceso de registro e identificación.

En las parcelas en donde se siembra la muestra de cultivar que se pretende controlar, normalmente es fácil de apreciar cuando la totalidad de las plantas no corresponden al cultivar auténtico o existe mezcla, mas o menos importante, con algún otro. Sin embargo, es mas difícil decidir si una planta individual debe ser clasificada como fuera de tipo; tal decisión requiere experiencia, puesto que la decisión se ha de basar en criterios subjetivos que han de juzgar si la planta es una variación genética real (no perteneciente al cultivar) o es simplemente una variación normal que ha sido magnificada por la condiciones medioambientales.

• **Inspecciones de los campos de producción.**

La inspección de los campos de producción sirve diferentes propósitos, pero el principal es la comprobación de que el cultivo muestra claramente las características del cultivar que supuestamente se sembró. Las visitas pueden ser periódicas durante toda el ciclo de cultivo, pero al menos una inspección debe de ser programada para realizarla durante el periodo en el que existen las mayores posibilidades de comprobar la autenticidad del cultivar. En la mayoría de las especies herbáceas este periodo suele coincidir con la época de floración.

Otros aspectos a tener en cuenta durante la inspección pueden ser los siguientes:

- Historia de los cultivos previos en la parcela para cerciorarse de que exista un bajo riesgo de aparición de plantas de la misma especie, no correspondientes al cultivar.
- Aislamiento suficiente de la parcela para impedir entrada de polen foráneo o mezcla mecánica de distintas semillas durante la recolección.



- Sanidad del cultivo, sobre todo en aquellas enfermedades que puedan ser transmitidas por las semillas.
- Baja incidencia de malezas, sobre todo de aquellas cuyas semillas no puedan ser fácilmente separadas de las del cultivo después de su recolección.
- En la producción de cultivares híbridos, cerciorarse de que la proporción de parentales femeninos y masculinos es la adecuada y que las plantas femeninas han sido eficientemente castradas o, en el caso de que posean androesterilidad genética, muestran una esterilidad masculina total.
- Las técnicas de inspección de campos difieren dependiendo de las características particulares de cada cultivo, pero siempre deberá seguirse una estrategia en cada inspección que asegure una visita en todos los puntos importantes del campo. La persona encargada de la inspección debe de estar provista, para realizar ésta, con toda la información relevante del cultivo, en la que deberá ir incluida la historia de la semilla utilizada para sembrar el cultivo, la ficha descriptiva del cultivar, los resultados de las inspecciones anteriores y los datos de los ensayos de control (en caso de que los hubiera).

7.1.4. CONTROLES PARA PRESERVAR LA CALIDAD GENÉTICA.

Se han descrito anteriormente una serie de aspectos generales de los procedimientos o métodos indicados para asegurar la calidad genética de la semilla. A continuación, vamos a referirnos a algunas de las medidas que el productor de semillas puede tomar para salvaguardar la calidad genética de la semilla producida.

La primera medida y principal es asegurarse de que la semilla que se siembra es la auténtica del cultivar que se pretende multiplicar de una altísima pureza. El mejorador genético u obtentor de la variedad o cultivar debe de mantener la variedad por un periodo de tiempo que al menos alcance varios años y si ello es posible por la totalidad de la vida útil esperada del cultivar.

El sistema más simple, y posiblemente el más efectivo, consiste en guardar un lote suficientemente grande de semilla del cultivar en condiciones que permitan preservar la viabilidad de la semilla por un largo tiempo. Se puede autenticar el cultivar, mediante un ensayo de control en el que se verifique tácitamente la identidad del mismo. En casos como el de las especies autógamas o parentales de híbridos de especies alógamas, se pueden extraer muestras de este lote inicial para comenzar un nuevo ciclo de multiplicación anualmente.

Independientemente del sistema de mantenimiento que se siga, se necesitarán varias generaciones de multiplicación para obtener la cantidad de semilla necesaria para las necesidades del mercado. Normalmente las primeras generaciones de mul-

tiplicación desarrollan lo que se denomina **semilla base** y generalmente estas multiplicaciones se realizan por los obtentores o mejoradores del cultivar. A partir de aquí las empresas multiplicadoras (que pueden coincidir con las obtentoras) u otras organizaciones (cooperativas, asociaciones de agricultores o agricultores particulares), con la correspondiente autorización, se encargan de realizar las multiplicaciones para la obtención de las cantidades necesarias de semilla comercial.

Además de tener la certeza que el cultivar de partida es el correcto, otras medidas interesantes para preservar la calidad genética deben de ser: la parcela o parcelas en las que el cultivar se multiplique deben de tener un historial conocido por el productor, con el objeto de minimizar plantas extrañas de la misma especie, un aislamiento suficiente de otras parcelas con el mismo tipo de cultivo, todo el equipo de trabajo ha de recibir una limpieza exhaustiva antes de su entrada en la parcela., el agua de riego no debe contener semillas de ningún tipo, durante la recolección se debe de tomar todas las precauciones necesarias para evitar las mezclas de semillas.

7.2. VIABILIDAD Y GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS.

Además de la calidad genética de la semilla, la viabilidad de la misma es el aspecto más importante del paquete cualitativo de la misma. Un lote de semillas de un cultivar determinado, debe contener la mayor proporción posible de semilla capaz de germinar vigorosamente. En cualquier lote de semillas es posible encontrar un grupo de semillas muertas y otro grupo que aun germinado, producirá una serie de plántulas anormales que no devendrán en plantas sanas.

Los ensayos de germinación están encaminados a determinar la capacidad germinativa de un lote de semilla (en porcentaje) mediante las correspondientes pruebas en el laboratorio. La metodología varía con la especie y las regulaciones de cada país, pero normalmente se suelen ensayar 400 semillas en 4 repeticiones diferentes a las cuales se les somete a las condiciones adecuadas de acuerdo con los requerimientos de cada cultivo.

Existen también ensayos para medir el vigor de las semillas germinadas, generalmente estos ensayos consisten en realizar la germinación bajo condiciones de estrés (ejemplo: temperaturas mas bajas que las óptimas).

7.3. PUREZA DE LA SEMILLA.

Los ensayos de pureza de semilla que se realizan en los laboratorios determinan la proporción de semilla pura dentro de un lote de semilla dividiendo la semilla de la muestra en: semilla del cultivo, otras semillas y materia inerte. En el grupo de "otras semillas" se pueden encontrar semillas de otras especies cultivadas o semillas de malezas.



Foto 2. Semillas de trigo duro con mezcla de semillas de cebada.

Todas estas semillas deberán ser identificadas. Algunas pueden ser similares en tamaño y peso de las semillas del cultivar y por lo tanto muy difíciles de separar. Las semillas de malas hierbas pueden ser también difíciles de separar y algunas pueden ser considerada peligrosas, por ser pertenecientes a especies de difícil erradicación en el campo o bien ser venenosas. Los resultados de los análisis de la pureza de los lotes de semilla se suelen expresar en porcentaje de peso.

7.4. CALIDAD SANITARIA.

Algunas enfermedades o plagas pueden ser transmitidas por las semillas y si éstas transportan elementos o partes infectivas de aquellas, al ser sembradas pueden generar focos de infecciones. Las infecciones pueden ser por hongos, virus, bacterias y plantas parásitas, o bien alguna fase de desarrollo de un insecto (adulto, larva o pupa) puede estar viva dentro de la semilla. La magnitud de la infección en la semilla puede ser escasa, pero dado que muchas enfermedades o plagas son capaces de multiplicarse rápidamente en el momento en que la semilla germina, pequeñas infecciones en la semilla pueden producir un daño muy importante en el cultivo.

Los procedimientos de ensayo de la calidad sanitaria de la semilla sólo pueden ser realizados por personal que posea unos conocimientos básicos sobre naturaleza de los agentes infectivos y que hayan recibido un entrenamiento apropiado sobre la metodología a aplicar en cada caso.

Para el productor de semilla o para el agricultor, el aspecto más importante con relación a este punto es la iniciación del ciclo de cultivo con un lote de semillas con una alta calidad sanitaria y subsiguientemente tomar todo tipo de precauciones mediante la rotación de cultivos y apropiados aislamientos que eviten las infecciones. Muchas enfermedades pueden ser tratadas con productos fitosanitarios; sin embargo, en muchos casos los tratamientos son costosos y sólo se pueden llevar a cabo en contadas ocasiones. Por esta razón, la semilla base o pre-base es a menudo tratada y las generaciones siguientes se mantienen, en lo posible, libre de enfermedades y plagas mediante las apropiadas prácticas de higiene en el suelo y en el cultivo, intentando aislar la parcela o parcelas de posibles fuentes de infección.

7.5. CALIDAD FÍSICA.

Para el agricultor que compra la semilla, el aspecto, la apariencia de la misma es muy importante, porque es el único criterio que puede ser observado y, aunque es cierto que muchas semillas con una pobre apariencia pueden germinar y crecer satisfactoriamente, usualmente se prefiere semilla más bien grande, bien llena y lustrosa. En general, este tipo de semilla debe de comportarse mejor.

La uniformidad en el tamaño es también importante. Generalmente, un lote de semilla de tamaño uniforme, dará un cultivo más uniforme que uno en el que la semilla de siembra no ha sido clasificada en tamaños; esto es particularmente importante cuando el cultivo se siembra espaciado.

Se puede producir daño mecánico en la semilla cuando ésta se maneja sin cuidado durante y después de la recolección. La semilla dañada o partida puede ser separada durante el proceso de limpieza, pero algunas semillas pueden llevar un daño sólo en la superficie de la cubierta y no son fáciles de separar. Esta semilla probablemente no germinará apropiadamente. Los daños mecánicos, además, pueden ser la puerta de entrada de diversos agentes patógenos que pueden destruir la semilla durante el almacenamiento post-cosecha.

7.6. CONTROL DE LA CALIDAD DURANTE EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE SEMILLA.

Si se quiere obtener una semilla de buena calidad, es necesario tener un sistema que controle la calidad en todos los procesos de producción de la semilla. Como se ha dicho anteriormente, aunque se pueden hacer ensayos rápidos de laboratorio para controlar ciertos caracteres cualitativos de la semilla, los ensayos para comprobar la pureza de un cultivar, duran, normalmente, un ciclo entero de cultivo. Así pues el control de los aspectos más importantes de la calidad genética de la semilla descansa fundamentalmente en los controles realizados durante el proceso de producción de la misma.



El agricultor utilizador de la semilla, depende, en gran medida, de la integridad y buen hacer del productor de la misma y éste, por lo tanto, ha de tener una clara conciencia de la responsabilidad que le compete en la totalidad del proceso de producción. En tanto en cuanto un productor de semilla inicia el ciclo de producción sembrando la semilla base, recibida del mejorador o del obtentor, él es el responsable de salvaguardar la calidad genética del cultivar. Con objeto de que esta responsabilidad puede ser ejercida razonablemente, el productor de semilla así como los miembros de su equipo técnico, deben de tener un conocimiento completo de los principios del control de calidad que hemos visto anteriormente, por lo que es necesario que tengan la adecuada experiencia y entrenamiento en las metodologías adecuadas.

Sin embargo, la semilla de siembra se considera un insumo tan importante en la agricultura que en la mayoría de los países el gobierno u otras instituciones públicas tienen una parte muy activa en el establecimiento de los adecuados controles de la calidad en la producción de semilla. El procedimiento por el cual estas instituciones públicas controlan la calidad durante el proceso de producción se denomina: "**certificación de semilla**" y la semilla obtenida en las diferentes etapas de la producción se denomina "**semilla certificada**".

7.7. CERTIFICACIÓN DE SEMILLA.

Existen diversas formas de organizar el control de la calidad de las semillas posteriormente a la etapa de semilla base, pero existen dos aspectos fundamentales que deben ser considerados. Primeramente es muy importante el establecimiento de los controles de calidad durante todo el periodo que transcurre hasta que las semilla es comercial y posteriormente un control de la calidad durante todo el periodo en el que la semilla pasa por la fase comercial y llega al agricultor.

El control de la calidad de la semilla durante el proceso de producción puede y debe ser responsabilidad de un buen productor de semilla y la mayoría de los productores cualificados ejercen esta responsabilidad adecuadamente con el objeto de obtener una calidad máxima en sus productos.

Sin embargo, en muchos países (entre ellos España), el gobierno nacional o autonómico mantienen unos servicios que ejercen el control de calidad en la producción de la semilla mediante un esquema de certificación de la misma. En algunos países estos esquemas pueden ser voluntarios o pueden ser un requisito legal (caso de España); mediante el cual todos los productores se obligan a entrar dentro de los mismos de modo que o bien está prohibida la venta de semilla no certificada o bien si se adquiere semilla no certificada, no hay posibilidad de reclamaciones oficiales en caso de que aquella no cumpla los requisitos de calidad necesarios.

En España los servicios de certificación son realizados por el Ministerio de Agricultura y Pesca a por medio de la Oficina Española de Variedades Vegetales (OEVV) o por las Consejerías de Agricultura de las distintas CC.AA.

Dependiendo de las especies y, en su caso, de los distintos tipos de pagos compensatorios procedentes de la U.E. que el agricultor pueda recibir, podrá ser obligatoria o no, la utilización de semilla certificada. En cualquier caso, el uso de semilla no certificada implica un desamparo del agricultor ante las posibles irregularidades existentes en la calidad de la semilla comprada.

Los principios sobre los que se basan los esquemas de certificación de semilla, pueden variar de un país a otro, pero básicamente consisten en los siguientes:

- Solo se admiten en el esquema de certificación aquellos cultivares que hayan sido oficialmente registrados tras los correspondientes ensayos de valor agronómico e identificación
- Todo cultivar ha de ser mantenido por el obtentor o, en su caso, conservador, quien debe asegurar que la semilla esté disponible cada año para que el esquema tenga continuidad. La oficina pública encargada de la certificación, realizará los correspondientes comprobaciones en los laboratorios y parcelas de control para asegurarse que la semilla producida por el obtentor o conservador cumple todos los requisitos de calidad.
- Los campos de producción de semilla certificada serán visitados por los inspectores de la oficina pública y deben de cumplir los requisitos establecidos y reconocidos por el productor.
- La semilla recolectada de los campos aprobados deberá ser sometida a los procedimientos de limpieza y tratamiento adecuados, introducida en los envases correspondientes que serán debidamente sellados y etiquetados. El productor de semilla será responsable de muestrear estos envases y realizar ensayos de germinación y pureza. Así mismo la oficina certificadora tomara una serie de muestras representativas de los lotes y realizará los ensayos de laboratorio y campo apropiados. En las generaciones de multiplicación subsiguientes (caso de que fueran necesarias) se repetirán los mismos tipos de controles.
- Todas las muestras serán obtenidas por personal autorizado de la oficina certificadora.
- La semilla producida por el mejorador, obtentor o conservador se denomina "semilla base" y las generaciones precedentes semilla "pre-base"; la cantidad a producir de este tipo de semilla es acordada por el conservador u obtentor y la oficina pública.
- La semilla certificada puede denominarse como de primera (R1), segunda (R2) o tercera (R3) generación posterior a la semilla base.

Estos requisitos son muy generales y a ellos habrá que añadir, en su caso, algunos específicos correspondientes a las características de calidad de cada especie.



Es evidente, que la certificación de semilla, en lo que se refiere a la calidad genética de la misma, pone un mayor énfasis en la forma en que el cultivo productor es llevado a cabo y en el manejo de la semilla recolectada del mismo. Los diferentes controles son realizados y programados en los puntos esenciales del proceso de producción y se supone que si todos ellos son positivos, la calidad de la semilla debe de ser buena. Queda claramente evidenciado, que la responsabilidad del proceso recae sobre el productor; la oficina responsable de la certificación, declara o certifica que al mejor de sus juicios, todas las reglas se han cumplido, pero el productor debe de asegurarse que estas reglas se han mantenido durante todo el periodo de producción, especialmente en los momentos en los que los representantes de la autoridad no están presentes.

7.8. CONTROL DE LA CALIDAD DURANTE EL PROCESO DE COMERCIALIZACIÓN DE LA SEMILLA.

El control de la calidad de la semilla durante el periodo de comercialización puede no recaer sobre la misma oficina o institución que realiza la certificación. En algunos países, el control durante la comercialización, como en otros muchos productos, puede tener mas relación con la legislación protectora de los derechos del consumidor.

El productor debe declarar en el etiquetado correspondiente los "estándares" mínimos de calidad que la semilla posee, y los vendedores de semilla están obligados a asegurar que la semilla puesta a la venta por ellos, posee, al menos, estas características.

En España, la situación del mercado de semillas es relativamente compleja, en el sentido de que muchas entidades son a la vez las que obtienen, multiplican y comercializan, llevándole al agricultor la semilla a la explotación.

En cualquier caso, las instituciones públicas encargadas de la certificación pueden tomar muestras de las semillas puestas a la venta y comprobar mediante los correspondientes ensayos de laboratorio y de campo, si las semillas cumplen los mínimos garantizados.

Produciendo semillas de siembra.

8. PRODUCCIÓN DE SEMILLAS.

Como ya hemos visto anteriormente, sembrar semilla de calidad es un requisito necesario para obtener cosechas, que a su vez sean capaces de rendir productos de calidad; por todo ello en la producción de semillas hay que tener muy en cuenta una serie de aspectos que vamos a repasar a continuación.

La producción de semillas es una actividad muy importante y de una gran trascendencia en casi todas las actividades agrícolas.

8.1. PLANIFICACIÓN DEL CULTIVO.

La siembra de un cultivo para producir semilla necesita una cuidadosa planificación. Como hemos visto anteriormente, las parcelas o parcelas en las que se ha de sembrar para producir semilla deben de prepararse para ello con varias campañas de antelación. Los cultivos precedentes deben ser aquellos que aseguren una presencia mínima de plantas adventicias (ricia) de la misma especie; así como otras plantas de especies parásitas o malas hierbas. De la misma manera se ha de tener en cuenta las características sanitarias de las parcelas, sobre todo en relación con aquellas plagas y enfermedades que puedan tener un impacto importante sobre la especie de la que se va a producir semilla. Por lo que se deben de programar tratamientos adicionales, si ello fuera necesario, para el control de las malas hierbas, plagas y enfermedades importantes en campañas previas a la del cultivo para producir semilla.

Se ha de planificar también en relación con el aislamiento de las parcelas de producción, particularmente en la producción de semilla de especies alógamas; se deben de conocer, con suficiente antelación, los cultivos de las parcelas que rodearán a las de producción, con objeto de prever posibles problemas posteriores.

Así mismo se debe de realizar una buena planificación de la cosecha, limpieza, tratamiento y comercialización de la semilla. El manejo posterior a la cosecha, si lo ha de hacer el agricultor, productor de la semilla, requiere que la explotación agrícola esté provista de los equipos apropiados de limpieza y tratamiento de semilla, así como de una infraestructura adecuada de almacenamiento.

En muchos casos, el agricultor sólo proporciona la parcela y algún que otro cuidado del cultivo, produciéndose la semilla bajo contrato, siendo la parte contratante la responsable de la retirada de la cosecha y de todo el manejo posterior, que normalmente se realiza en unas instalaciones preparadas al efecto.

8.2. CULTIVANDO PARA PRODUCIR SEMILLA.

Un cultivo encaminado a la producción de semilla, debe de hacerse con el mismo método que un cultivo comercial, pero extremando todos los cuidados en las prácticas agrícolas y manejo del mismo. En algunas circunstancias, pueden existir algunas variaciones sobre un cultivo comercial; por ejemplo, a veces es necesario utilizar un distanciamiento de plantas mayor que en cultivo típicamente comercial, o el momento de llevar a cabo alguna práctica agrícola (abonado, pase de cultivador, tratamientos, etc.) puede no coincidir con el de un cultivo comercial.



En general, el productor de semillas debe de aplicar las mejores técnicas de manejo del cultivo, introduciendo solo aquellas variaciones que él conozca que pueden tener una influencia beneficiosa en la producción de semilla.

Para conseguir los mejores resultados hay que prestar mucha atención a los detalles. Un buen manejo del cultivo supone realizar todas las operaciones, desde la siembra hasta la recolección, con una buena planificación previa. De todas formas, el productor de semilla debe de estar al tanto de detalles que el agricultor comercial, normalmente, no tiene en cuenta, como son todos aquellos que puede influir en la calidad de la semilla y que ya hemos visto anteriormente.

Fundamentalmente, el productor de semillas debe tener muy en cuenta que cualquier equipo que entre en la parcela o parcelas de multiplicación, no debe contener semilla alguna que pueda contaminar el cultivo.

Todos los aperos, cultivadores, etc., deben estar absolutamente limpios y no llevar adherido suelo de otras parcelas y la limpieza de los mismos se debe realizar lejos de las parcelas en donde se realizará el cultivo para producción de semilla.

La semilla utilizada para la multiplicación debe de ser aquella que cumpla las condiciones de calidad genética y demás, por lo que debe ser examinada "de visu" para comprobar que el aspecto externo cumple los requisitos esperados de pureza analítica, tamaño, etc. Las etiquetas y contenedores (sacos) de la semilla se guardarán debidamente hasta el final del cultivo y cualquier semilla sobrante se devolverá al almacén en contenedores cerrados y debidamente identificados.

Cualquier aplicación de insumos o tratamientos que se haya de hacer en el cultivo, se realizará con aperos y maquinaria debidamente limpia de cualquier tipo de semilla. No se deberá abonar con estiércol, puesto que éste normalmente incluye semillas, a menos que se haga en campañas anteriores a la del cultivo o que el estiércol esté absolutamente descompuesto.

Se deberá otorgar una atención especial al aislamiento de las parcelas de multiplicación, estándose atento en todo momento a los posibles problemas que puedan surgir en todo el ciclo de cultivo y si la multiplicación está dentro del esquema de semilla certificada oficialmente, se tendrá que cumplir con los requisitos impuestos por la institución pública encargada de la certificación.

El productor de semilla o los técnicos a cargo de la producción deberán estar atentos al desarrollo del cultivo en todo momento, identificando los posibles problemas y actuando en consecuencia. Tales problemas pueden presentarse en relación con la aparición de malas hierbas no controladas por los herbicidas aplicados con anterioridad y que podrá dar lugar a la necesidad de eliminarlas manualmente. Así mismo se podrán presentar enfermedades foliares que deberán ser controladas con los pesticidas apropiados.

Como recomendación final se deberá hacer hincapié en la importancia que tiene en la producción de semilla el que el productor aproveche todas aquellas oportunidades que tenga para mejorar las condiciones del cultivo, observando cualquier detalle que pueda ser relevante en la consecución de una buena producción de semilla de calidad.

8.3. RECOLECCIÓN.

La recolección de la semilla y los cuidados posteriores son aspectos críticos en relación con la viabilidad de aquella. El momento de la recolección y el método de llevar a cabo ésta, deben de ser planificados para asegurar que la semilla obtenida tenga la máxima capacidad de germinación. Así mismo, se ha de tener extremo cuidado en aquellas operaciones en las que pueda existir alguna posibilidad de mezcla con semillas ajenas.

El momento de la recolección se ha de ajustar para obtener una semilla suficientemente madura, hecho que puede ser indicado por el contenido de humedad de la misma y su apariencia externa. Si la semilla se recolecta demasiado temprano, puede llegar a arrugarse o encogerse en el proceso de secado posterior. Por el contrario, si la semilla se recolecta demasiado tarde, puede ocurrir que debido a la dehiscencia, caiga parte al suelo y el resto, al estar extremadamente seca, puede sufrir daños mecánicos durante el proceso de trilla y manejo posterior.

8.4. IMPORTANCIA DEL CONTENIDO EN HUMEDAD DE LAS SEMILLAS.

Cómo ya hemos visto anteriormente, el contenido de humedad de la semilla, juega un papel importante a la hora de la recolección; así mismo, una semilla almacenada con un contenido alto de humedad, puede perder viabilidad, se puede recalentar y puede ser colonizada por distintos tipos de mohos y hongos. Por lo tanto es absolutamente vital asegurar que las semilla recolectada se encuentra en unos niveles de humedad seguros, antes de proceder a su almacenamiento.

Normalmente, la semilla se recoge a unos niveles de humedad mas altos que los óptimos para su almacenamiento. Los niveles óptimos de humedad para almacenar varían con el tipo de cultivo, **pero en general, un 14 % de contenido en agua, es suficiente para almacenar la semilla en un periodo corto, y un 10 % o incluso menos, cuando la semilla se ha de almacenar por un periodo de varias semanas;** caso de que el almacenamiento haya de hacerse por un periodo mayor al que va hasta la próxima campaña, la humedad deberá estar entre el 5 y el 7 % y se necesitarán unas condiciones especiales de almacenamiento.



8.5. ACONDICIONAMIENTO DE LAS SEMILLAS POST-RECOLECCIÓN.

Inmediatamente después de la recolección, la semilla se encuentra en un estado de alta vulnerabilidad. La semilla puede contener restos de cosecha: pedazos de hojas, tallos, etc., que pueden tener un alto contenido en agua, lo que además se une al normalmente alto contenido en humedad de la semilla. Por ningún motivo se debe de dejar la semilla en este estado, aunque sea por un periodo corto de tiempo. La semilla se debe acondicionar inmediatamente; simplemente unas pocas horas en un contenedor cerrado, puede causar daños irreversibles en la germinación.

El acondicionamiento suele iniciarse con una pre-limpia , para separar alguno de los restos de la cosecha. Esta operación deberá realizarse con la maquinaria adecuada cuya estructura variará en función de la cantidad de semilla a acondicionar. En casos de pequeñas cantidades de semilla puede utilizarse el cribado a mano; para mayores cantidades de semilla, existen los correspondientes equipos con tracción mecánica.

Con posterioridad a la pre-limpia, el acondicionamiento lleva consigo, generalmente, un secado de la semilla. En climas cálidos y secos, puede ser suficiente con la exposición de la semilla, extendida en una superficie lisa, al sol; dándosele vueltas con frecuencia. En climas mas húmedos se deberán utilizar espacios cubiertos y bien ventilados o bien se utilizarán secadores con aire forzado, de los cuales existen diferentes modelos y tipos y que se adaptan a las diferentes necesidades y volúmenes de cada caso.

8.6. LIMPIEZA DE LA SEMILLA.

Una vez la semilla seca, el siguiente paso es su limpieza. La limpieza tiene dos objetivos fundamentales: la separación de las semillas pertenecientes a otras especies y materia inerte, y la selección de semillas con tamaños determinados en las que no estén presentes semillas descoloridas o en mal estado sanitario (Foto 3). No todos los lotes de semillas procedentes de la misma parcela de producción pueden limpiarse utilizando la misma metodología. El operador de un equipo de limpieza de semilla tiene una gran influencia en los estándares de la misma, en algunos casos más que es mismo equipo.

En general, el principio de la limpieza de semillas consiste en la colocación de la semilla sobre una criba que es agitada, algún material pasará a través de ella y otro permanecerá. La selección que hace la criba puede ser positiva, si el material que la atraviesa es la misma semilla o negativa si el material que la atraviesa no es la semilla si no otro material indeseable. La calidad en la separación de materiales distintos dependerá del tamaño de la semilla en relación con los otros materiales indeseados, el tamaño y la forma de las perforaciones en la criba, la velocidad y la distancia recorrida por todo el material en la criba y el periodo de tiempo durante el que la semilla está sujeta al proceso de cribado.

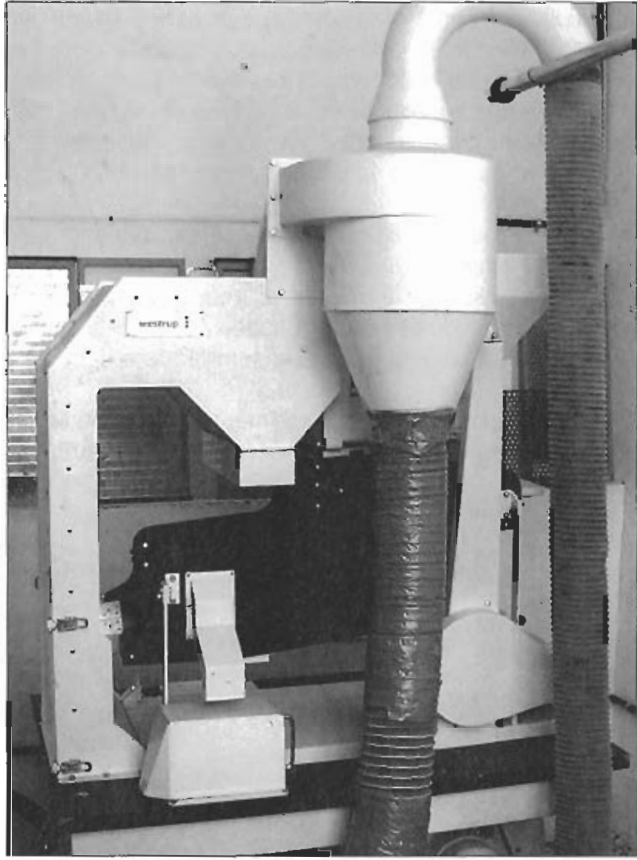


Foto 3. Limpiadora de pequeños lotes de semilla

8.6.1. MAQUINARIA ESPECIALIZADA.

La mayoría de los equipos de limpieza consisten básicamente en un juego de ventilador, criba y cilindro perforado, aunque existen equipos especializados en resolver problemas particulares.

El separador por gravedad está diseñado para separar semillas que difieren solamente en peso y que son similares en tamaño y forma.

El separador en espiral consiste en una batea situada alrededor de un eje vertical; cuando la semilla circula hacia abajo por la batea, la semilla mas redondeada se mueve mas rápida hacia el exterior que la semilla mas oblonga y puede ser dirigida en chorros diferentes mediante divisiones realizadas en el fondo de la batea.



La textura de la cubierta externa de la semilla puede ser utilizada para separar algunas semillas. Una semilla con asperezas, barbas o pelos se puede adherir a ciertos tejidos. La circulación de semilla por una correa cubierta con un tejido particular que esta inclinado hacia arriba, puede transportar ciertas semillas más ásperas a la parte alta de la correa en donde pueden ser retiradas por escobillas, mientras que las semillas de cubierta más suave tenderán hacia la parte baja de la correa.

Cuando existen diferencias marcadas de color, éstas pueden ser utilizadas para separar semillas: por ejemplo para separar semillas descoloridas. Las semillas son dirigidas por una fuerza única hacia una cámara que contiene células fotoeléctricas que escanea las semillas desde cada lado. Cuando una semilla descolorida es detectada, se activa un chorro de aire que dirige la semilla fuera de la corriente principal.

En ciertas situaciones es conveniente utilizar mecanismos con desbarbadores para retirar barbas, glumas, (Foto 4), etc. Esta operación se puede realizar sometiendo a la semilla a un golpeo o cepillado sucesivo contra una superficie determinada y preparada al efecto. Esta operación puede mejorar el aspecto de determinadas semilla (p.e. cebada) y puede facilitar el paso por las cribas y por los mecanismos de las sembradoras, permitiendo una mejor distribución de la semilla durante la siembra.



Foto 4. Desbarbadora experimental

8.6.2. MUESTREO.

El control de la calidad durante el proceso de limpieza de la semilla se basa fundamentalmente en las comprobaciones que se realicen en los lotes de semillas antes y después del proceso de limpieza. El muestreo se ha de hacer de tal manera que los efectos de las irregularidades dentro del lote de semilla sean mínimos, para ello es conveniente seguir los siguientes procedimientos:

- Estar seguro de que el lote de semilla sea tan uniforme como sea posible antes de realizar el muestreo, si se tienen fundadas sospechas de que sea heterogéneo, se debe mezclar completamente antes de muestrear.
- No tomar muestras de lotes demasiado grandes.
- Tomar submuestras de todas las partes de lote
- Utilizar una herramienta apropiada para tomar muestras y estar seguro de que se toman muestras de todas las partes - arriba, en el medio, abajo, en el centro y en los lados.
- Mezclar las submuestras totalmente para extraer una muestra representativa del lote.

8.7. TRATAMIENTO DE LAS SEMILLAS.

Las semillas se deben de tratar antes de la siembra por diferentes motivos:

- Para intentar combatir las plagas y enfermedades que pueden transportar las semillas.
- Para intentar preservar a las semillas de aquellas plagas y enfermedades que puedan estar presentes en el suelo o ser transportadas por el aire cuando las plántulas emerjan.
- El tratamiento, que se puede realizar añadiendo una capa de producto/s a la semilla, puede ser una forma de homogeneizar el tamaño de algunas semillas irregulares, facilitando su siembra, además de proveer una conveniente desinfección y, a veces, algunos nutrientes para la plántula.

Los productos que se utilizan en los tratamientos de desinfección o profilaxis de las semillas, a menudo, son tóxicos para las semillas, para el hombre y para las plantas, por lo tanto, los tratamientos se han de hacer con un gran cuidado y precisión. Normalmente la semilla se suele tratar justo antes de la siembra, con lo que no permanece almacenada por un periodo largo después de tratamiento, reduciendo así el peligro de una influencia negativa en la capacidad de germinación. La semilla tratada deberá ser claramente identificada como tal con las correspondientes etiquetas o marcas en los contenedores (sacos, bolsas, etc.), enunciando los productos que se han



utilizado para el tratamiento. Una advertencia (la típica calavera) del peligro que se puede correr en la manipulación o utilización errónea de la semilla deberá ser incluida.

Algunas enfermedades pueden transmitirse a través de las semillas, como por ejemplo el micelio del carbón desnudo del trigo o bien las esporas del carbón vestido, también en el trigo o bien pueden acompañar la semilla, como partes vivas del organismo patógeno o bien en los restos de cosecha.

Las infestaciones externas pueden ser atacadas directamente, hasta hace pocos años, el tratamiento más utilizado contra infecciones causadas por hongos se hacía con compuestos organomercuriales, pero debido a la gran toxicidad del mercurio, aquellos han sido casi completamente reemplazados por otras formulaciones, tales como los ditiocarbamatos.

La protección de las semillas y de las plántulas contra posibles ataques por organismos del suelo o en las partes aéreas, después de la emergencia, se puede realizar con fungicidas e insecticidas sistémicos.

Para la aplicación de estos productos a la semilla es necesario la utilización de un equipo específico. Los compuestos químicos a aplicar pueden venir en forma de polvo, emulsiones o líquidos (Foto 5) y el problema mayor consiste en aplicar la dosis exacta a cada semilla. La mezcla a mano utilizando un equipo simple, normalmente, no da buenos resultados. Una buena alternativa es el tambor mezclador, que consiste en un tambor montado excéntricamente dentro del cual se coloca el producto y la semilla. El tambor rota durante algunos minutos, permitiendo que la semilla y el producto se mezcle. Algunas veces mezcladoras tipo "hormigonera" se pueden utilizar con relativamente buenos resultados.

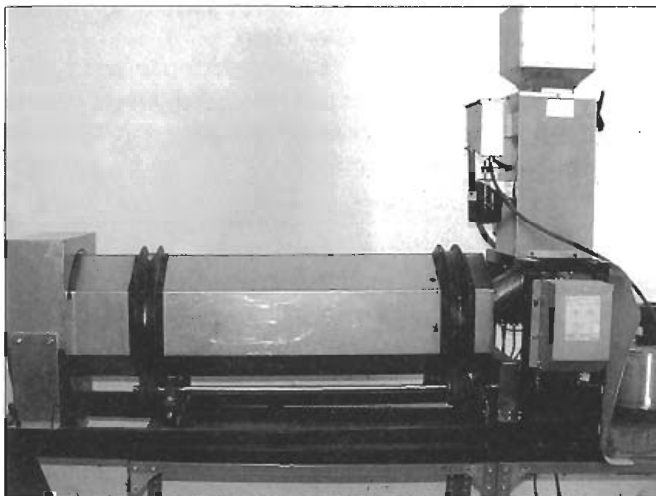


Foto 5. Equipo de tratamiento húmedo de semillas

En algunas líneas de limpieza de semilla se pueden incluir equipos de tratamiento de la misma. La mezcla se suele realizar en un mecanismo rotativo.

Lo más importante, como hemos dicho, es que cada semilla reciba la dosis adecuada del producto. Algunos mecanismos funcionan, en este sentido, por peso, es decir un peso determinado de semilla se deposita en la cámara de tratamiento junto con la cantidad apropiada del producto; en los sistemas continuos, tanto la semilla como el producto, son medidos continuamente.

Lo más importante, es que cada semilla reciba la dosis adecuada del producto

Los preparados en forma de polvo son los más difíciles de mezclar aunque se transportan y se manejan con facilidad. Las emulsiones y los líquidos son más fáciles de mezclar, pero pueden causar daño a la semilla si no se manejan correctamente. La mayoría de los equipos de tratamiento de semillas, están diseñados para utilizar cualquier forma de preparado.

Como hemos dicho anteriormente, los productos que se utilizan para el tratamiento de la semilla son tóxicos para los animales y el hombre, por lo que deben ser manejados con gran precaución. Los operarios que manejen productos y equipo deben llevar la correspondiente ropa protectora junto con las máscaras apropiadas; así mismo estos operarios deben ser instruidos en los riesgos posibles y en las medidas a tomar en caso de accidente.

Los equipos de tratamiento de semilla deben instalarse con las precauciones adecuadas, tales como extractores de aire, equipos de primeros auxilios, oxígeno, etc.

Eligiendo la variedad idónea.

9. ELECCIÓN DE LA VARIEDAD A SEMBRAR.

Como hemos visto en las secciones anteriores, la producción de semilla de calidad es algo realmente esencial en la agricultura moderna. Efectivamente, hoy día existen en España productores de semilla que comercializan, bien directamente, bien a través de distribuidores, semilla de gran calidad de, prácticamente, todas las especies cultivadas. Pero el hecho de tener a nuestra disposición esta buena semilla, no nos garantiza que la que podamos sembrar en nuestra finca sea perteneciente al cultivar adecuado, es decir, no solamente se necesita semilla con todas las características de buena calidad (genética, analítica, germinación, vigor, etc.) si no que además ha de ser apropiada a las condiciones agroclimatológicas de la zona.



9.1. IMPORTANCIA DE LA ELECCIÓN.

La elección de un cultivar es una decisión que va a tener una gran repercusión no solamente en el rendimiento del cultivo, sino también en los aspectos cualitativos del producto de interés económico del mismo.

Parte de los beneficios del agricultor depende de los rendimientos de sus cultivos, por lo que es necesario que éste, esté al tanto de las nuevas variedades que continuamente aparecen de cada especie. Los mejoradores genéticos constantemente están desarrollando nuevos cultivares o variedades adaptadas a condiciones de suelo y clima diferente, con adaptabilidades amplias o con adaptabilidades específicas a tipos de suelo y clima. El agricultor debe seleccionar el cultivar que ha sido desarrollado para adaptarse a las condiciones específicas de su zona o bien, en caso de que existieran, aquellos cultivares con una adaptabilidad muy amplia o con gran estabilidad, además de cumplir con las condiciones de producción exigidas por el mismo.

Con relativa frecuencia, el agricultor, se decide por semilla barata, que en la mayoría de los casos, no es de buena calidad, por lo que suele suceder, que la semilla barata le resulta la más cara a juzgar por los resultados que podía haber obtenido, de haber utilizado la semilla adecuada, y los que en la realidad obtiene. Siempre hay que recordar que:

LA SEMILLA BARATA PUEDE RESULTAR LA MÁS CARA

9.2. ADAPTABILIDAD.

El concepto de adaptabilidad ha sido debatido ampliamente durante la última mitad del siglo XX. Distintas definiciones y formas de medirla han sido propuestas y contrastadas.

Desde un punto de vista práctico, se puede definir la adaptabilidad de una variedad o un cultivar a la "capacidad o aptitud para adaptarse a unas condiciones determinadas de suelo y clima", es decir, una variedad estará muy bien adaptada a unas condiciones particulares, cuando sistemáticamente se comporta mejor que cualquiera otra en esas condiciones.

Dentro del concepto de Adaptabilidad se pueden distinguir dos tipos particulares:

- Adaptabilidad general o amplia: Se aplica a aquellos cultivares que se adaptan relativamente bien a una gama de condiciones de suelo y clima muy amplia. Las variedades que tienen este tipo de adaptabilidad se les denomina varie-

dades ESTABLES. Generalmente, este tipo de variedades nunca son las primeras en rendimiento u otros caracteres interesantes, aunque siempre se encuentran en los primeros lugares cuando se ensayan conjuntamente con varias otras.

Aquellos cultivares que se adaptan relativamente bien a una gama de condiciones de suelo y clima muy amplia se les denomina variedades ESTABLES

- Adaptabilidad específica: Se aplica a aquellas variedades o cultivares que están indicadas para unas condiciones específicas de suelo y clima. Estas variedades, generalmente, cuando se cultivan bajo las condiciones específicas para las que han sido desarrolladas, suelen ser las mejores y no tienen competencia; ahora bien, cuando se cultivan fuera de esas condiciones, descienden sensiblemente en su comportamiento.

Aquellas variedades o cultivares que están indicados para unas condiciones específicas de suelo y clima se les atribuye una ADAPTABILIDAD ESPECÍFICA

Lógicamente, casi todos los programas de mejora genética, incluyen entre sus principales objetivos el desarrollo de cultivares estables o de amplia adaptabilidad, objetivo que no en todas las especies es posible de conseguir, por lo que, en la mayoría de los casos, las nuevas variedades obtenidas presentan una adaptación más o menos específica, aunque las condiciones ambientales para las que se seleccionan suelen ser aquellas predominantes en las zonas más importantes del cultivo.

9.3. ESPECIFICIDAD.

En algunas situaciones, el agricultor puede decidir sembrar una variedad que tiene características especiales (producción de un producto con especiales características) y que se sale fuera de la normalidad en relación con otras variedades de la misma especie cultivadas en la zona, o bien que la variedad, para conseguir el producto deseado de la misma, con la calidad requerida, requiere cuidados o manejos especiales.

9.3.1. CARACTERÍSTICAS Y MANEJOS ESPECIALES.

En alguna circunstancia, el agricultor puede decidir cultivar una variedad que producirá un producto con características especiales y que se separan de las variedades típicas de esos cultivos, utilizadas en la zona. En estas situaciones es posible que el



cultivo haya que tener un cuidado o manejo particular, que habrá que atender debidamente. Pongamos unos ejemplos prácticos:

- Un cultivar de una especie oleaginosa con un contenido de ácidos grasos específico (alto oleico). La localización de este cultivo puede requerir una distancia mínima entre este campo y otro cualquiera de la misma especie, pero sin las características de la variedad que estamos cultivando, con objeto de evitar polinizaciones extrañas procedentes de esas otras parcelas y que podrían alterar la composición de ácidos grasos de nuestra cosecha.
- La producción de una semilla con un determinado calibre (girasol de consumo de boca), puede necesitar un distanciamiento mayor entre plantas que en un cultivo en el que no es requerido ese calibre especial.

Todas estas peculiaridades y otras posibles habrá que tenerlas en cuenta a la hora de planificación y manejo del cultivo.

9.4. INFORMACIÓN.

A la hora de la toma de decisiones acerca del cultivar o variedad a sembrar es necesario que se disponga de una información veraz, digna de confianza y que no este viciada por ningún tipo de interés, excepto aquel que sea en beneficio del agricultor.

Por todo lo anterior, el agricultor debe de disponer de buenas fuentes de información en las que tenga confianza y que pueda contrastar y comparar, con la seguridad de que la decisión tomada sea siempre sobre la base de una información veraz.

9.4.1 FUENTES MÁS IMPORTANTES DE INFORMACIÓN.

En la Comunidad Autónoma Andaluza, la Consejería de Agricultura desarrolla un programa de transferencia de tecnología a través de la Red Andaluza de Experimentación Agraria (R.A.E.A.). Este programa lleva a cabo, dependiendo de las distintas especies cultivadas, una serie de ensayos de cultivares, técnicas de cultivo, resistencia a enfermedades, etc., dentro de las correspondientes redes y subredes. Los resultados de estos ensayos son publicados periódicamente (generalmente a final de campaña) y suponen una fuente de información muy digna de confianza, por la ortodoxia de su realización, la experiencia y conocimientos de sus responsables y la, lógicamente, carencia de interés de lucro de sus ejecutantes.

Dentro de los cultivos extensivos herbáceos, existen redes de cereales de invierno (trigo harinero, trigo duro, cebada y triticales), oleaginosas (girasol y colza), cereales de primavera (maíz y arroz) y algodón. Así mismo existen redes de especies hortícolas tanto en su versión intensiva como extensiva. Las redes se dedican fundamentalmente al ensayo de variedades o cultivares comerciales, aunque existen tam-

bién ensayos de técnicas de cultivo (abonado, densidad de siembra, época de siembra, etc.), resistencia a enfermedades, etc.

Otras fuentes de información, son sin duda, la que generan las entidades obtentoras, multiplicadoras o productoras de semillas, por ellas mismas o a través de sus agentes distribuidores.

La mayoría de las productoras de semilla de prestigio poseen sus departamentos de desarrollo, que, entre otras actividades, llevan a cabo ensayos de variedades, en las que normalmente se ensayan los cultivares más importantes de la firma en comparación con los mejores de la competencia. Los resultados de estos ensayos se suelen publicar por las entidades productoras, junto con la oferta de variedades para la campaña.

9.4.2. CONTRASTE DE LA INFORMACIÓN.

Las fuentes de información mas arriba citadas y alguna otra más que el agricultor tenga a su disposición, deben de ser contrastadas. Se ha de tener en cuenta los resultados obtenidos no solo durante un año, sino en distintas campañas. Se ha de contrastar los resultados obtenidos en los ensayos oficiales con los emitidos por los departamentos de desarrollo de las entidades productoras de semillas. Se ha de tener en cuenta que las condiciones de suelo y clima deben de ser las correspondientes a la zona o zonas en donde se piensa sembrar. Es también muy recomendable tener en cuenta no solamente los resultados del rendimiento de las variedades sino también los correspondientes a las características de calidad por las que el cultivo sea importante: contenido en proteínas, contenido en aceite, perfil de ácidos grasos, etc. Una vez contrastada la información, haga una selección de variedades y una lista con ellas, priorizando de mas a menos interés.

Intente contrastar los resultados obtenidos en los ensayos oficiales (p.e. R.A.E.A.), con los emitidos por los departamentos de desarrollo de las entidades productoras de semillas.

10. COMPRA DE LA SEMILLA.

Una vez contrastada toda la información acerca de cual o cuales variedades son las indicadas para las zonas de nuestras fincas, y tomada la decisión correspondiente, hay que comprar la semilla del cultivar o cultivares seleccionados. Saber donde comprar, a quién comprar y qué comprar es una cuestión de gran importancia.



10.1 DONDE, A QUIÉN Y QUÉ COMPRAR.

La variedad o variedades seleccionadas, a ser posible, se han de comprar a la productora de semillas o a sus distribuidores legalmente designados. La compra a empresas o personas que no tienen una ligazón legal con la productora puede llevar a un desamparo del agricultor a la hora de posibles reclamaciones por posibles deficiencias en las semillas adquiridas.

Hay que asegurarse de que el vendedor sea un agente autorizado del productor de semilla o del distribuidor legalmente designado y que pueda hacerse responsable de las garantías ofrecidas por el productor de semillas con relación a las características de calidad de la semilla vendida.

Asegúrese de que la semilla que se compra corresponde a la variedad por usted seleccionada. No admita argumentos tales como **"ésta es igual que..."**, **"tiene el mismo ciclo que..."**, **"ésta es incluso mejor que..."**, **"no nos queda semilla de..., pero llévase de ésta que es igual..."**. etc., etc. Si se hubiera agotado la semilla de la variedad por usted seleccionada, asegúrese de contactar otros distribuidores y si, finalmente, no hay existencias de la misma, repase su lista de variedades priorizadas y vaya a segundas, y en su caso, terceras opciones.

11. CARACTERÍSTICAS DE LAS SEMILLAS ADQUIRIDAS.

Es muy importante informarse debidamente de las características de la semilla adquirida. La mejor forma de informarnos es leer con detenimiento las instrucciones del productor de semillas que deben venir claramente especificadas en el contenedor de la semilla (saco, bolsa, etc.) o bien en las etiquetas cosidas al contenedor.

11.1. INSTRUCCIONES DEL PRODUCTOR.

El productor de semillas suele dar una serie de datos correspondientes al cultivar, en el contenedor de la semilla. Estos datos pueden venir escritos como instrucciones en el mismo contenedor, como por ejemplo: nombre del cultivar o variedad, tipo genético de semilla (híbrido, variedad, población, etc.), características especiales (girasol alto oleico, resistente a alguna enfermedad o plaga, etc.), tamaño de la semilla (importante para graduar los platos de la sembradora), etc.

Lea con detenimiento estas instrucciones antes de adquirir la semilla y compruebe que todas las características coinciden con las que usted requiere y con las que la casa productora especifica en sus publicaciones divulgativas y con las que la información de las instituciones públicas ha realizado con respecto a ese cultivar.

11.2. LAS ETIQUETAS OFICIALES.

En caso de que usted haya adquirido semilla certificada, en cada saco o contenedor de semilla deben de venir cosidas unas etiquetas oficiales que garantizan las características de calidad genética y analítica. Es muy importante saber interpretarlas por lo que repasaremos los aspectos mas importantes de ellas:

ETIQUETA DE LA PRODUCTORA DE SEMILLAS

NOMBRE DE LA PRODUCTORA

DIRECCION, TELEFONO, ETC.

N° DE PRODUCTOR : Esta es la identificación clara de que el productor cumple con todos los requisitos legales, y como tal la administración le ha asignado un número de registro.

ESPECIE: Nombre específico, por ejemplo si se trata de trigo duro sería: *Triticum durum*.

VARIEDAD: Se especifica el nombre del cultivar o variedad, siguiendo con el ejemplo de trigo duro podría ser: SULA.

NUM. LOTE: Este número corresponde al lote o parte del total de toda la producción de esta variedad que esta productora de semillas ha realizado. Este número es muy importante, puesto que a él habrá de referirse a la hora de posibles reclamaciones.

PUREZA MINIMA: Viene referido en porcentaje, por ejemplo: 98 %; significando que se asegura que al menos un 98 % de la semilla contenida en ese contenedor corresponde al cultivar SULA.

GERMINACION MÍNIMA: También en porcentaje, por ejemplo: 85 %, significando que se asegura una germinación de al menos un 85 % de las semillas de ese contenedor.

TRATAMIENTO: En caso de que la semilla venga tratada con algún producto, aquí se especificará el nombre del mismo.

TOXICOLOGIA: Se refiere a la toxicidad del producto con el que ha sido tratada la semilla, normalmente esto se especifica con una serie de siglas, por ejemplo. Xn (BB) A. Obtenga la información de lo que estas siglas significan en la parte de pesticidas de este manual y actúe en el manejo de esta semilla con las precauciones debidas al nivel de toxicidad del producto.



ETIQUETA OFICIAL

Podría estar encabezada por una serie de organismos oficiales por ejemplo:

JUNTA DE ANDALUCIA (u otro gobierno autonómico), MINISTERIO DE AGRICULTURA, INSPV, ESPAÑA.

SEMILLA CERTIFICADA R-2: Garantía de que la semilla es certificada y especificación de la generación de multiplicación a la que corresponde; es este ejemplo es semilla R-2, es decir la segunda multiplicación tras la semilla de base.

ESPECIE: Otra vez el nombre específico de la especie en este caso, y siguiendo el ejemplo anterior, ha de ser *Triticum durum* = Trigo duro.

VARIEDAD: SULA; ha de coincidir con el nombre de la etiqueta de la productora. **Nº DE LOTE:** Debe de ser exactamente el mismo que el de la etiqueta de la casa productora.

PAÍS DE PRODUCCIÓN: España; podría ser cualquier otro de la Unión Europea.

FECHA DE PRECINTADO: Esta fecha es muy importante pues nos da una idea de la antigüedad de la semilla.

PESO/Nº DE UNIDADES: Peso del saco o contenedor.

Verifique claramente estos datos y vea las coincidencias que han de existir entre las dos etiquetas. Pregunte las dudas y guarde todas las etiquetas durante, al menos, todo el ciclo vegetativo.

Sembrando.

12. SEMBRADORAS.

Podríamos definir como una buena sembradora, en general, a aquella que colocara la semilla a una profundidad de siembra adecuada y uniforme, ejerciendo un control positivo sobre la dosis de siembra y no dañando la semilla.

12.1. TIPOS DE SEMBRADORA.

En el mercado existe una diversidad de modelos de sembradoras que van desde las tradicionales de siembra a chorrillo hasta las muy sofisticadas de siembra directa (cultivos en no laboreo).

Para los cultivos más importantes en Andalucía, se utilizan fundamentalmente dos tipos generales de sembradoras:

Sembradoras a chorrillo: fundamentalmente utilizadas para la siembra de cereales de invierno y cultivos de semilla pequeña (colza, pratenses, etc) (Foto 6)



Foto 6. Sembradora a chorrillo con botas independientes.

Sembradoras de precisión: generalmente para cultivos en línea (maíz, girasol, algodón, remolacha, etc.). Pueden ser:



- Mecánicas: Aquellas cuyo mecanismo de dosificación de semillas dentro del surco se realiza mediante un sistema mecánico (Foto 7).
- Neumáticas: aquellas cuyo mecanismo de dosificación de semilla se realiza por medio de sistemas de vacío (Foto 8).

Foto 7. Típica sembradora de precisión mecánica.



Foto 8. Sembradora de precisión neumática.

12.2. SEMBRADORA ADECUADA PARA CADA TIPO DE SIEMBRA Y SEMILLA.

Las sembradoras de chorrillo, generalmente utilizadas para sembrar cereales, pueden estar equipadas con mecanismos de dosificación diferentes como son: ruedas estriadas, rueda de celdas o salida libre; en cualquier caso la semilla se va depositando en el terreno en base a la dosis de siembra pero sin una separación específica entre plantas, como sí lo hacen las sembradoras de precisión. La distancia entre líneas puede ser variable, pero en cereales puede oscilar entre los 12 y los 36 cm. Normalmente estas sembradoras vienen equipadas con discos o rejas abridoras y con ruedas o rulos compresores. Como ya hemos dicho, estas sembradoras son las adecuadas para la siembra de cereales y otros cultivos de semilla pequeña.

Las sembradoras de precisión, se utilizan fundamentalmente para cultivos con semilla de tamaño mayor y para cultivos en línea, tales como el maíz, remolacha, girasol, algodón, etc.

Estas sembradoras pueden sembrar una o varias semillas por golpe y situar los golpes a una distancia preestablecida. Generalmente poseen también mecanismos abridores y dispositivos cubridores. Para adaptarse a los mayores espaciamientos entre surcos que requieren los cultivos en línea, estas sembradoras tienen, por lo general, tolvas separadas. El mecanismo de control de la semilla de las sembradoras de precisión mecánicas, consiste fundamentalmente en una placa o plato colocado horizontal o verticalmente en la tolva. Este plato presenta una serie de muescas a intervalos determinados, para albergar semillas de tamaños determinados. La placa gira cuando la sembradora es conducida hacia delante. La distancia entre las muescas permite que las

semillas sean liberadas a distancias específicas. Todas estas sembradoras se pueden adaptar a un sinfín de tipos de semillas, con el único requerimiento del cambio de platos y de la separación de las líneas.

Las sembradoras de precisión neumáticas, de concepción más avanzada, resuelven el sistema de dosificación y control de semilla por un sistema de aspiración que hace que se libere una o varias semillas a intervalos determinados. Tienen una gran ventaja sobre las mecánicas, al admitir todo tipo de tamaño de semillas, sin necesidad de cambiar aditamento alguno.

12.3. DOSIS DE SIEMBRA.

Un control preciso de la dosis de siembra favorece el establecimiento de un cultivo de calidad, ya que tanto el defecto como el exceso, desperdician semilla y reducen el rendimiento potencial. La dosis por debajo del óptimo no permite la completa utilización de la humedad, nutrientes disponibles y luz, y la sobredosificación crea una demanda excesiva de esos factores y reduce los rendimientos de todas las plantas.

12.3.1. CÁLCULO DE LA DOSIS DE SIEMBRA.

La dosis de siembra de un cultivo debe basarse en la cantidad de semilla pura y viva, o valor real; esto es, sobre la relación entre el peso de semillas viables de la variedad o cultivar deseado y el peso total de semillas, que puede incluir semillas no viables, de malas hierbas y materia inerte, junto con las semillas viables. Si, por ejemplo, el 80 % de la semilla es viable y tiene una pureza del 95 %, el coeficiente de semilla pura y viable será de $0,76 = 0,80 \times 0,95$; de este modo en 100 kg de semilla hay 76 kg de semilla pura y viable de la variedad deseada. Si la dosis de siembra recomendada es de 160 kg./Ha. (dosis empleada en algunos cereales de invierno), la dosis de siembra a emplear será:

| |
|--|
| $\frac{\text{Dosis de semilla 100 \% pura y viable}}{\text{Coeficiente de pureza y viabilidad}} = \frac{160}{0,76} = \mathbf{210,5 \text{ kg./Ha.}}$ |
|--|

12.3.2. PRECAUCIONES A TOMAR.

Una vez conocida la dosis de siembra real, deberemos adecuar esta dosis a las características de la sembradora, para lo cual seguiremos las instrucciones del fabricante que, normalmente han de tener en cuenta el número de revoluciones de la rueda de la sembradora necesarias para sembrar una superficie determinada, las revoluciones que



llevará la rueda a una velocidad determinada del tractor y la anchura entre las botas de siembra de la sembradora. Conocidos estos datos y siguiendo las instrucciones del fabricante podremos calibrar nuestra sembradora para la dosis real adecuada de nuestra variedad.

13. LA OPERACIÓN DE SIEMBRA.

El buen establecimiento de un cultivo comienza con una buena semilla. Sin embargo, aun con la mejor semilla, no se producirán rendimientos óptimos si no se manejan de forma conveniente otros factores.

13.1. LABORES PREVIAS.

Un lecho adecuado para la semilla, que suministre el ambiente apropiado para la germinación, es de la máxima importancia para el establecimiento óptimo del cultivo. Aunque las necesidades precisas pueden variar de un cultivo a otro, el suelo debe de estar acondicionado de tal forma que asegure la humedad necesaria para la germinación a la profundidad de siembra adecuada. Las partículas de suelo que rodean a la semilla, deben de contactar con la superficie externa de su cubierta, en el mayor porcentaje posible, para permitir la máxima tasa de absorción de agua que promueva una rápida germinación. La estructura, textura y manejo del suelo, afectan al contacto suelo-semilla, así como también las características de la cubierta seminal, como pueden ser las vellosidades u otras irregularidades.

En el caso de un laboreo tradicional, antes de sembrar, el agricultor debe de realizar labores que aseguren el ambiente adecuado para la germinación, y al mismo tiempo que preserven la estructura del suelo, minimizando la pérdida de agua por evaporación desde la superficie. El suelo no debe de quedar finamente pulverizado, para evitar la formación de costra. No debe darse labor alguna mientras que el suelo esté húmedo (p.e. después de una lluvia o un riego), pues se puede destruir la estructura del suelo. Además de la creación de un ambiente favorable para la germinación, la preparación del suelo constituye una parte importante de un esfuerzo continuo para controlar las malas hierbas.

Las labores realizadas en relación con el cultivo anterior (fundamentalmente de incorporación de sus residuos), se han de ver complementadas con labores de preparación final del terreno para la siembra. Existen distintos aperos que se pueden utilizar para estos fines y su elección dependerá del tipo de suelo; normalmente se suele utilizar una grada de disco seguida de un vibrocultor que refina el suelo sin destruir su estructura.

13.2. APLICACIÓN DE HERBICIDAS DE PRESIEMBRA.

En determinados cultivos es recomendable aplicar herbicidas antes de realizar la siembra, para lo cual habrá que incorporarlos al suelo mediante la labor apropiada; generalmente es muy utilizado el uso de algunos compuestos para controlar especies monocotiledóneas, antes de sembrar un cultivo de una especie dicotiledónea; por ejemplo la utilización de trifluralina para controlar gramíneas en el cultivo del girasol. En esta operación se ha de ser muy cuidadoso a la hora de aplicar la dosis recomendada, puesto que se necesita una rápida incorporación del herbicida al suelo, operación que necesita una alta sincronización entre el equipo aplicador y el equipo de incorporación (grada de disco, cultivador, etc.).

13.3. TEMPERO.

Como anteriormente se ha expuesto, la preparación del terreno tiene como principal objetivo la obtención de un lecho adecuado para la semilla, que suministre el ambiente apropiado para la germinación. No obstante, una nascencia buena y segura no se consigue por el simple hecho de poner el suelo en condiciones físicas adecuadas y con suficiente humedad.

La palabra tempero quiere significar el conjunto de propiedades del suelo que junto con todas las demás variables medioambientales hacen el mismo apto o no para realizar la siembra. La semilla es un ser vivo que necesita Oxígeno, por esta razón, los suelos saturados de agua inhiben la germinación. La temperatura del suelo es también crítica, teniendo en cuenta que la óptima requerida para la germinación varía según las diferentes especies. Hay diferencias básicas, en este aspecto, entre los cultivos de estación fría (cereales de invierno, remolacha de siembra otoñal) y los de estación cálida (cereales de primavera, girasol, algodón, etc.). En algunos casos las semillas pueden necesitar luz para la germinación, con lo que la preparación del terreno y el método de siembra deberá permitir la penetración de la luz hasta la semilla.

13.4. SEMBRANDO.

Como anteriormente hemos indicado, existen dos factores fundamentales que influyen en la realización de una buena siembra: profundidad y dosis.

La siembra a una profundidad adecuada y uniforme, en un terreno bien preparado y con humedad suficiente, favorece la producción de plántulas vigorosas y el establecimiento de una buena cobertura. La profundidad depende del tipo de suelo y tamaño de la semilla. Como regla general, se puede decir que las especies de semilla grande se siembran mas profundamente que las de semilla pequeña (por ejemplo el maíz mas profundamente que el trigo o las habas mas que la alfalfa), puesto que las sustancias de reserva en las semillas grandes es mayor que en las pequeñas y ello le permite poder consumir un periodo mas largo en el proceso de germinación y establecimiento.



13.5. PRÁCTICAS INMEDIATAS TRAS LA SIEMBRA.

En algunas situaciones es necesario realizar una serie de operaciones tras la siembra que tienden a asegurar un establecimiento del cultivo homogéneo.

En función del tipo del suelo y de la humedad existente durante la siembra es posible que sea necesario un pase de rulo con objeto de poner en contacto la semilla y la humedad. En algunos casos, cuando la siembra se ha realizado a voleo (por ejemplo con una abonadora centrífuga o por avión) es necesario dar un pase de grada o de cultivador con objeto de cubrir las semillas; a continuación es posible que sea también necesario un pase de rulo.

1

CAPÍTULO III

FERTILIZACIÓN

Miguel Ángel Parra Rincón (*)

* Universidad de Córdoba. E.T.S. Ingenieros Agrónomos y Montes.

III FERTILIZACIÓN

1. EL SUELO AGRÍCOLA.

El suelo es el medio natural de crecimiento de las plantas. Como tal, debe suministrar a estas el agua y los nutrientes que precisan para desarrollarse, el oxígeno que requieren sus raíces para respirar y un medio de anclaje.

1.1. PERFIL Y HORIZONTES DEL SUELO.

Cada suelo está constituido por diferentes capas (u horizontes) más o menos distinguibles entre sí por su color, textura, etc. El conjunto de estas capas recibe el nombre de *perfil* del suelo.

En el perfil de un suelo agrícola cabe distinguir tres capas principales:

- *Horizonte A o suelo superficial.* Es la capa en donde se sitúan la mayoría de las raíces más pequeñas y activas. Es más blanda y oscura que las capas subyacentes y tiene mayor contenido de materia orgánica y nutrientes.
- *Horizonte B o subsuelo:* es la capa intermedia del perfil. Apenas tiene materia orgánica, es de color más claro y vivo que el horizonte A, y presenta, en comparación con éste, raíces más gruesas. Existen dos clases principales de horizontes B: 1) aquellos cuyas texturas apenas difieren de las del horizonte A; y 2) aquellos que presentan una acumulación de arcilla en comparación con el horizonte A; cuando su contenido de arcilla es muy elevado, esta segunda clase de horizontes B suelen estar mal aireados.
- *Horizonte C.* Es la capa más profunda del perfil y está constituida por una masa mineral no cohesionada y poco alterada. La abundancia de raíces depende de la consistencia. Muchos suelos andaluces presentan horizontes C cementados por cal que resultan impenetrables para las raíces.

(Puede suceder que en el perfil de un suelo no aparezcan simultáneamente las tres capas citadas: tal ocurre cuando, por erosión, haya desaparecido la capa A; o cuando, por tratarse de un suelo demasiado joven, no se haya desarrollado el horizonte B; o cuando, por derivar el suelo de una roca coherente, no se haya formado el horizonte C).

Normalmente, las raíces de la mayoría de los cultivos, si no encuentran limitaciones para ello, traspasan con mucho los límites del horizonte A y, en su caso, del horizonte B, y toman agua y nutrientes de otras capas del suelo. Por ello es fundamental conocer la totalidad del perfil antes de tomar decisiones importantes sobre el suelo.



El perfil del suelo puede descubrirse abriendo una zanja (calicata) en un lugar representativo del terreno (Foto 1). La observación cuidadosa del perfil permite distinguir cada uno de los horizontes y apreciar sus características (espesor, textura, color, contenido de piedras, etc.), en especial aquellas que puedan condicionar la penetración de las raíces. Conviene tomar muestras de tierra representativas (una de cada horizonte) y enviarlas a analizar a un laboratorio especializado. El análisis debe cubrir las siguientes propiedades: textura; contenido de materia orgánica; capacidad de intercambio catiónico; pH; nutrientes disponibles; contenido de cal; prueba previa de salinidad; y sodio de cambio.

El examen del suelo mediante calicatas basta hacerlo una vez, ya que atañe a propiedades que, salvo el contenido de nutrientes, apenas se modifican con el tiempo.



Foto 1. La apertura de una calicata permite la observación del perfil de un suelo y de todas sus capas.

1.2. INTERPRETACIÓN DEL PERFIL DEL SUELO: PROPIEDADES RELEVANTES PARA LA NUTRICIÓN VEGETAL.

En relación con la fertilidad del suelo, los datos más importantes que se obtienen de la observación y del análisis del perfil de un suelo son los que se refieren a:

- Complejo arcilloso-húmico (contenidos de arcilla y materia orgánica; capacidad de intercambio catiónico).
- Profundidad efectiva.
- pH (y contenido de cal).
- Posibles limitaciones por salinidad y/o exceso de sodio.

1.2.1. COMPLEJO ARCILLOSO-HÚMICO.

La capacidad de un suelo para suministrar nutrientes a las plantas reside en las partículas de arcilla y en el humus. En la mayoría de los suelos las partículas de arcilla y el humus están unidas íntimamente, formando el *complejo arcilloso-húmico* o *complejo adsorbente*.

El humus y las partículas de arcilla presentan en sus superficies innumerables sitios con carga eléctrica negativa en los que pueden retener aquellos nutrientes que se presentan en el suelo en forma de iones con carga positiva (cationes). Esta retención constituye un importantísimo mecanismo para salvaguardar los nutrientes de su posible pérdida por lixiviación. Los nutrientes catiónicos así retenidos se dice que están en forma *intercambiable* (porque pueden pasar a la disolución del suelo, poniéndose con ello en disposición de ser directamente absorbidos por las plantas, sin más que intercambiarse con otros cationes existentes en aquella).

La capacidad de un suelo para retener cationes intercambiables se expresa mediante la capacidad de intercambio catiónico (CIC). La CIC es un buen índice de la fertilidad del suelo: a mayor CIC, mayor fertilidad. Aunque la CIC depende del contenido de arcilla y humus, los bajos contenidos de humus de la mayoría de los suelos agrícolas andaluces hacen que, en éstos, la CIC dependa, ante todo, del contenido de arcilla.

1.2.2. PROFUNDIDAD EFECTIVA.

El conocimiento de la CIC o de la textura de un suelo apenas tiene significado práctico si dichas propiedades no se refieren a todo el espesor de suelo explorable por las raíces (o *profundidad efectiva*). La profundidad efectiva es una de las propiedades del suelo más importantes puesto que determina el volumen máximo de suelo del que las plantas pueden extraer agua y nutrientes.



La profundidad efectiva de un suelo sólo puede conocerse con seguridad observando directamente su perfil. Esta cualidad del suelo puede estar limitada por varias causas:

- Presencia de una roca coherente y dura: ocurre en suelos de zonas de montaña, con pendientes pronunciadas. Esta limitación no admite corrección mediante labores (antes bien, las labores agravan el problema puesto que incrementan la erosión).
- Presencia de horizontes cementados por cal (costras calcáreas): ocurre en suelos derivados de materiales calcáreos en áreas secas y relieves planos del sureste andaluz. Algunas costras calcáreas son relativamente delgadas y pueden romperse mediante subsolado.
- Presencia de un subsuelo arcilloso mal aireado (la mala aireación se manifiesta por la aparición de colores abigarrados y manchas grises). Es frecuente en suelos muy evolucionados de zonas muy llanas. La abundancia de piedras en el subsuelo empeora las condiciones de aireación. El subsolado con arado-topo puede aliviar transitoriamente la situación. Otras soluciones más definitivas son el alomado (especialmente en el caso de plantaciones frutales) y el drenaje artificial.
- Presencia de una capa freática: ocurre en las cercanías de cauces fluviales y en zonas de relieve deprimido. La solución a esta limitación pasa por el drenaje artificial del suelo.

1.2.3. pH. DEL SUELO.

El pH del suelo es una medida de la concentración de iones hidrógeno (H^+) en la disolución del suelo. El pH del suelo depende, fundamentalmente, de tres factores:

- La proporción de calcio, magnesio, potasio y sodio adsorbidos en el complejo arcillo-húmico: cuanto mayor sea la proporción del conjunto de estos cationes en relación con la CIC, mayor es el pH.
- La presencia de cal ($CaCO_3$): bastan pequeñas cantidades de cal (incluso menos del 1%) para que el pH del suelo se sitúe, casi invariablemente, en torno a 8.2.
- La proporción de sodio adsorbido en el complejo arcillo-húmico: los suelos con más de un 15% de sodio en relación con la CIC suelen tener pHs mayores de 8.5.

El pH ejerce una gran influencia en la fertilidad del suelo ya que determina muchas de las reacciones que favorecen o dificultan la disolución de nutrientes en el agua del suelo. Considerando el comportamiento del conjunto de los elementos nutritivos, el pH más adecuado para la absorción de nutrientes es el comprendido entre 6 y 7. En la *Tabla 1* se indican los valores de pH más deseables para diversos cultivos.

Tabla 1. Valores de pH más deseables para algunos cultivos.

| Cultivo | pH | Cultivo | pH |
|-----------------|-----------|--------------|-----------|
| Acelga | 6.0 - 7.5 | Guisante | 6.0 - 7.5 |
| Agrios | 6.0 - 7.5 | Judía | 5.6 - 7.0 |
| Alfalfa | 6.2 - 7.8 | Lechuga | 5.5 - 7.0 |
| Algodón | 5.0 - 6.0 | Maíz | 5.5 - 7.5 |
| Almendro | 6.0 - 7.0 | Manzano | 5.4 - 6.8 |
| Apio | 6.1 - 7.4 | Melón | 5.7 - 7.3 |
| Arroz | 5.0 - 6.5 | Melocotonero | 5.2 - 6.8 |
| Avellano | 6.0 - 7.0 | Membrillero | 5.7 - 7.2 |
| Avena | 5.0 - 7.5 | Nabo | 5.5 - 6.8 |
| Berenjena | 5.4 - 6.0 | Nogal | 6.0 - 8.0 |
| Boniato | 5.1 - 6.0 | Olivo | 6.0 - 8.0 |
| Cacahuete | 5.3 - 6.6 | Patata | 4.8 - 6.5 |
| Calabaza | 5.6 - 5.7 | Pepino | 5.7 - 7.0 |
| Caña de azúcar | 6.0 - 8.0 | Peral | 5.6 - 7.2 |
| Castaño | 5.0 - 6.5 | Pimiento | 7.0 - 8.5 |
| Cebada | 6.5 - 8.0 | Plátano | 6.0 - 7.5 |
| Cebolla | 6.0 - 7.0 | Remolacha | 6.0 - 7.5 |
| Col | 5.5 - 7.5 | Rábano | 6.1 - 7.4 |
| Col de Bruselas | 5.7 - 7.3 | Soja | 6.0 - 7.0 |
| Coliflor | 6.0 - 7.3 | Tabaco | 5.5 - 7.5 |
| Colza | 6.0 - 7.5 | Tomate | 5.5 - 7.0 |
| Escarola | 5.6 - 6.7 | Trigo | 5.5 - 7.5 |
| Espárrago | 6.2 - 7.7 | Veza | 5.2 - 7.0 |
| Espinaca | 6.2 - 7.6 | Vid | 5.4 - 6.8 |
| Girasol | 6.0 - 7.5 | Zanahoria | 5.7 - 7.0 |

Fuente: Fuentes Yagüe, 1994

En Andalucía, la mayoría de los suelos tienen pHs entre 7.5 y 8.5, abundando especialmente los suelos calcáreos con pH en torno a 8.2. Los suelos ácidos (pH entre 5.5 y 6.5) predominan tan solo al norte del río Guadalquivir y en algunas zonas del sureste. Los suelos muy alcalinos (pH > 8.5) se limitan a las Marismas del Guadalquivir y otras áreas muy localizadas.

La corrección de suelos ácidos se realiza mediante el encalado. Cuando el pH del suelo es igual o superior a 6.5 no es necesario el encalado. Si el pH es inferior a 5.5 se aconseja encalar hasta elevarlo a 6.5. A modo de orientación, en la *Tabla 2* se dan las dosis de cal necesarias para el encalado según la textura del suelo.



La corrección de suelos muy alcalinos se examina en el apartado siguiente.

Tabla 2. Dosis de caliza pura, en kg/ha, necesaria para encalar una capa de tierra de 15 cm de espesor.

| Clase de suelo | Dosis de caliza necesaria para elevar el pH (kg/ha) | |
|-------------------------------|---|--------------|
| | de 4.5 a 5.5 | de 5.5 a 6.5 |
| Suelo suelto | 1500 | 2250 |
| Suelo de textura media | 2000 | 3000 |
| Suelo limoso | 2750 | 3750 |
| Suelo arcilloso | 3500 | 4250 |

Fuente: Fuentes Yagüe, 1994

1.2.4. SALINIDAD Y EXCESO DE SODIO.

Un exceso de sales solubles en el suelo dificulta la absorción de agua por parte de los cultivos y puede inducir toxicidad. La concentración de sales solubles en el suelo se expresa mediante la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE_{es}). Por definición, un suelo se considera salino si $CE_{es} > 4$ deciSiemens/m (dS/m). La tolerancia de los cultivos a la salinidad es muy variada. La *Tabla 3* recoge los valores de la CE_{es} a los que diversos cultivos ven reducirse sus producciones en el 10 y el 50%, respectivamente.

Tabla 3. Valores de la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo a los que diversos cultivos ven disminuir sus producciones en un 10% y en un 50%.

| Cultivo | 10 % de reducción CE_{es} (dS/m) | 50% de reducción CE_{es} (dS/m) |
|--------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Cebada | 12 | 18 |
| Algodón | 10 | 16 |
| Remolacha | 10 | 16 |
| Girasol | 8 | 14 |
| Trigo | 7 | 14 |
| Maíz | 5 | 7 |
| Tomate | 4 | 8 |
| Alfalfa | 3 | 8 |
| Patata | 2.5 | 6 |
| Frutales de pepita | 2.5 | 5 |

(Continúa página siguiente)

| Cultivo | 10 % de reducción CE _{es} (dS/m) | 50% de reducción CE _{es} (dS/m) |
|-------------------|--|---|
| Frutales de hueso | 2.5 | 5 |
| Agrios | 2.5 | 5 |
| Pimiento | 2 | 5 |
| Aguacate | 2 | 4 |
| Judía | 1.5 | 3.5 |

Fuente: Fuentes Yagüe, 1994.

Muchos suelos de regadío se han salinizado al haberse regado con aguas de baja calidad sin emplear las dosis de agua convenientes para mantener un lavado de sales. Para evitar la salinización del suelo con el riego hay que incrementar la dosis de agua en un porcentaje tanto mayor cuanto mayor sea la concentración de sales en el agua de riego (véase el apartado *Riego*).

Uno de los casos más negativos de suelos afectados por sales es el de los suelos sódicos (suelos que presentan un porcentaje de sodio adsorbido en el complejo adsorbente superior al 15% de la CIC). Los suelos sódicos tienen muy malas propiedades físicas (son poco permeables y encharcadizos) y químicas (suelen tener pHs > 8.5 y dan lugar a fuertes desequilibrios nutritivos).

La sensibilidad de diferentes cultivos a la sodicidad del suelo se refleja en la *Tabla 4*.

La recuperación de los suelos sódicos requiere dos operaciones: 1) la adición de una enmienda (yeso, cal, etc) que aporte a la solución del suelo el calcio necesario para que este desplace al sodio del complejo adsorbente; y 2) una vez que el sodio haya pasado a la solución del suelo es preciso arrastrarlo mediante lavado. La recuperación de los suelos sódicos suele requerir la puesta en riego del suelo (a menudo con drenaje artificial)

Tabla 4. Sensibilidad de los cultivos al exceso de sodio en el suelo expresado mediante el PSI.

| Sensibilidad del cultivo | PSI(%) | Efectos |
|--|--------|---|
| <i>Muy sensibles (frutales, agrios)</i> | 2-10 | Síntomas de toxicidad por sodio |
| <i>Sensibles (judía, maíz)</i> | 10-20 | Síntomas de toxicidad por sodio |
| <i>Tolerantes (trébol, avena, arroz, sorgo, cebolla)</i> | 20-40 | Ligeros síntomas de toxicidad. Deterioro de las propiedades físicas del suelo |
| <i>Muy tolerantes (trigo, cebada, alfalfa, remolacha, algodón, tomate)</i> | >40 | Únicamente efectos producidos por deterioro de propiedades físicas del suelo |

Fuente: Fuentes Yagüe, 1994



2. ELEMENTOS MINERALES ESENCIALES Y NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS.

2.1. MACRONUTRIENTES Y MICRONUTRIENTES.

Se llaman elementos minerales esenciales (o nutrientes) aquellos elementos minerales que las plantas necesitan para completar su desarrollo.

Los elementos esenciales son 16. Tres de ellos (carbono, oxígeno e hidrógeno) son suministrados por el aire y el agua y no suelen faltar nunca. Los 13 restantes son suministrados por el suelo; estos últimos se clasifican en dos grupos, de acuerdo con las cantidades en que son requeridos por las plantas: *macronutrientes* (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre), y *micronutrientes* (hierro, manganeso, cobre, cinc, boro, molibdeno y cloro).

Dentro de los macronutrientes cabe distinguir:

- *Elementos primarios*: aquellos que son requeridos por los cultivos en cantidades superiores a las que existen de ellos en forma disponible en la mayoría de los suelos. Este grupo comprende: nitrógeno, fósforo y potasio.
- *Elementos secundarios*: aquellos cuyas existencias en el suelo suelen cubrir las necesidades de los cultivos, por lo que casi nunca es preciso hacer aportaciones. Este grupo comprende: calcio, magnesio y azufre.

2.2. CÓMO SE ALIMENTAN LAS PLANTAS. IMPORTANCIA DE LA DISOLUCIÓN DEL SUELO Y DE SU RENOVACIÓN.

Los nutrientes que toman las plantas del suelo son absorbidos por las raíces directamente de la disolución del suelo, en donde se encuentran en forma de cationes y aniones en cantidades exiguas (menos del 0.1% del total de nutrientes en la mayoría de los suelos). Los nutrientes contenidos en la disolución del suelo constituyen la *fracción directamente asimilable* por las plantas.

La fracción restante de cada nutriente se presenta en dos tipos de formas: las que pasan a la disolución del suelo con mucha rapidez (*fracción fácilmente asimilable*), y las que no pasan nunca o pasan con mucha lentitud (*fracción no asimilable*).

Los nutrientes contenidos en la disolución del suelo están en equilibrio con la fracción fácilmente asimilable, de modo que, a medida que la disolución del suelo va empobreciéndose en nutrientes por absorción de las plantas, la fracción fácilmente asimilable va solubilizándose progresivamente y rellenando la disolución del suelo. El conjunto de estas dos fracciones constituye, por tanto, la totalidad de nutrientes del suelo que puede ponerse a disposición de los cultivos (*fracción asimilable o dispo-*

nible). Para la mayoría de los nutrientes, la fracción disponible no suele sobrepasar el 2% del contenido total de cada nutriente en el suelo.

2.3. COMPORTAMIENTO DE LOS MACRONUTRIENTES PRIMARIOS EN EL SUELO.

2.3.1. NITRÓGENO (SÍMBOLO N).

Las plantas pueden absorber el nitrógeno (N) de la disolución del suelo indistintamente en forma de iones amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-). La fracción de amonio disponible comprende no sólo el NH_4^+ que está en disolución, sino también el que está adsorbido en el complejo arcilloso-húmico; ambas formas de amonio están en equilibrio, lo que permite que el amonio aportado al suelo en los abonos sea adsorbido rápidamente por el suelo y quede protegido de perderse por lavado sin merma de asimilabilidad. El nitrato disponible, contrariamente al amonio, se encuentra sólo en la disolución del suelo, en donde está “suelto” (su carga negativa le impide ser adsorbido en el complejo arcillo-húmico), por lo que puede ser lavado con mucha facilidad. La mayor parte del N del suelo (más del 98% del total) se encuentra formando parte de la materia orgánica del suelo y no puede ser utilizado por las plantas mientras aquella no se descomponga. La descomposición de la materia orgánica (mineralización) transforma el N orgánico en iones amonio asimilables para las plantas. Por otra parte, los iones amonio son transformados rápidamente a iones nitrato por los microorganismos cuando las condiciones del suelo son favorables para la actividad microbiana.

2.3.2. FÓSFORO (SÍMBOLO P).

El P que toman las plantas lo absorben directamente de la disolución del suelo en forma de iones fosfato (PO_4H^{2-} y PO_4H^-). La cantidad de fosfato soluble es muy pequeña dado que estos iones son adsorbidos muy fuertemente por el complejo adsorbente (en especial, por los óxidos de hierro); además, en suelos alcalinos, reaccionan con el calcio dando productos de muy baja solubilidad. De ahí que el P apenas se mueva en los suelos, especialmente si éstos son calcáreos.

De acuerdo con lo anterior, la aplicación de abonos fosfatados no plantea casi nunca pérdidas de P por lavado aunque sí de disponibilidad, puesto que mucho del P añadido en forma inicialmente soluble pasa rápida y casi irreversiblemente a P no asimilable.

2.3.3. POTASIO (SÍMBOLO K).

Las plantas absorben el potasio (K) de la disolución del suelo en forma de iones K^+ . La fracción de potasio disponible incluye también iones K^+ adsorbidos en el com-



plejo arcilloso-húmico. Ambas formas de potasio, soluble y adsorbido, están en equilibrio, lo que permite: 1) que a medida que las plantas absorban potasio de la disolución, ésta se vaya rellenando a expensas del potasio adsorbido (que es mucho más abundante); y 2) que el potasio aplicado al suelo en un abono soluble sea adsorbido rápidamente por el suelo y quede protegido de perderse por lavado sin perder disponibilidad. Por todo ello, y aunque en menor medida que el fósforo, el potasio es también un elemento básicamente inmóvil en el suelo.

3. LA FERTILIZACIÓN Y SU FUNDAMENTO. PLAN DE ABONADO.

Los suelos contienen mayores o menores cantidades de nutrientes en formas asimilables para los cultivos. En suelos agrícolas fértiles, y en lo tocante a los macronutrientes secundarios y a los micronutrientes, las existencias suelen ser suficientes para satisfacer durante muchos años (incluso indefinidamente) las necesidades de los cultivos, sin que se requiera aplicar dichos elementos con los abonos. Sin embargo, en el caso del nitrógeno, del fósforo y del potasio, y aún en suelos bien provistos inicialmente de estos elementos, no es posible la producción indefinida de buenas cosechas sin una fertilización adecuada.

La fertilización racional de un cultivo debe dar respuesta a tres cuestiones básicas:

- ¿Qué cantidad de cada nutriente debe aplicarse?
- ¿Qué tipo de fertilizante debe elegirse?
- ¿Cómo debe aplicarse el fertilizante? (Fraccionamiento y forma de aplicación).

3.1. CANTIDAD DE CADA NUTRIENTE A APLICAR COMO FERTILIZANTE.

Los criterios que permiten contestar esta pregunta varían según se trate de cultivos anuales o perennes.

Una planta anual tiene que tomar del suelo todos los nutrientes que necesita en un plazo de tiempo muy corto; ello implica que si el suelo no cuenta con las cantidades de nutrientes precisas, éstas deberán aportarse con los abonos si no se quiere que la cosecha se resienta. El enfoque de la fertilización de estos cultivos pasa por conocer las disponibilidades en nutrientes del suelo mediante el análisis del suelo.

Las plantas perennes, en cambio, tienen órganos de reserva (troncos, ramas, raíces, etc) en donde almacenar nutrientes, por lo que, si su estado nutritivo es adecuado, pueden afrontar condiciones nutricionales desfavorables en el suelo por periodos amplios de tiempo sin que se resienta la producción. Ello permite planificar el abonado de estos cultivos con un margen de actuación mayor partiendo del conocimiento del estado nutritivo del cultivo mediante análisis foliar.

Examinaremos separadamente cada caso, atendiendo a los macronutrientes primarios.

3.1.1. CULTIVOS ANUALES. NITRÓGENO (N).

El nitrógeno experimenta en el suelo numerosas transformaciones y procesos (pérdidas por lixiviación, ganancias debidas a la mineralización de la materia orgánica, pérdidas en formas gaseosas, etc) que afectan a sus existencias. Muchos de estos procesos dependen de la climatología, por lo que están fuera del control del agricultor. Todo ello dificulta tanto la predicción de la cantidad de nitrógeno que puede poner el suelo a disposición de los cultivos como la que es preciso aportar en los abonos. Pese a todo, es posible hacer una estimación razonable de esta última partiendo de la siguiente expresión:

$$N_{\text{fertilizante}} = (N_{\text{requerido cultivo}} / E) - N_{\text{inorgánico residual}} - N_{\text{otros aportes}} \quad [1]$$

siendo:

- **N_{fertilizante}** : cantidad de nitrógeno a aplicar con el fertilizante.
- **N_{requerido cultivo}**: cantidad de nitrógeno requerido por el cultivo.
- **N_{inorgánico residual}**: cantidad de nitrógeno disponible en el suelo en el momento de aplicar el fertilizante.
- **N_{otros aportes}**: cantidad de nitrógeno que aportan otras fuentes de N disponible distintas del abonado mineral. Entre ellas destacan las siguientes:
 - el N mineralizado a partir de la materia orgánica del suelo.
 - el N aportado en el estiércol, purines y/o el cultivo de leguminosas.
 - el N aportado en el agua de riego.
- **E**: coeficiente que mide la eficiencia del uso del N.

A continuación se indica cómo proceder a valorar cada uno de los factores incluidos en el segundo miembro de la *Ecuación* [1].

N requerido por el cultivo

Corresponde a la cantidad de nutriente que el cultivo tiene que absorber del suelo para producir lo que de él se espera. Dicha cantidad puede calcularse en función de la cosecha esperada (en toneladas/ha) mediante las ecuaciones que aparecen en la *Tabla 5*. Lógicamente, no es posible conocer por anticipado la cosecha de cada año, pero puede preverse con cierta seguridad partiendo del rendimiento en años anteriores. La cantidad de N así calculada incluye el N contenido en la parte no cosechable del cultivo (que queda como residuo en el terreno). En la mayoría de los casos puede suponerse que el N contenido en dichos residuos termina por reciclarse, satisfaciendo con ello las necesidades de N de la parte no cosechable de los cultivos siguientes. Por ello, se recomienda afinar los cálculos multiplicando el resultado anterior por la fracción de N contenido en la parte cosechable del cultivo (columnas 3ª y 6ª de la *Tabla 5*).



Eficiencia en el uso del Nitrógeno (E).

La eficiencia en el uso de N varía según cómo se practique la fertilización nitrogenada y, en su caso, el riego. En general, E es tanto menor cuanto más alta sea la dosis de abonado.

Para la mayoría de los cultivos en regadío con raíces profundas, E oscila entre 0.5 y 0.8 dependiendo del suelo y la eficiencia del riego (valores en torno a 0.8 son propios de suelos de texturas francas o más finas en riego por goteo y microaspersión; valores en torno a 0.5 e incluso más bajos son propios de riego por surcos e inundación en suelos permeables). Para cultivos con raíces someras E adopta valores proporcionalmente más bajos.

Los cultivos de secano tienen eficiencias en el uso del N mayores que los de regadío. En suelos profundos de texturas francas o más finas y en zonas de precipitaciones normales (500-650 mm), E puede estar en torno a 0.7-0.8. En áreas de mayor precipitación y en suelos de poco espesor y escaso contenido de arcilla los valores de E están en torno a 0.6-0.7.

Nitrógeno inorgánico residual.

El nitrógeno asimilable existente en el suelo antes de la aplicación del fertilizante puede ser una parte muy importante del N requerido por el cultivo (e incluso superarlo sobradamente) en suelos de clima seco sobrefertilizados con nitrógeno, tal y como ocurre en muchos suelos andaluces.

La evaluación del N inorgánico residual en el suelo debe realizarse antes de hacer la primera aplicación del fertilizante nitrogenado. Para la mayoría de los cultivos, el momento más apropiado es al final del invierno.

La evaluación del N inorgánico residual pasa por tres etapas:

Tabla 5. Cantidad total de nitrógeno extraído en función de la cosecha y fracción aproximada de N que se retira del campo respecto del total de N extraído para diferentes cultivos.

| EXTRACCION DEL CULTIVO (kg N/ha) | | | | | |
|----------------------------------|---|---|-------------------------|---|---|
| CULTIVOS HERBACEOS | | | CULTIVOS HERBACEOS | | |
| Cultivo | N total extraído (kg/ha) Ecuación ¹ | Fracción de N en la parte cosechable ² | Cultivo | N total extraído (kg/ha) Ecuación ¹ | Fracción de N en la parte cosechable ² |
| AVENA | $Y = 28.8X + 5$ | 0.90 | REMOLACHA MS. | $Y = 2.4X + 128$ | 0.75 |
| CEBADA | $Y = 24.7X + 5$ | 0.90 | GARBANZO | $y = 39.3X + 8$ | 0.96 |
| MAÍZ | $Y = 26X$ | 0.88 | GUISANTE SECO | $Y = 46X + 7$ | 0.96 |
| SORGO | $Y = 22X + 24$ | 0.88 | HABA SECA | $Y = 49.6X + 2$ | 0.96 |
| TRIGO | $Y = 26.8X + 5$ | 0.90 | VEZA | $Y = 39.2X + 8$ | 0.96 |
| ALGODÓN | $Y = 40X + 60$ | 0.85 | ALFALFA | $Y = 10X$ | 0.90 |
| CAÑA AZÚCAR | $Y = 1.5X$ | 0.90 | MAÍZ FORRAJERO | $Y = 0.8X + 84$ | 0.95 |
| COLZA | $Y = 45X$ | 0.93 | NABO FORRAJERO | $Y = 3X + 60$ | 0.95 |
| GIRASOL | $Y = 45X$ | 0.85 | SORGO FORRAJ. | $Y = 0.8X + 84$ | 0.95 |
| TABACO | $Y = 70X$ | 0.67 | VEZA FORRAJERA | $Y = 2X + 60$ | 0.95 |
| AJO | $Y = 7X$ | 0.75 | AVENA FORRAJ. | $Y = 0.5X + 60$ | 0.95 |
| ALCACHOFA | $Y = 6X + 24$ | 0.75 | SANDIA | $Y = 3X$ | 0.75 |
| APIO | $Y = 2X + 80$ | 0.80 | TOMATE | $Y = 3X$ | 0.75 |
| BERENJENA | $Y = 6.2X + 72$ | 0.75 | ZANAHORIA | $Y = 4X$ | 0.75 |
| CALABAZA | $Y = 3X + 60$ | 0.75 | CULTIVOS LEÑOSOS | | |
| CEBOLLA | $Y = 3X$ | 0.75 | Cultivo | N total extraído (kg/ha) Ecuación ¹ | Fracción de N en la parte cosechable ² |
| COL/REPOLLO | $Y = 2X + 120$ | 0.85 | AGUACATE | $Y = 10X + 50$ | 0.60 |
| COLIFLOR | $Y = 4X$ | 0.85 | ALBARICOQ | $Y = 3.5X$ | 0.60 |
| ESPARR.1º AÑO | $Y = 24X$ | 0.80 | ALMENDRO | $Y = 23.3X + 17$ | 0.60 |
| GUISANT. VERDE | $Y = 12X$ | 0.75 | CHIRIMOYO | $Y = 3X + 60$ | 0.60 |
| HABA VERDE | $Y = 11X$ | 0.75 | LIMON FINO | $Y = 3.3X + 23$ | 0.60 |
| JUDIA VERDE | $Y = 11X$ | 0.75 | MANDARINO | $Y = 3.3X + 23$ | 0.60 |
| LECHUGA | $Y = 2.2X + 132$ | 0.80 | MANZANO | $Y = 3.3X + 23$ | 0.60 |
| MELON | $Y = 3X$ | 0.75 | MELOCOTONERO | $Y = 2.5X$ | 0.60 |
| PATATA TARDÍA | $Y = 4X + 75$ | 0.95 | NARANJO | $Y = 3.5X$ | 0.60 |
| PEPINO | $Y = 1.7X$ | 0.75 | PERAL | $Y = 3.3X + 23$ | 0.60 |
| PIMIENTO | $Y = 4.5X$ | 0.75 | VID | $Y = 3X + 60$ | 0.60 |
| PUERRO | $Y = 1X + 75$ | 0.80 | OLIVO | $Y = 13.3X + 16$ | 0.65 |

1. Siendo **Y** la cantidad de N total extraído por los diferentes cultivos (en kg N/ha) y **X** la cosecha (Tm/ha).
2. La fracción indicada puede variar en función del tratamiento recibido por el rastrojo o residuo (quema, retirada parcial, retirada total, etc). Fuente: Adaptado de García-Ferrer et al, 1999.



- 1º) Toma de muestras de las capas del suelo exploradas por las raíces. El procedimiento para muestrear un suelo con vistas a conocer su estado de fertilidad se detalla en el Anexo 1.
- 2º) Análisis del N disponible. El análisis debe incluir tanto el N que está en forma de nitrato como el que está en forma amoniacal, dado que ambas son disponibles para las plantas y se encuentran en proporciones parecidas. Muchos laboratorios no analizan el N en forma amoniacal, lo que lleva a subestimar las disponibilidades de N en el suelo (en este caso deben suponerse contenidos de N inorgánico residual un 40% mayores de lo que indica el análisis).
- 3º) Conversión de los resultados del análisis (habitualmente vienen expresados en mg de N/kg de suelo o, lo que es lo mismo, en partes por millón, ppm) a cantidades de N disponible para el cultivo (en kg N/ha), en la capa analizada utilizando la siguiente expresión:

$$N_{\text{inorg. residual}} (\text{kg /ha}) = 13 \times N_{\text{inorg. residual}} (\text{ppm}) \times \text{espesor de la capa (m)} [2]$$

Si el análisis del N inorgánico residual se ha hecho en varias capas de suelo, hay que aplicar la expresión anterior a cada una de ellas y sumar después los resultados de todas las capas analizadas.

Nitrógeno mineralizado a partir de la materia orgánica del suelo.

El N contenido en la materia orgánica del suelo se hace disponible para el cultivo a medida que aquella se mineraliza. La cantidad de materia orgánica que puede mineralizarse a lo largo de un cultivo es muy difícil de predecir, puesto que depende de la climatología, pero puede estimarse a partir del contenido de materia orgánica, la textura del suelo y el tiempo de permanencia del cultivo en el terreno, según se recoge en la *Tabla 6*.

Tabla 6. Nitrógeno aportado por la mineralización de la materia orgánica del suelo, según la textura y contenido de materia orgánica del suelo y el tiempo de permanencia del cultivo.

| Textura del suelo | Materia orgánica(%) | N liberado (Kg/ha) | | |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|
| | | En cultivos de invierno | En cultivos de verano | En el año completo |
| Arenosa a franco-arenosa | 0.5 | 3-5 | 7-10 | 10-15 |
| | 1.0 | 7-10 | 13-20 | 20-30 |
| | 1.5 | 10-15 | 20-30 | 30-45 |
| Franca a limosa | 0.5 | 2-5 | 5-10 | 7-15 |
| | 1.0 | 5-8 | 10-17 | 15-25 |
| | 1.5 | 7-12 | 15-24 | 22-37 |
| | 2.0 | 10-17 | 20-33 | 30-50 |
| Franco-arcillosa a arcillosa | 0.5 | 2-3 | 3-7 | 5-10 |
| | 1.0 | 3-7 | 7-13 | 10-20 |
| | 1.5 | 5-10 | 10-20 | 15-30 |
| | 2.0 | 7-13 | 13-27 | 20-40 |
| | 2.5 | 8-17 | 17-33 | 25-50 |

Fuente: Adaptado de "The Fertilizer Handbook", USDA, 1954.

Nitrógeno aportado en el estiércol, purines, lodos de decantación y/o por el cultivo de leguminosas.

Los estiércoles y purines aportados al suelo son fuentes muy importantes de N para los cultivos. La utilización incorrecta de estos productos da lugar a contaminaciones severas de N, tanto en el suelo como en las aguas superficiales y subterráneas.

Las concentraciones de nutrientes en estiércoles y purines varían ampliamente. La *Tabla 7* recoge la composición de algunos tipos de estiércoles y purines a título orientativo. Del total de N contenido en el estiércol, puede suponerse que el 50% se mineraliza (esto es, se convierte en formas disponibles) en el primer año, el 25% en el segundo año y el 12.5% en el tercer año que sigue a la aplicación (y en proporciones cada vez menores en los años siguientes). En todo caso debe suponerse que los efectos de un estercolado duran al menos tres años.

**Tabla 7. Composición aproximada de algunos tipos de estiércoles y purines en base al peso húmedo del producto tal cual.**

| | | MATERIA ORGÁNICA (%) | N(%) | P ₂ O ₅ (%) | K ₂ O(%) |
|---------------------------------------|----------|----------------------|------|-----------------------------------|---------------------|
| Estiércoles sólidos | | | | | |
| Cerdo | Sin cama | 18 | 4.5 | 4.1 | 3.6 |
| | Con cama | 18 | 3.6 | 3.2 | 3.2 |
| Vacuno de carne | Sin cama | 30 | 5.7 | 3.4 | 6.5 |
| | Con cama | 30 | 5.7 | 4.9 | 7.2 |
| Vacuno de leche | Sin cama | 18 | 4.1 | 1.8 | 4.5 |
| | Con cama | 21 | 4.1 | 1.8 | 4.5 |
| Ovino | Sin cama | 28 | 8.2 | 5.0 | 11.8 |
| | Con cama | 28 | 6.4 | 4.1 | 11.4 |
| Aves de corral | Sin cama | 45 | 15.0 | 21.8 | 15.4 |
| | Con cama | 75 | 25.4 | 20.4 | 15.4 |
| Caballo | Sin cama | 46 | 6.4 | 1.8 | 6.4 |
| Estiércoles líquidos (purines) | | | | | |
| Cerdo | | 4 | 5.5 | 3.2 | 2.6 |
| Vacuno | | 8 | 2.9 | 2.2 | 3.5 |
| Aves de corral | | 13 | 9.6 | 4.3 | 11.5 |

Fuente: Colorado State University Cooperative Extension Bulletin. 552 A. 1992.

Los lodos de decantación son otra fuente importante de nutrientes que pueden contaminar los suelos y las aguas de no utilizarse correctamente. En algunos casos, la utilización de lodos de depuradora está regulada por disposiciones oficiales. Dado que los lodos se mineralizan lentamente, su aplicación continuada puede dar lugar a excesos de nitrógeno con el tiempo. La utilización de estos productos requiere conocer su composición para ajustar las dosis a las necesidades del cultivo. Asimismo conviene analizar periódicamente el suelo para comprobar si las dosis de aplicación son correctas. El cálculo de las necesidades de N del cultivo debe hacerse con criterios de rendimiento conservadores, valorando todas las fuentes de N disponibles y suponiendo que el 30-50% del N contenido en los lodos se mineraliza durante el primer año.

El cultivo de leguminosas puede aportar cantidades importantes de N en formas disponibles al cultivo que le sigue, dada la capacidad de aquellas para fijar N atmosférico. La cantidad de N que queda disponible en el suelo tras un cultivo de leguminosas depende de muchos factores, pero en principio se puede estimar, como mínimo, en unos 30 kg de N/ha en el año que sigue a su cultivo.

Nitrógeno aportado con el agua de riego.

El agua de riego constituye otra fuente de N disponible a tener cuenta para los cultivos en regadío, ya que siempre contiene cantidades más o menos altas de nitrógeno en forma de nitratos. La concentración de nitratos en las aguas usadas para el riego en Andalucía varía entre límites muy amplios, predominando más bien los valores altos.

El agua de riego debe ser analizada periódicamente durante la temporada de riegos para conocer su composición media y evaluar con seguridad el N que aporta. Los resultados del análisis suelen estar referidos a concentraciones de nitratos y expresados en mg/l (ppm). Conocida la concentración de nitratos en el agua de riego, se puede obtener la cantidad de N aportada por el riego (en kg/ha) empleando la siguiente expresión:

$$N_{\text{aportado por el agua de riego}} = C_{\text{nitratos}} \cdot 0.23 \cdot V_{\text{riego}}/1000 \quad [3]$$

siendo:

- C_{nitratos} : concentración media de nitratos en el agua de riego durante la temporada de riegos (ppm).
- V_{riego} : volumen efectivo de agua aplicada al cultivo (m^3/ha).

Ejemplo 1. ¿Qué dosis de nitrógeno requiere un cultivo de maíz en regadío con un rendimiento esperado de 9 Tm de grano/ha en un suelo de las características indicadas en la Tabla adjunta, que recibió hace tres años una aportación de 5 Tm/ha de estiércol de vaca? El riego es por aspersión, el contenido de nitratos en el agua de riego es de 55 ppm y la cantidad total de agua de riego a aplicar al cultivo se cifra en 5000 m^3/ha .

Características del suelo

| Profundidad | Materia orgánica | Textura | N inorg. Residual (ppm) |
|-------------|------------------|---------|-------------------------|
| 0-30 cm | 1.5% | Franca | 21 |
| 30-60 cm | - | Franca | 14 |

Solución:

1º) A partir de la cosecha prevista y aplicando la ecuación correspondiente al maíz (Tabla 5), calculamos la cantidad total de N extraído por el cultivo, resultando $26 \times 9 = 234$ kg de N/ha. Multiplicando esta cantidad por el coeficiente 0.88 (fracción de N en la parte cosechable del maíz, columna 3ª de la Tabla 5) se obtiene que $N_{\text{requerido cultivo}} = 206$ kg de N/ha.

2º) Mediante la Ecuación [2] calculamos el N inorgánico residual en cada capa de suelo analizada, lo que da $13 \times 21 \times 0.30 = 82$ kg de N/ha en la capa de 0-30



cm; y $13 \times 14 \times 0.3 = 55$ kg de N/ha en la capa 30-60 cm. Por tanto, el N inorgánico residual en el conjunto de ambas capas es $82 + 55 = 137$ kg de N/ha.

3º) Calculamos las cantidades de N procedentes de otros aportes (Notros aportes) como sigue:

- N mineralizado a partir de la materia orgánica del suelo: a partir de la Tabla 6 y considerando las características del suelo, se obtiene un valor entre 15 y 24 kg de N/ha para un cultivo de verano (tomamos 20 kg de N/ha)
- N aportado por el estiércol: a partir de la Tabla 7 calculamos primeramente la cantidad total de N contenido en el estiércol, lo que da $20000 \times 5.7/100 = 285$ kg de N/ha. Suponiendo que el 25% de esa cantidad se mineraliza en el tercer año, resultan finalmente: $285 \times 25/100 = 71$ kg de N/ha
- N aportado por el agua de riego: la calculamos mediante la Ecuación [3], lo que da: $55 \times 0.23 \times 5000 / 1000 = 63$ kg de N/ha.
- Sumando las cantidades anteriores, obtenemos: Notros aportes = $20+71+63=154$ kg de N/ha.

4º) Por último, considerando una eficiencia en el uso del nitrógeno de 0.7 y aplicando la Ecuación [1], se obtiene que la cantidad de N a aplicar con el fertilizante es: $N_{fertilizante} = (206/0.7) - 90 - 154 = 50$ kg de N/ha.

3.1.2. CULTIVOS ANUALES. FÓSFORO (P) Y POTASIO (K).

A diferencia con el abonado nitrogenado, que se ajusta a cada cultivo, la fertilización fosfórico-potásica suele ir encaminada a asegurar el mantenimiento en el suelo de unos niveles de P y K asimilables por encima de unos valores que garanticen la suficiencia (valores críticos).

Los contenidos críticos de fósforo y de potasio en el suelo varían según los cultivos y el método de análisis utilizado para evaluar las cantidades disponibles de cada elemento. El método más conveniente para evaluar el fósforo disponible en la mayoría de los suelos andaluces es el de Olsen. El contenido de potasio disponible (que viene a coincidir con el de potasio intercambiable) se suele determinar mediante el método del acetato amónico.

En las Tablas 8 y 9 se recogen las escalas de interpretación de los análisis de fósforo (método de Olsen) y potasio (método del acetato amónico) en el suelo, respectivamente.

Tabla 8. Interpretación de los niveles de fósforo en el suelo.

| <i>Clasificación</i> | <i>Fósforo (método de Olsen) (ppm)</i> |
|----------------------|--|
| Muy alto | >25 |
| Alto | 18-25 |
| Medio | 10-17 |
| Bajo | 5-9 |
| Muy bajo | <5 |

Fuente: Boletín de suelos, FAO 38/2

En función de los resultados del análisis cabe hacer las siguientes interpretaciones y recomendaciones:

- Nivel *bajo* o *muy bajo*: las disponibilidades del nutriente son escasas; la probabilidad de que haya una respuesta positiva a la aportación es alta o muy alta. Se recomienda hacer aportaciones hasta llevar progresivamente el nivel al rango de suficiencia.
- Nivel *medio*: las disponibilidades del nutriente son adecuadas y posiblemente no limitan el crecimiento del cultivo. Hay pocas probabilidades de que al aplicar el nutriente mejore el rendimiento económico. Se recomienda no hacer aportaciones del nutriente si el suelo se analiza anualmente; si la frecuencia del análisis es menor, es recomendable hacer las aportaciones necesarias para mantener el nutriente en un nivel medio.
- Nivel *alto* o *muy alto*: Las disponibilidades del nutriente son más que suficientes y no limitan el rendimiento del cultivo. La probabilidad de que mejore el rendimiento económico al aportar el nutriente es muy pequeña (a niveles muy altos existe incluso la posibilidad de que al hacer aportaciones se produzcan impactos negativos en la producción). Se recomienda no hacer aportaciones.



Tabla 9. Interpretación de los niveles de potasio en el suelo.

| Textura | CIC | Clasificación | Potasio (ppm) |
|---------|-------|---------------|---------------|
| Gruesa | Baja | Muy alto | >100 |
| | | Alto | 60-100 |
| | | Medio | 30-60 |
| | | Bajo | 15-30 |
| | | Muy bajo | <15 |
| Media | Media | Muy alto | >300 |
| | | Alto | 175-300 |
| | | Medio | 100-175 |
| | | Bajo | 50-100 |
| | | Muy bajo | <50 |
| Fina | Alta | Muy alta | >500 |
| | | Alto | 300-500 |
| | | Medio | 150-300 |
| | | Bajo | 75-150 |
| | | Muy bajo | <75 |

Fuente: Boletín de Suelos, FAO 38/2

3.1.3. CULTIVOS PERENNES: UTILIZACIÓN DEL ANÁLISIS FOLIAR

La capacidad que tienen los árboles y arbustos de almacenar nutrientes en órganos de reserva y utilizarlos posteriormente, los hace relativamente independientes del suelo en cuanto a la necesidad de satisfacer sus exigencias nutritivas de forma inmediata. El análisis de suelo no resulta muy útil como guía de la fertilización de estos cultivos. El análisis foliar, en cambio, permite conocer el estado nutritivo de una plantación y optimizar el abonado.

Para utilizar el análisis foliar como guía de fertilización, se han establecido, para cada cultivo, las concentraciones de cada elemento en la hoja a partir de las cuales se reduce el crecimiento. Cuando la concentración del nutriente es *deficiente* el crecimiento es bajo; a estos niveles, un pequeño aumento de la concentración tiene una gran respuesta en el crecimiento. Los niveles *bajos* corresponden a un estado subcarenal, con rendimientos algo menores que el óptimo. El intervalo *adecuado* corresponde a las concentraciones a las que el crecimiento es óptimo; manteniendo el nivel del nutriente en dicho intervalo no habría limitaciones para el desarrollo de la planta ni para el rendimiento final. Cuando la concentración del nutriente alcanza niveles *altos* el nutriente está en exceso (hay un consumo superfluo o de lujo), aunque no hay impactos negativos en la producción. Por último, en el nivel *tóxico*, el crecimiento vuelve a disminuir. Como los niveles críticos de cada elemento están establecidos previamente, basta comparar los resultados del análisis con esos valores para determinar la deficiencia, adecuación o exceso de un elemento y, en consecuencia, tomar medidas para su corrección.

• Época y procedimiento de muestreo.

El muestreo debe realizarse en una época en la que los contenidos de los diferentes nutrientes en hoja tengan una relativa estabilidad. Tanto para los árboles de hoja caduca (melocotonero, ciruelo, manzano, almendro etc.) como en los de hoja perenne (olivo y cítricos) esto sucede durante el reposo estival (meses de julio y agosto), de modo que es esta la época más conveniente de muestreo. En el caso de los árboles de hoja perenne la mayor estabilidad de los contenidos de nutrientes en hoja se produce también durante el reposo invernal; sin embargo, suele preferirse el muestreo en pleno verano puesto que en invierno las hojas son más viejas y pueden estar más afectadas por plagas, enfermedades o accidentes diversos.

El procedimiento que ha de seguirse para el correcto muestreo de una plantación se detalla en el Anexo 2.

• Interpretación de los análisis foliares.

Aunque existen tablas que recogen las concentraciones de nutrientes que corresponden a los diversos estados nutritivos del árbol, la interpretación de los análisis foliares no resulta fácil, y debe ser realizada por una persona que conozca bien las características de la plantación y esté familiarizada con todos los factores que puedan influir en las concentraciones de nutrientes en hoja.

El objetivo de la fertilización debe ser mantener las concentraciones de los elementos minerales en hoja dentro de los niveles de adecuación. Sin embargo, son tantos los factores que, junto al abonado, influyen en el nivel de un nutriente (nivel de la cosecha, técnicas de cultivo, interacciones con otros nutrientes, etc.), que no hay reglas fijas para lograrlo. En muchos casos en que el nivel de un elemento está muy alto, basta con anular su aportación para corregir el problema. En análisis que muestran deficiencias en varios elementos, a veces basta con aportar uno de ellos para corregir la deficiencia de los demás.

La predicción de la dosis requerida de un nutriente no resulta fácil, pero el uso mantenido del análisis foliar y la observación de la respuesta del cultivo al abonado permiten optimizar la fertilización en un corto plazo.

En las *Tablas 10 y 11* se recogen, respectivamente, los niveles críticos de nutrientes en hojas de algunas variedades de cítricos y de diversos árboles frutales incluido el olivo. Ambas tablas sólo deben usarse para comparar los resultados de análisis realizados sobre hojas tomadas en verano; cualquier otra época de muestreo dará lugar a interpretaciones no válidas.

Tabla 10. Niveles críticos de nutrientes en hojas de naranjos “Valencia” y “Navel” recogidas entre julio y septiembre¹.

| Elemento | Intervalos ² | | | | |
|-----------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| | Deficiente | Bajo | Óptimo | Alto | Excesivo |
| Nitrógeno (%) | <2.2 | 2.20 a 2.30 | 2.40 a 2.60 | 2.70 a 2.80 | >2.80 |
| Fósforo (%) | <0.09 | 0.09 a 0.11 | 0.12 a 0.16 | 0.17 a 0.29 | >0.30 |
| Potasio (%) | <0.40 | 0.40 a 0.69 | 0.70 a 1.09 | 1.10 a 2.00 | >2.30 ? |
| Calcio (%) | <1.60 ? | 1.60 a 2.90 | 3.00 a 5.50 | 5.60 a 6.90 | >7.00 ? |
| Magnesio (%) | 0.16 | 0.16 a 0.25 | 0.26 a 0.60 | 0.70 a 1.10 | >1.20 ? |
| Azufre (%) | 0.14 | 0.14 a 0.19 | 0.20 a 0.30 | 0.40 a 0.50 | >0.60 |
| Boro (ppm) | <21 | 21 a 30 | 31 a 100 | 101 a 260 | >260 |
| Hierro (ppm) | <36 | 36 a 59 | 60 a 120 | 130 a 200 ? | >250 ? |
| Manganeso (ppm) | <16 | 16 a 24 | 25 a 200 | 300 a 500 ? | >1000 ? |
| Cinc (ppm) | <16 | 16 a 24 | 25 a 100 | 110 a 200 | >300 ? |
| Cobre (ppm) | <3.60 | 3.60 a 4.90 | 5 a 16 | 17 a 22 ? | >22 ? |
| Molibdeno (ppm) | <0.06 | 0.06 a 0.09 | 0.10 a 3.00 | 4.00 a 100 | >100 ? |
| Cloro (%) | ? | ? | <0.30 | 0.40 a 16 | <0.70 ? |
| Sodio (%) | - | - | <0.16 | 0.17 a 0.24 | > 0.25 ? |

Fuente: Adaptada a partir de los datos recopilados en Embleton et al., 1983.

1. Con la excepción de los valores de N, esta tabla puede aplicarse a limonero, pomelo y, posiblemente, a mandarino.
2. Basados en la concentración de elemento en hojas terminales de 5-7 meses de edad, tomadas en ramos no fructíferos

Tabla 11. Niveles críticos de nutrientes en hojas de árboles frutales recogidas en julio^{1,2}.

| | Nitrógeno (%) | | Potasio (%) | | Calcio (%) | Magnesio (%) | Sodio (%) | Cloro (%) | Boro (ppm) | | | Cinc (ppm) |
|--------------------|---------------|----------|-------------|----------|------------|--------------|-----------|-----------|------------|----------|--------|------------|
| | Deficiente | Adecuado | Deficiente | Adecuado | Adecuado | Adecuado | Exceso | Exceso | Deficiente | Adecuado | Exceso | Adecuado |
| Albaricoque | <2.0 | 2.5-3.0 | <2.0 | >2.5 | >2.0 | - | >0.10 | >0.2 | <15 | 20-70 | >90 | >16 |
| Almendro | <2.0 | 2.2-2.5 | <1.0 | >1.4 | >2.0 | >0.25 | >0.25 | >0.3 | <25 | 30-65 | >85 | >18 |
| Cerezo | - | 2.0-3.0 | <0.9 | - | - | - | - | - | <20 | - | - | >14 |
| Ciruelo | <2.2 | 2.3-2.8 | <1.0 | >1.3 | >1.0 | >0.25 | >0.20 | >0.3 | <25 | 30-80 | >100 | >18 |
| Manzano | <1.9 | 2.0-2.4 | <1.0 | >1.2 | >1.0 | >0.25 | - | >0.3 | <20 | 25-70 | >100 | >18 |
| Melocotón | <2.3 | 2.4-3.3 | <1.0 | >1.2 | >1.0 | >0.25 | >0.20 | >0.3 | <18 | 20-80 | >100 | >20 |
| Nogal | <2.1 | 2.2-3.2 | <0.9 | >1.2 | >1.0 | >0.30 | >0.10 | >0.3 | <20 | 36-200 | >300 | >18 |
| Olivo | <1.4 | 1.5-2.0 | <0.4 | >0.8 | >1.0 | >0.10 | >0.20 | >0.5 | <14 | 19-150 | >185 | - |
| Peral | <2.2 | 2.3-2.8 | <0.7 | >1.0 | >1.0 | >0.25 | >0.25 | >0.3 | <15 | 21-70 | >80 | >18 |

1. Niveles adecuados para todas las especies: Fósforo: 0.1-0.3%; Cobre:>4 ppm; Manganeso:>20 ppm.
2. Los niveles entre deficientes y adecuados se consideran "bajos".

Tabla adaptada por Fernández Escobar a partir de datos de Beutel, Uriu and Lilleland (1983).

4. FERTILIZANTES.

4.1. DEFINICIÓN.

Un fertilizante o abono es cualquier sustancia orgánica o inorgánica, natural o sintética, que aporta a las plantas uno o varios de los elementos nutritivos indispensables para su desarrollo vegetativo normal.

Un fertilizante o abono mineral es todo producto desprovisto de materia orgánica que contenga de forma útil a las plantas uno o más elementos nutritivos de los reconocidos como esenciales para el crecimiento y desarrollo vegetal. Estos abonos pueden ser simples, si tienen contenidos declarables de uno sólo de los macroelementos siguientes: nitrógeno, fósforo o potasio, o complejos si tienen un contenido declarable de más de uno de ellos.



4.2. RIQUEZA GARANTIZADA: EXPRESIÓN Y EJEMPLOS.

La riqueza o concentración de un fertilizante es la cantidad del elemento o elementos esenciales que el fertilizante o abono en cuestión contiene, es decir, la expresión en porcentaje (%) de los kilogramos de un determinado elemento en la composición de un fertilizante.

La riqueza en nitrógeno de un fertilizante se expresa en % de nitrógeno (N), la riqueza en fósforo en % de anhídrido fosfórico (P_2O_5) y la riqueza en potasio en % de óxido de potasio (K_2O).

Así, por ejemplo, el sulfato amónico que tiene una riqueza en nitrógeno del 21%, tendrá por cada 100 Kg de abono, 21 Kg de nitrógeno (N); un superfosfato triple con un 45% en riqueza, tendrá 45 Kg de anhídrido fosfórico (P_2O_5) por cada 100 Kg de superfosfato; y el cloruro potásico con una riqueza del 60%, tendrá 60 Kg de óxido de potasio (K_2O) por cada 100 Kg de abono.

En la práctica esto nos serviría para calcular la cantidad de abono a aplicar ya que si, por ejemplo, un determinado cultivo necesita 150 Kg de nitrógeno por hectárea y hemos decidido aplicarlo en forma de urea (riqueza del 46% en N) ¿qué cantidad tendremos que aplicar?

$$150 \text{ Kg. N/ha (necesidades)} \times 100 \text{ Kg urea/} 46 \text{ Kg. N} = 326 \text{ Kg urea/ha}$$

4.3. ELECCIÓN DEL FERTILIZANTE Y ÉPOCA DE APLICACIÓN.

Una vez conocidas las unidades fertilizantes que necesitamos, como ya se vió en apartados anteriores, deberemos determinar bajo qué forma química se van a aplicar y en qué momento para que el cultivo disponga de los elementos que necesita en el tiempo adecuado.

A la hora de elegir un determinado abono para aplicar a un cultivo debemos tener en cuenta las siguientes características del mismo:

- Estado físico o forma de presentación: existen abonos sólidos en polvo, granulados, cristalinos, perlados o macrogranulados; y también existen abonos líquidos en suspensión, soluciones con presión o soluciones normales. Respecto a los abonos gaseosos, únicamente se emplea el amoníaco anhidro, que es un gas a la temperatura y presión normal, pero que se comprime para que pase a líquido y facilitar su transporte y almacenaje; cuando se inyecta en el suelo, vuelve a transformarse en gas. Esta característica permitirá determinar el tipo o forma de aplicación.
- Composición química: de ella podremos deducir su comportamiento en el suelo.

- Solubilidad: a mayor solubilidad más rápidamente pasa a disposición de la planta pero también se pueden producir mayores pérdidas por lavado, lo que obligaría a distribuir la cantidad total en varias aplicaciones.
- Reacción: ácida, básica o neutra. Mediante esta característica se puede mejorar el pH del suelo.
- Riqueza: ya mencionada anteriormente.

Otro dato de gran importancia para la aplicación del fertilizante será en qué momento lo pondremos a disposición del cultivo, según la cual tendremos: abonado de fondo, abonado de cobertera, abonado foliar o fertirrigación.

- Abonado de fondo: técnica que se basa en la existencia de diversos fertilizantes como los nitrogenados amónicos, la cianamida cálcica, los superfosfatos, el cloruro potásico y diversos fertilizantes compuestos NPK, que aportados al suelo antes (presiembrado) o en el momento de la siembra (sementera), mantienen a disposición de la planta las unidades fertilizantes que poseen sin que se produzcan pérdidas no soportables por el cultivo.
- Abonado de cobertera: técnica que se basa en la existencia de otros fertilizantes como los nitrogenados nítricos, que ponen de forma inmediata a disposición del cultivo las unidades fertilizantes que poseen por lo que se aplican en el momento en el que el cultivo los necesita.
- Abonado foliar: consiste en la aportación, vía foliar, de los elementos nutritivos que la planta necesita. Hay que tener en cuenta que por esta vía, y a lo largo del ciclo biológico, no se puede suministrar más del 10% de lo que la planta absorbe vía radicular, por lo que este tipo de abonado nunca podrá sustituir al abonado tradicional, y sólo se utilizará como abonado de choque o para aportar al cultivo compuestos que necesite en pequeña cantidad como los micronutrientes.
- Fertirrigación: consiste en aportar los nutrientes que el cultivo necesita, en el momento y cantidad precisa, disueltos en el agua de riego.

4.4. TIPOS DE FERTILIZANTES.

4.4.1. FERTILIZANTES MINERALES.

4.4.1.1. FERTILIZANTES MINERALES SIMPLES.

Aportan un sólo macroelemento de los siguientes: nitrógeno, fósforo o potasio. Los fertilizantes nitrogenados se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: amónicos, nítricos, amónico-nítricos y amidicos, cada uno de estos grupos posee características particulares.



- Fertilizantes amónicos: son de acción lenta, más progresiva y duradera que la de los nítricos. Son bien retenidos por el poder absorbente del suelo y absorbidos lentamente por la planta. Son abonos nitrogenados de fondo, que se suelen utilizar en presiembra o sembrera.
- Fertilizantes nítricos: son de acción rápida, muy solubles, rápidamente asimilables por la planta. No son retenidos por el poder absorbente del suelo, por lo que el riesgo de pérdidas por lavado es mucho mayor que el grupo anterior. Se usan como abonos de cobertera y son muy útiles para vigorizar los cultivos a la salida del invierno, en periodos de sequía prolongada o para intervenir en un momento tardío, con la vegetación avanzada.
- Fertilizantes amónico-nítricos: combinan las propiedades de los abonos nítricos y de los amónicos. Se puede decir que constituyen abonos de seguridad, puesto que el nitrógeno nítrico actúa rápidamente en caso de sequía, y el nitrógeno amoniacal es más ventajoso en las épocas húmedas. En general, se puede decir que tienen una mayor flexibilidad de empleo y unas posibilidades de utilización más amplias que los abonos nítricos o amónicos, considerados aisladamente.
- Fertilizantes amídicos: en este grupo se incluyen la cianamida cálcica y la urea. Son abonos de acción lenta, similar a la de los amónicos, por lo que se suelen utilizar como abonos de fondo.

Los fertilizantes fosfatados y potásicos se suelen aplicar antes de la siembra como abonos de fondo, ya que suelen ser también de acción lenta y absorbidos por la planta lentamente.

En la Tabla 12 se presentan los fertilizantes minerales simples más utilizados.

Tabla 12. Fertilizantes minerales simples más utilizados.

| FERTILIZANTES NITROGENADOS | Riqueza | Forma de presentación | Solubilidad en agua | Movilidad | Reacción | Aplicación | Riesgo de pérdida | Recomendaciones |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-----------|--------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------------|
| Amónicos | Sulfato amónico | Cristales | Muy alta | Media | Acida | Presiembra | Medio | Suelos alcalinos y salinos |
| | Cloruro amónico | Granulado | Media | Media | Acida | Presiembra | Medio | Suelos ácidos |
| | Amoniaco anhídrido | Gas | - | - | Acida | Presiembra | Volatilización | - |
| Nítricos | Nitrato de calcio | Granulado | Muy alta | Alta | Básica | Cobertera | Alto | Suelos arcillosos y ácidos |
| | Nitrato sódico | Granulado | Muy alta | Alta | Ligeramente básica | Cobertera | Alto | Suelos ácidos |
| Amónico nítricos | Nitrato amónico | Granulado | Muy alta | Media | Ligeramente ácida | Cobertera | Medio | Suelos alcalinos |
| | Nitrato amónico cálcico | Granulado | Media | Media | Neutra | Presiembra Cobertera | Medio | Suelos ácidos |
| | Nitrosulfato amónico | Granulado | Muy alta | Media | Acida | Sementera Cobertera | Medio | Suelos alcalinos |
| Amidicos | Cianamida cálcica | Granulado Polvo | Baja | Baja | Fuertemente básica | Presiembra | Bajo | Suelos arcillosos o descalcificados |
| | Urea | Granulado Disolución | Alta | Baja | Acida | Presiembra Cobertera | Bajo | Todo tipo de suelo |



Tabla 12 (continuación). Fertilizantes minerales simples más utilizados.

| FERTILIZANTES FOSFATADOS | Riqueza | Forma de presentación | Solubilidad en agua | Movilidad | Reacción | Aplicación | Riesgo de pérdida | Recomendaciones |
|--------------------------|-------------|-----------------------|---------------------|-----------|----------|----------------------|-------------------|--|
| Superfosfato normal | 18% P2O5 | Granulado Polvo | Baja | Media | Acida | Presiembra Cobertera | Medio | Todo tipo de suelo (mejor salinos y calizos) |
| Superfosfato doble | 35% P2O5 | Granulado Polvo | Baja | Media | Acida | Presiembra Cobertera | Medio | Todo tipo de suelo (mejor salinos y calizos) |
| Superfosfato triple | 45% P2O5 | Granulado Polvo | Baja | Media | Acida | Presiembra Cobertera | Medio | Todo tipo de suelo (mejor salinos y calizos) |
| Fosfato bicálcico | 40% P2O5 | Polvo | Media | Media | Básica | Presiembra | | Suelos ácidos |
| Escorias Thomas | 15-20% P2O5 | Polvo | Muy baja | Baja | Básica | Presiembra | Bajo | Suelos ácidos |
| FERTILIZANTES POTÁSICOS | Riqueza | Forma de presentación | Solubilidad en agua | Movilidad | Reacción | Aplicación | Riesgo de pérdida | Recomendaciones |
| Cloruro potásico | 60% K2O | Granulado Cristales | Alta | Baja | Básica | Presiembra | Bajo | Suelos ácidos |
| Sulfato potásico | 50% K2O | Cristales | Muy alta | Baja | Acida | Presiembra Cobertera | Bajo | Suelos salinos y alcalinos |

4.4.1.2. FERTILIZANTES MINERALES COMPUESTOS.

Se denominan así los fertilizantes que contienen al menos dos de los tres elementos fertilizantes principales: nitrógeno, fósforo y potasio. Son una mezcla en distinta proporción de los citados elementos.

Se denominan ternarios si el fertilizante contiene los tres elementos y binarios si sólo contiene dos. Los binarios podrán ser: nitrogenados-fosfatados (NP), nitrogenados-potásicos (NK) o fosfopotásicos (PK).

Se designan mediante una fórmula de dos o tres números que representa la cantidad de cada elemento contenida en 100 Kg de fertilizante: el primer número representa la cantidad de nitrógeno (N), el segundo la de fósforo (P_2O_5) y el tercero la de potasio (K_2O).

Los fertilizantes compuestos más utilizados son los binarios PK granulados o compactados:

- *Fosfopotásicos*: fosfatos naturales molidos mezclados con cloruro de potasio o molidos con él (0-18-18, 0-19-19, 0-24-11, etc.).
- *Escorias potásicas*: mezclas de escorias y CIK con riquezas diversas.
- *Superpotásicos*: mezclas de superfosfatos y CIK más o menos concentradas.
- *Superfosfopotásicos*: mezclas de superfosfatos, fosfatos naturales y CIK.

En el caso de que el agricultor quiera preparar él mismo alguno de los fertilizantes compuestos, deberá tener en cuenta que existen mezclas que se pueden realizar sin ningún problema, mientras que existen otras que están prohibidas (por los riesgos que conllevan). También existen mezclas que deben realizarse en el momento de la aplicación, no pudiendo ser almacenadas.

En la *Tabla 13* se muestra la compatibilidad para mezclar distintos abonos.



Tabla 13. Compatibilidad para mezclar distintos abonos.

| | Sulfato amónico | Nitrato cálcico | Nitrato sódico | Nitrato amónico | Urea | Super fosfatos | Fosfato bicálcico | Escorias Thomas | Cloruro potásico | Sulfato potásico |
|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|------|----------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|
| Sulfato amónico | | X | ■ | ● | ● | ● | ■ | X | ● | ● |
| Nitrato cálcico | X | | ● | X | ■ | X | ● | ● | ● | ● |
| Nitrato sódico | ■ | ● | | ● | ■ | ● | ■ | ● | ■ | ■ |
| Nitrato amónico | ● | X | ● | | X | ● | ■ | X | ● | ● |
| Urea | ● | ■ | ■ | X | | ● | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Super fosfatos | ● | X | ● | ● | ● | | ● | X | ■ | ■ |
| Fosfato bicálcico | ■ | ● | ■ | ■ | ■ | ● | | ● | ■ | ■ |
| Escorias Thomas | X | ● | ● | X | ■ | X | ● | | ■ | ■ |
| Cloruro potásico | ● | ● | ■ | ● | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Sulfato potásico | ● | ● | ■ | ● | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |

■: los abonos se pueden mezclar; X: los abonos no se pueden mezclar; ●: los abonos se pueden mezclar, pero no almacenar, han de ser aplicados inmediatamente después de realizar la mezcla.

4.4.1.3. FERTILIZANTES COMPLEJOS.

Se denominan así los fertilizantes que contienen dos o más elementos principales y proceden de reacciones químicas. Cada una de sus partículas posee la misma composición que el resto. Suelen ser granulados y de fácil distribución.

4.4.1.4. FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN LENTA.

Se caracterizan porque los elementos fertilizantes que contienen, en especial el nitrógeno, se van liberando o poniendo a disposición de la planta de manera progresiva y continuada. Mediante su uso se consiguen reducir las pérdidas de unidades fertilizantes por lavado y otras causas diversas.

Los más utilizados en la actualidad son los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta, que se pueden clasificar en tres grupos:

- Abonos recubiertos.
- Abonos de baja solubilidad.
- Abonos con inhibidores de la nitrificación.

Abonos recubiertos.

Son fertilizantes convencionales que se presentan en forma de gránulos envueltos en una membrana semipermeable que está constituida por una sustancia insoluble o de baja solubilidad en agua. La disolución del fertilizante se produce lentamente: conforme el agua va atravesando el recubrimiento, se va rompiendo la membrana y se liberan los nutrientes de forma progresiva.

Las sustancias que más se emplean como recubrimiento son: azufre, resinas, caucho, parafinas y plástico perforado.

El abono recubierto de uso más extendido es la urea-azufre (URA) que posee un contenido en nitrógeno de entre un 30 y un 37% y en azufre del 15 al 19%. Resulta un fertilizante que presenta una buena conservación y que puede mezclarse con otros productos (excepto con nitratos). Otros abonos recubiertos de uso más restringido son: el nitrato amónico recubierto de resina, la urea con laca en escamas o el nitrosulfato amónico recubierto con yeso o parafina.

Abonos de baja solubilidad.

Son abonos que requieren gran cantidad de agua para su completa disolución, con lo que se asegura una baja concentración de nitrógeno en la disolución del suelo y menor riesgo de lavado.

Pueden utilizarse productos orgánicos o inorgánicos. Entre los primeros destacan la urea-formaldehído, con un contenido en nitrógeno que varía entre el 38 y el 40%, la isobutilendiurea, con aproximadamente un 32% en nitrógeno, la oxamida, con un 32% en N y la crotoniliden diurea (CDU) con un 28% en N. Entre los productos inorgánicos se encuentran los fosfatos dobles de amonio y un metal, como el fosfato amónico-magnésico, con un 8% de N y un 44% de P_2O_5 .

Abonos con inhibidores de la nitrificación.

Las principales pérdidas de nitrógeno cuando se aplican fertilizantes amoniacales o urea, se producen tras la conversión del amonio en nitratos. Existen ciertos compuestos que son tóxicos para las bacterias que realizan esta conversión y que pueden inhibir temporalmente la nitrificación cuando se añaden al suelo. Por tanto, reducen las pérdidas de nitratos, aumentando la eficiencia en el uso de los fertilizantes amoniacales y del nitrógeno amoniacal en general.

Estos productos resultan muy efectivos en suelos de textura gruesa para evitar el lavado de los nitratos, y en suelos encharcados para evitar la desnitrificación.

Entre ellos el más empleado es la nitrapirina (N Serve), que se aplica principalmente en cereales a dosis de 0,30-0,55 Kg/Ha de producto activo. Su persistencia en el suelo es de dos a tres meses y se elimina por volatilización y degradación a otros



compuestos. Su aplicación en sembradura a los cereales evita las pérdidas del nitrógeno amoniacal del cultivo anterior, del excedentario en la siembra y del originado a partir de la transformación de la materia orgánica.

Otros inhibidores de uso menos extendido son: tiourea, sulfatiazol y algunas triazinas.

4.4.2. FERTILIZANTES ORGÁNICOS.

Son aquellos fertilizantes que proceden de residuos animales o vegetales y contienen unos porcentajes mínimos de materia orgánica y nutrientes. Tienen como objetivo generar humus y aumentar el contenido de materia orgánica del suelo.

En este grupo se incluyen los estiércoles y purines, los residuos vegetales (pajas, residuos de cosechas, etc.), compost urbanos y turbas. Suelen tener acción lenta y progresiva, por lo que suelen ser utilizados como abonos de fondo fundamentalmente en horticultura, floricultura, fruticultura y viticultura.

5. MAQUINARIA PARA LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES.

Casi todo lo referido a este capítulo se ha tomado de lo descrito por Ortiz-Cañavate en su libro "Las máquinas agrícolas y su aplicación" de gran utilidad para quien quiera profundizar sobre este tema.

Lo primero que habría que conocer para la correcta distribución de un determinado fertilizante sería la dosis de aplicación según el tipo de suelo y de cultivo. Una vez conocida la dosis habrá que tener en cuenta el tipo de maquinaria que va a utilizar. Las máquinas que se utilizan para la distribución de fertilizantes minerales se llaman abonadoras, y su tarea consiste en aplicarlos lo más uniforme y exactamente posible en una superficie determinada.

Se distinguen cuatro tipos de abonadoras:

- Distribuidoras por gravedad: el abono cae al suelo por efecto de la gravedad; la anchura de la máquina corresponde generalmente a la anchura de distribución.
- Distribuidoras centrífugas: el abono es proyectado mecánicamente sobre el terreno; la anchura de aplicación es mucho mayor que la de la máquina.
- Distribuidoras neumáticas: el producto es arrastrado por una corriente de aire a presión a lo largo de una barra o rampa con boquillas; la anchura de aplicación es aproximadamente la de la barra distribuidora.
- Distribuidoras en líneas o localizadoras: localizan el abono en una banda estrecha junto a las plantas a abonar o debajo de éstas.

5.1. DISTRIBUIDORAS POR GRAVEDAD.

El órgano distribuidor actúa en la totalidad de la anchura de la máquina (la anchura de trabajo coincide con la anchura de la máquina) y puede funcionar con movimiento giratorio, de vaivén o ambos, según lo cual se distinguen los siguientes tipos: de tornillo sin fin, de rejilla, de rodillo, de cadenas, de platos o de fondo móvil.

Las partes móviles suelen ser accionadas por las ruedas de apoyo o por una cadena acoplada al eje de las ruedas traseras del tractor. En el caso de ser accionadas por la toma de fuerza, ésta debe ser sincronizada, es decir, proporcional al avance del tractor.

Son las máquinas más adecuadas para parcelas pequeñas. La velocidad de avance usual es de 4 a 8 Km/h.

5.2. DISTRIBUIDORAS CENTRÍFUGAS.

Constan de una tolva bajo la cual va montado el dispositivo de distribución, desde el que es proyectado a gran distancia el abono. La tolva es de sección circular, elíptica o cuadrada. El abono sale a través de una ventana regulable, en el fondo o lateralmente, sobre el disco, descentrada sobre el mismo.

Van generalmente suspendidas en los tres puntos del tractor, y accionadas por su toma de fuerza. El abono es despedido por las paletas del disco giratorio en una zona con forma de sector circular. Estas abonadoras no son adecuadas para productos en polvo y sí son recomendables para los granulados. La anchura de distribución depende de:

- Velocidad de giro de los discos.
- Tamaño de las partículas de abono.
- Angulo de las paletas.
- Altura sobre el suelo.
- Humedad del abono.
- Acción del viento.

Las velocidades de trabajo de las abonadoras centrífugas varían entre 5 y 15 Km/h, lo que, unido a la gran anchura de distribución, originan altos rendimientos superficiales. Dentro de este tipo de distribuidoras se distinguen varias clases: de un sólo disco, de dos discos y pendulares o de tubo oscilante.

5.3. DISTRIBUIDORAS NEUMÁTICAS.

Son máquinas suspendidas en el tractor, y existen para anchuras de trabajo entre 5 y 15 m. En ellas el abono es introducido en una corriente de aire a través de un dosificador que está formado por un rodillo de dientes o una rueda de celdas giratoria.



Este dosificador está accionado por un variador continuo de velocidad que gira proporcionalmente al avance del tractor.

Con este sistema se consigue una calidad de distribución muy buena, manteniéndose la uniformidad incluso a dosis muy bajas.

5.4. DISTRIBUIDORAS EN LÍNEAS O LOCALIZADORAS.

Como ya se ha dicho, localizan el abono junto a, o debajo de las plantas a fertilizar. Se utilizan principalmente en cultivos en líneas a distancias considerables, como el maíz, el tomate...

Las abonadoras localizadoras en profundidad llevan unas rejas abridoras en cuya parte trasera se deposita el abono, que cae a través de unos tubos flexibles o sobre una rampa, formada por la propia reja. Las distribuidoras en líneas son del tipo convencional de tolva y eje interior de paletas o tornillo sin fin, que impulsa el abono a través de unos tubos de salida sobre cada línea, o en una o dos bandas por medio de unas pantallas.

5.5. REGULACIONES Y RENDIMIENTOS.

En todos los tipos de distribuidoras primero se fijará la regulación de la cantidad a aplicar de forma aproximada, según las tablas del manual de la máquina. Después, parada la máquina, se recogerá la cantidad de abono distribuida por 100 metros recorridos, en el caso de distribuidoras por gravedad, o el caudal en kg/min, en el de distribuidoras centrífugas (tener en cuenta en este caso que el caudal también dependerá de la densidad y de la humedad del producto).

- Distribuidoras por gravedad: se determina el número de vueltas que debe dar la rueda de la máquina en 100 m de recorrido: si llamamos **D** al diámetro en metros de la rueda de la máquina, y **n** al número de vueltas que debe dar la rueda en 100 metros, éste será:

$$n = \frac{100}{3,14 \cdot D}$$

Si la cantidad de abono recogida en estas **n** vueltas es **p** (kg) y la anchura de distribución es **a** (m), la dosis **P** en kg/ha será:

$$P = \frac{p(\text{kg})}{100 \cdot a(\text{m}^2)} \cdot 10000 (\text{m}^2/\text{ha}) = \frac{p \cdot 100}{a} (\text{kg}/\text{ha})$$

Ejemplo: Una abonadora por gravedad de discos giratorios distribuye, para una anchura de 2,5 metros, 8 kg de nitrato amónico en 100 metros de recorrido, para una determinada posición de la ventana de salida. Calcular la dosis aplicada por hectárea.

$$P = \frac{8 \cdot 100}{2.5} = 320 \text{ kg/ha}$$

- Distribuidoras centrífugas: una vez fijada la anchura útil, a_u , según el recubrimiento necesario, se medirá el caudal Q , en kg/h o en kg/min, para unas condiciones determinadas: posición de la compuerta de descarga, clase de abono y velocidad, v . La dosis por hectárea se calculará de la siguiente forma:

$$P = \frac{Q(\text{kg/h})}{v(\text{km/h}) \cdot a_u(\text{m})} \cdot \frac{10000(\text{m}^2/\text{ha})}{1000(\text{m/km})} = \frac{Q \cdot 10}{v \cdot a_u} (\text{kg/ha})$$

La capacidad de trabajo teórica de la abonadora, S_t , depende de la anchura de distribución a_u (m) (o a en la abonadora por gravedad) y de la velocidad de avance, v (km/h), y sería:

$$S_t = \frac{a_u(\text{m}) \cdot v(\text{km/h})}{10000(\text{m}^2/\text{ha})} \cdot 1000(\text{m/km}) = \frac{a_u \cdot v}{10} (\text{ha/h})$$

La capacidad de trabajo efectiva, S_e , viene afectada por el coeficiente η_e de eficiencia en el trabajo, dependiente de la capacidad de la tolva y de la cantidad a distribuir por hectárea (en general este coeficiente varía entre 0,5 y 0,7) y S_e será:

$$S_e = \eta_e \cdot \frac{a_u \cdot v}{10} (\text{ha/h})$$



ANEXO I. TOMA DE MUESTRAS DE TIERRA

Para que una muestra de suelo sea válida para la realización de un análisis debe ser representativa de todo el volumen de suelo explorado por las raíces en la parcela en la que se esté interesado. Para garantizar esta representatividad la muestra debe obtenerse como una *muestra compuesta* de varias submuestras individuales de tierra, tomadas en puntos distribuidos por toda la parcela, de acuerdo con los siguientes pasos:

- **Subdivisión de la parcela.** Cuando la heterogeneidad de la parcela lo aconseje, ésta debe subdividirse, a efectos del muestreo, en subparcelas homogéneas que se muestrearán independientemente (*Figura 2*). La subdivisión debe atender a la clase de suelos existentes y al manejo de éstos en cuanto al abonado. (Normalmente, en parcelas pequeñas (<4 ha) existe homogeneidad suficiente como para que no haya necesidad de proceder a la subdivisión).
- **Toma de submuestras individuales de tierra.** Cada subparcela será recorrida por un operario, quien tomará submuestras individuales de tierra en puntos regularmente distanciados entre sí. En cada punto se tomará una submuestra de cada una de las capas en las que estemos interesados. (La profundidad de las submuestras dependerá de la profundidad que alcancen las raíces del cultivo; en la mayoría de los casos suele ser suficiente hacer dos tomas: de 0-30 cm y 30-60 cm). La toma puede hacerse con azada, barrena o cualquier otro utensilio que no contamine. En todo caso es importante:
 - Que todas las submuestras correspondientes a la misma profundidad tengan la misma cantidad de tierra.
 - No mezclar tierra procedente de diferentes profundidades.
 - Tomar como mínimo entre 8 y 20 submuestras individuales en cada subparcela.
- **Mezcla de submuestras individuales y obtención de muestras compuestas.** Al término del recorrido se procederá a mezclar íntimamente todas las submuestras extraídas a la misma profundidad, separando una porción representativa de la mezcla resultante (con 0.5 kg de tierra es suficiente), que se utilizará como muestra compuesta (si las submuestras individuales estuviesen demasiado húmedas para mezclarse, se desecarán y desmenuzarán previamente). Las muestras compuestas (una por cada profundidad) se desecarán al aire y se remitirán al laboratorio en bolsas de plástico en las que se hará constar, como mínimo, la siguiente información: término municipal y provincia; identificación de la parcela; profundidad (cm); fecha de muestreo; cultivo.

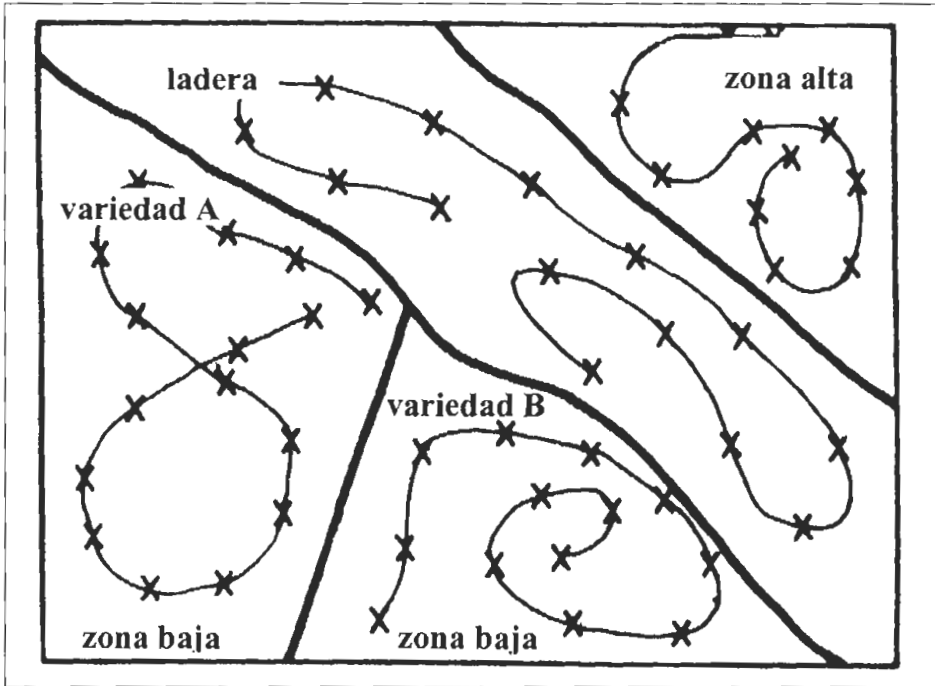


Figura 2. Ejemplo de como proceder a subdividir una finca en cuatro subparcelas homogéneas y de como se recorren éstas para tomar submuestras individuales de suelo. (La finca representada en la figura se ha subdividido en tres zonas de suelos distintos [zona alta, ladera y zona baja] y la zona baja, plantada de árboles, se ha subdividido en dos subparcelas según la variedad de árboles existentes).

ANEXO II. MUESTREO DE HOJAS.

El procedimiento de muestreo, aunque puede variar de una especie a otra en los detalles, se ajusta casi siempre al siguiente esquema general:

- a) El primer paso consiste en diferenciar subparcelas homogéneas dentro de cada campo o parcela principal, de acuerdo con los conocimientos del propio agricultor (variedad, edad de los árboles, tipo de suelo, prácticas de cultivo, etc.).
- b) De cada parcela homogénea debe tomarse una muestra de hojas (si la parcela es extensa, conviene tomar más muestras). Cada muestra debe contener entre 80 y 100 hojas, tomadas de varios árboles distribuidos por toda la parcela.
- c) Las hojas deben tomarse con su peciolo, completamente expandidas, en número de 2 a 4 por árbol, de brotes del año situados a la altura del hombro



y en distintas orientaciones. Debe evitarse tomar hojas de árboles atípicos, enfermos o de rodales que soporten condiciones específicas (salvo que se quiera diagnosticar esa condición, en cuyo caso deben tratarse como una muestra diferente).

- d) Las hojas deben introducirse en bolsas de papel, protegidas de la luz y de la humedad, y enviarse rápidamente al laboratorio para su análisis. Si no se pueden enviar en unos días, deben conservarse en frigorífico para evitar la proliferación de hongos.

CAPÍTULO IV

TRATAMIENTOS FITOSANITARIOS

Luis García Torres (*)

* Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
Instituto de Agricultura Sostenible.

IV TRATAMIENTOS FITOSANITARIOS

1. INTRODUCCIÓN.

Agricultura y Protección Vegetal. Agricultura es el conjunto de operaciones que lleva a cabo el hombre en un determinado medio para que se desarrollen determinadas especies vegetales (cultivos) que le son de particular utilidad económica, en detrimento de otras especies vegetales. Desde sus inicios, la producción de los cultivos se ha reducido debido a la competición con las malezas, plagas de insectos y animales, y microorganismos patógenos. El objetivo de la protección vegetal ha sido y es limitar la reducción de cosecha de los cultivos debida a factores bióticos (malezas, enfermedades, insectos- y animales- plaga) a fin de mantener e incrementar la cosecha, así como la calidad y estabilidad de la misma.

Intensificación de la agricultura y desarrollo de nuevos medios de protección. En las últimas décadas se han intensificado los sistemas de cultivos mediante la introducción de cultivares altamente productivos, uso de elevadas densidades de población, rotaciones "estrechas" o incluso monocultivos, y un aumento considerable del riego y de los fertilizantes. Lo anterior ha aumentado efectivamente la producción si bien también ha originado que aumenten las pérdidas potenciales debido a malezas, plagas y enfermedades, y que por consiguiente se requieran programas de protección más complejos.

Los medios de protección de cultivo pueden ser en términos generales mecánicos, químicos y biológicos. Los fitosanitarios pueden definirse como aquellas sustancias químicas o agentes biológicos que son útiles para combatir las enfermedades (fungicidas), plagas (insecticidas) y malezas (herbicidas) que dificultan su desarrollo (se excluyen en este contexto los reguladores y bioestimulantes de crecimiento).

Amplitud de medios y limitación de opciones reales. El número de fitosanitarios ha aumentado tremendamente en el último medio siglo. De casi una práctica inexistencia, o muy bajo uso de fitosanitarios, se ha pasado a disponer hoy día de un número muy elevado de herbicidas, insecticidas y fungicidas. Los agricultores para mantener o incrementar la producción están dispuestos normalmente a recibir y adaptar las innovaciones científicas y tecnológicas que les permiten usar cada vez más y mejor los recursos naturales.

No obstante, el agricultor en la mayoría de los casos en las que tiene que llevar a cabo alguna acción de protección de sus cultivos dispone de muy limitadas herramientas u opciones, debido a la especificidad de muchas de ellas (problema a afrontar vs. cultivo y/ o medio físico) y a circunstancias socio- económicas. Por otro lado, si bien el uso de fitosanitarios está muy extendido y es ampliamente aceptado por los agricultores, el tratamiento informativo que recibe de sus garantías sanitarias y medioambientales es a veces simplista, distorsionado y alarmante.



El objetivo de este trabajo es dar una visión general de los medios de protección fitosanitaria de cultivos que hoy día se disponen, las garantías sanitarias y medioambientales de su uso y su integración a grandes rasgos en diversos sistemas productivos actuales de la agricultura moderna.

2. GRUPOS DE FITOSANITARIOS, CARACTERÍSTICAS Y ESTADO ACTUAL DE SU DESARROLLO.

2.1. HERBICIDAS.

Importancia económica y uso frecuente. Son los herbicidas los fitosanitarios más importantes (de mayor volumen de ventas) en la mayoría de los países con una agricultura desarrollada. Esto posiblemente es debido a que las infestaciones de malezas se pueden considerar como “crónicas”: ocurren cada año, en cada cultivo. De ahí que el agricultor se vea obligado en la mayoría de los sistemas productivos a afrontar cada año el problema de las malezas: o sea a aplicar herbicidas en cada cultivo, o en su defecto a controlar las malezas mediante operaciones mecánica, frecuentemente manuales, que pueden serle más gravosas.

Elevado número de herbicidas. El número actual de herbicidas simples es de unas 140 materias activas en todo el mundo (WSSA, 1994 y 1998). En España se usan actualmente unas 114 materias activas y 765 herbicidas comerciales (Tabla 2.1; SPV, 2000; y de Liñán, 2000). Estos se componen de diversas formulaciones de una misma materia activa o de combinaciones de diversas materias activas simples. De algunas materias activas de gran éxito y fuera de patente hay numerosas formulaciones comerciales. Así, por ejemplo, de glifosato hay 85, de simazina 39, de trifluralina 32, de MCPA 42 (SPV, 2000; y de Liñán, 2000). En cambio, de los nuevos herbicidas todavía bajo patente (p.e. antigramíneos) hay muy pocos herbicidas comerciales ó solo 1 por cada materia activa correspondiente (así de sulfosato solo Touchdown, de glufosinato solo Finale).

Diversidad de características. Los herbicidas muestran unas características muy diversas en cuanto a su actividad herbicida propiamente dicha (acción de contacto o sistémica, total o selectiva contra determinadas especies, acción aérea o edáfica) y a su comportamiento ambiental (adsorción, degradación y vida media en el suelo, absorción, traslocación y degradación en las plantas) (García-Torres y Fernández-Quintanilla, 1991; WSSA, 1994 y 1998). En la Tabla 1 y 2. se indican algunas familias de herbicidas de especial interés que también se describen brevemente a continuación.

GRUPOS:

Hormonales. En este grupo cabe destacar al 2,4-D, MCPA, MCPP, 2,4-DB y 2,4,5-T, entre otros. Ampliamente usados en los cereales en los últimos 50 años. Su estructura química es parecida a la de las hormonas auxinas. El 2,4-D (2,4-diclorofenoxiacético) fue el primer herbicida orgánico que se sintetizó y se empezó a comercializar hacia 1950. Ha sido y es todavía ampliamente usado por su excelente acción selectiva en el control de dicotiledóneas. El MCPA es muy similar al 2,4-D. El 2,4-DB tiene la particularidad de ser bastante selectivo en algunos cultivos leguminosos. Se degradan rápidamente en el suelo (vida media de unas semanas) mediante la acción microbiana.

Antigramíneos. Se han desarrollado en las dos últimas décadas. Su empleo supuso un paso muy importante en el control de gramíneas en los cultivos de cereales (diclofop-metil) y también en los cultivos de dicotiledóneas (fluazifop-metil, quizalofop-etil, sethoxidin). Acción vía foliar y de fácil traslocación vía xilema y floema, por lo que también son efectivos contra especies perennes.

De contacto, no selectivos. Los bipiridilos diquat y paraquat se desarrollaron hacia 1960, y desde entonces son ampliamente usados. Su acción herbicida es rápida y actúan desorganizando las membranas; son solo parcialmente efectivos contra especies perennes debido a su no traslocación en la planta. Por otro lado, el glufosinato, de desarrollo mucho más reciente (1985), es también de acción total, nula o casi nula movilidad en la planta y extremadamente bajos índices ecotoxicológicos (inhibe la acción de la enzima glucoaminosintetasa que cataliza la formación de la glutamina). Tanto los bipiridilos como el glufosinato no tienen ninguna acción en el suelo.

Tabla 1. Número aproximado de fitosanitarios en uso actualmente en España.

| | Materias Activas | Productos comerciales |
|---------------------------------------|------------------|-----------------------|
| Herbicidas* | | |
| Acción foliar/ post-Hormonales | 8 | 138 |
| De contacto, totales | 4 | 5 |
| De contacto, selectivos | 6 | 31 |
| Totales sistémicos | 3 | 119 |
| Antigramíneos | 16 | 17 |
| Sulfonilureas y otros | 23 | 75 |
| Subtotal | | 60 |
| | | 385 |

(Continúa página siguiente)



| | Materias Activas | Productos comerciales |
|--|------------------|-----------------------|
| Acción edáfica | | |
| Preemergencia | 42 | 295 |
| Pre/ incorporación suelo | 10 | 67 |
| Acción mixta (foliar y edáfica) | 2 | 18 |
| Subtotal | 54 | 380 |
| Total | 114 | 765 |
| Insecticidas** | | |
| De aplicación foliar | 83 | 381 |
| De aplicación al suelo | 19 | 58 |
| Acaricidas | 20 | 124 |
| Feromonas*** | 13 | 13 |
| parasitoides/depredadores | 34 | 113 |
| Productos biológicos | 4 | 24 |
| Total | 173 | 713 |
| Fungicidas**** | | |
| Aplicación foliar/Amplio espectro | 40 | 468 |
| Aplicación foliar/antioídios | 28 | 114 |
| Biológicos | 2 | 2 |
| Aplicados al suelo | 12 | 25 |
| Total | 82 | 609 |

(Fuente: C.Liñán 2000 y Servicio de Sanidad Vegetal, 2000, Junta de Andalucía).

- ^ Las materias activas con uso ambivalentes se han ubicado en su uso más frecuente.
- * no se incluyen los herbicidas de especies acuáticas, ni los antidotos ni los prolongadores de la actividad herbicida.
- ** no se incluyen los cebos contra insectos y cebos helicidas
- *** comercializadas; se han sintetizados las fero hormonas de más de 200 especies de insectos la mayor parte todavía no comercializadas.
- **** no se incluyen los tratamientos de suelo ni los aplicados en post-cosecha



Foto 1. El número de productos fitosanitarios es muy elevado y de ahí la importancia de su distribución en las zonas agrícolas, que requiere cada vez una mayor profesionalización.

De contacto y selectivos. El bentazón y el ioxinil y bromoxinil son los representantes más importantes de esta familia. Controlan especies dicotiledóneas algo resistentes a hormonales; el bentazón se utiliza sobre todo en los cultivos de maíz, arroz, soja y guisantes, mientras que el ioxinil/bromoxinil se emplean con frecuencia en cereales de invierno en combinación con herbicidas hormonales.

Totales sistémicos. El amitrol fue introducido en la década de 1950-60, no selectivo, y una apreciable movilidad de la planta, lo que le confiere cierto control de especies perennes. El glifosato, derivado del aminoácido glicina (n-fosfono-metil-glicina), se comenzó a desarrollar sobre 1975, tiene un excelente poder de traslocación; muy activo contra especies perennes, en especial gramíneas y algo menos sobre dicotiledóneas. Su extremadamente baja ecotoxicología le hace un tratamiento compatible con cualquier uso medio ambiental.

Difenilesteres. Actúan como desorganizadores de membranas. El oxifluorfen y acifluorfen se desarrollaron en la década 1980-90. Con acción en postemergencia y más consistente en preemergencia. Se utilizan en cultivos anuales, horticolas y perennes



Sulfonilureas. La mayor parte de estos herbicidas se han desarrollado en los 10-15 años últimos. Son activos a muy bajas dosis; 5-30 g por hectárea. De muy variada eficacia, selectividad y persistencia en suelo. Se emplean en trigo y cebada, (clorsulfurón, tribenurón), arroz (bensulfurón), y soja (clorimurón), entre otros diversos cultivos.

Imidazolinonas: Familia reciente, en su mayor parte desarrollada en la última década. De acción vía foliar y edáfica, muestran una alta movilidad en la planta. El imazapir se utiliza como herbicida total para usos industriales. El imazaquin y el imazetapir muestran muy buena selectividad en leguminosas con actividad sobre diversas especies de malezas.

Bio(mico)herbicidas. Solo existen tres comercializados: *Colletotrichum gloeosporoides* "aeschynomene" (Collego, contra *Aeschynomene virginica* L.), *Colletotrichum gloeosporoides* "malvae" (Biomal, contra *Malva pusilla*) y *Phytophthora palmivora* (DeVine, contra *Morena odorata*). De alta especificidad y por consiguiente de uso muy restringido.

Tendencias de uso. En las últimas décadas se ha observado una tendencia a desarrollar herbicidas de acción en post emergencia, activos a dosis bajas, con poca o nula actividad en el suelo y en términos generales de baja toxicología. Se trata así de ir sustituyendo a los herbicidas de acción preferentemente a través del suelo, sobre todo los que requerían incorporación en el suelo. En el ámbito comercial son cada vez más abundantes los herbicidas compuestos o mezclas de varios herbicidas/ materias activas a fin de conseguir un mayor espectro de control.

El desarrollo creciente de las técnicas conservacionistas (siembra directa/ no laboreo, mínimo laboreo y cubiertas vegetales) propicia el uso de herbicidas de acción post-emergente (glifosato, sulfosato, glufosinato, en frecuentes mezclas con hormonales, sulfonilureas y otros) y por otro lado se reduce o elimina la aplicación de herbicidas con incorporación al suelo, considerados de mayor impacto ambiental.

Al margen de la polémica actualmente existente sobre la comercialización de cultivos genéticamente modificados, el desarrollo de cultivos con resistencia a determinados herbicidas (maíz y soja con resistencia al glifosato; remolacha y colza con resistencia al glufosinato; tabaco con resistencia al bromoxinil, entre otros muchos) desde el punto de vista del control de malezas/ uso de herbicidas, sin duda perfeccionará estas operaciones y propiciará el uso de herbicidas de postemergencia de muy bajo impacto medioambiental, que son en su mayor parte a los que se les ha introducido resistencia genética.

Se han detectado numerosos biotipos de muy diversas especies de malezas con resistencia a diversos herbicidas. Por este importante motivo, entre otros, se recomienda la rotación de herbicidas (uso de materias con diferente modo de acción) en años sucesivos a fin de prevenir principalmente la aparición de biotipos de malezas resistentes. Especial énfasis en la rotación de herbicidas se debe de tener en cuenta en áreas en las que predomine el monocultivo o una estrecha rotación de cultivos.

Tendencias en el uso de herbicidas

- Desarrollo de materias activas a bajas dosis y de muy bajo impacto ambiental
- Comercialización de herbicidas compuestos (combinación de varios herbicidas simples)
- Uso de herbicidas de postemergencia, eliminando los tratamientos de pre-siembra con incorporación al suelo.
- Efectuar rotaciones de herbicidas, para disminuir la aparición de malezas "de difícil control" o con cierta resistencia a herbicidas.
- Uso de herbicidas de postemergencia en cultivos en régimen de conservación (no laboreo/ siembra directa y cubiertas vegetales), con un menor uso de los de preemergencia.
- Aplicaciones "dirigidas de herbicidas" sobre rodales de malezas localizados mediante sistemas de posicionamiento vía satélite (GPS)
- Uso de herbicidas en post y de muy bajo impacto ambiental en cultivares con resistencia a herbicidas adquirida mediante ingeniería genética (OMG).

Tabla 2. Algunas familias de herbicidas de especial interés.

| Familias | Materias Activas | Año de introducción | aplicaciones/características | |
|-----------------------------|------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------|
| Triazinas | Simazina | 1958 | Olivo, maíz, | acción edáfica |
| | Metribuzin | 1973 | patatas | amplio espectro |
| | Cianazina | 1980 | soja, cereales | vida media 2-6 semanas |
| Hormonales | 2,4-D | 1945 | cereales, | post-emergentes |
| | MCPA, | 1950 | cereales, | Dicotiledóneas |
| | MCPP | 1960 | cereales, | vida media 1-2 semanas |
| | 2-4-DB | 1950 | leguminosas | |
| Antigramíneos | Diclofopmetil | 1978 | cereales, | acción en post |
| | Fluazifopmetil | 1985 | control de gramíneas en dicots | |
| | Sethoxidin | 1981 | control de gramíneas en dicots | |
| De contacto (no selectivos) | Diquat | 1958 | acción total | Desecantes |
| | Paraquat | 1960 | acción total | sin residuos en suelo |
| | Glufosinato | 1990 | acción total | sin residuos en suelo |
| De contacto (selectivos) | Bentazon | 1972 | dicots, monoct. | soja, maíz |
| | Bromoxinil | 1970 | dicots, monoct. | Cereals |
| Totales sistémicos | Amitrol | 1955 | no selectivos | acción en post |
| | Glifosato | 1975 | | control de perennes |
| | Sulfosato | 1989 | | sin residuos en suelo |

(Continúa página siguiente)



| Familias | Materias Activas | Año de introducción | aplicaciones/características | |
|------------------------|------------------|---------------------|-------------------------------|----------------------|
| Difenil ésteres | Oxifluorfen | 1975 | olivo, hortalizas, | dicots, gramíneas |
| | Acifluorfen | 1980 | post, arroz, soja, cacahuetes | dicots, gramíneas |
| Sulfonilureas | Clorsulfuron | 1982 | dicots, monocots. | cereales, soja, maíz |
| | Tribenuron | 1987 | amplio espectro | Cereales (trigo) |
| | Ciclosulfamuron | 1997 | arroz, otros cereales | Muy bajas dosis |
| Imidazolinonas | Imazaquin | 1984 | leguminosas, cereales | |
| | Imazapir | 1984 | Uso industrial | dicots,monots. |
| | Imazetapir | 1987 | leguminosas, cereales | dicots,monots. |
| | Imazamox | 1995 | Soja | dicots,monots. |

2.2. INSECTICIDAS.

Existe una larga tradición en el uso de insecticidas sintéticos en el control de animales e insectos-plaga. El número de insecticidas en uso en nuestros días es relativamente elevado. En España se utilizan actualmente unas 173 materias activas y 713 productos comerciales (SSV, 2000 y de Liñán 2000; Tabla 2.1).

El uso continuado de insecticidas ha dado lugar con frecuencia a la aparición de resistencia en los animales e insectos-plaga tratados reiteradamente con una misma materia activa. Por lo anterior, se reitera la conveniencia de usar estrategias de control integrado, entre los que incluye la rotación de diversas materias activas.

A continuación describimos brevemente algunas familias de insecticidas de especial interés (Tabla 1 y 3):

Hidrocarbano clorados: DDT y lindano son sus representantes más conocidos. Pueden considerarse como una primera generación de insecticidas. Están prohibidos desde hace años (1970-1980) en países desarrollados por su persistencia y posibles efectos adversos. No obstante, se siguen fabricando y usando localmente (Oerke et al. 1994) por su excelente eficacia. Es de esperar una regulación aún más estricta de estos insecticidas.

Organofosforados. Es el grupo de pesticidas más importante. A nivel mundial hay unos 75 compuestos de esta familia que actúan eficazmente de forma sistémica o a través del suelo.

Piretroides. Se han desarrollado posteriormente, desde 1976 en adelante. Son compuestos análogos a insecticidas naturales. No tienen una actividad sistémica. Los

primeros compuestos piretroides eran relativamente inestables. Los nuevos piretroides contienen solo el isómero activo, y algunos de ellos tienen actividad aplicados al suelo y un amplio espectro de acción.

Carbamatos. Son compuestos insecticidas de amplio espectro. Se usan principalmente como insecticidas de suelo para controlar poblaciones de insectos resistentes a los clorados hidrocarbonados y organofosforados. Su prolongada persistencia puede ser un serio problema en esta familia.

Benzoilureas. Son reguladores de crecimiento de insectos que inhiben el desarrollo de la larva. Actúan lentamente, por lo se combinan con otros insecticidas y suelen formar parte de programas de control integrado.

Otras familias (incluyendo las pirimidinas). Son productos biológicos que contienen *Bacillus thuringiensis*, los cuales muestran una actividad antagónica produciendo metabolitos tóxicos una vez que han sido ingeridos especialmente por los lepidópteros. Estos compuestos conjuntamente con las ferohormonas y hormonas juveniles componen un conjunto de agentes biológicos que se han desarrollado principalmente en las dos últimas décadas.

Tabla 3. Algunas familias de insecticidas de especial interés (Oerke et al. 1994, modificado)

| Familias | Materias Activas | Año de introducción | aplicaciones/características |
|-------------------------|----------------------|---------------------|---|
| Organofosforados | <i>Isophenfos</i> | 1971 | <i>insecticidas, nematicidas</i> |
| | <i>Pyraclafos</i> | 1989 | <i>Sistémicos, acción en suelo</i> |
| Carbamatos | <i>Aldicarb</i> | 1965 | <i>insecticidas, nematicidas</i> |
| | <i>Cloethocarb</i> | 1987 | <i>Amplio espectro, persistencia</i> |
| Piretroides | <i>Deltamethrin</i> | 1976 | <i>acciones de amplio espectro</i> |
| | <i>Cyfluthrin</i> | 1980 | |
| | <i>Cypermethrin</i> | 1983 | |
| | <i>Acinathin</i> | 1990 | <i>Acaricida, contacto, ingestión</i> |
| Benzoilureas | <i>Diffubenzuron</i> | 1977 | <i>Reguladores de crecimiento de insectos</i> |
| | <i>Teflubenzuron</i> | 1986 | |
| | <i>Clorfluazuron</i> | 1988 | |
| | <i>Flufenoxuron</i> | 1988 | |
| Pirimidinas | <i>Pirimicarb</i> | 1969 | <i>Afidos, diversos, cultivos</i> |

(Continúa página siguiente)



| Familias | Materias Activas | Año de introducción | aplicaciones/características |
|--------------|------------------|---------------------|------------------------------------|
| Otros | Amitraz B. | 1973 | Acaricidas |
| | B. thuringensis | | lepidopteros |
| | Clofentezine | 1983 | Insecticidas de amplio espectro |
| | Hexitiazox | 1985 | tretaníquidos Citricos, frutales |
| | Imidacloprid | 1991 | Amplio espectro |

2.3. FUNGICIDAS.

Se han sucedido varias generaciones. La primera se desarrolló a finales del siglo pasado con el uso de compuestos químicos inorgánicos. La segunda generación consistió en compuestos químicos orgánicos (ditiocarbamatos, y organotinas) que actuaban como protectores de la superficie vegetal. La tercera generación se basó en compuestos orgánicos con poder de penetración en los tejidos de la planta y por consiguiente poder para controlar las infecciones ya establecidas. Otras generación posterior consiste en diversos compuestos sin actividad fúngica in vitro pero que activan mecanismos intrínsecos de resistencia en la planta contra procesos de infección fúngica.

Actualmente se usan en España más de 80 materias activas y más de 600 productos comerciales con actividad fungicida (SSV, 2000 y de Liñán 2000; Tabla 1 y 4). A continuación se describen algunas características de familias de especial interés.

Fungicidas inorgánicos. Los compuestos de cobre y azufre se usan desde hace algo más de un siglo para prevenir el mildiu.

Ditiocarbamatos. Se desarrollaron en la década de 1930-1940 y todavía siguen siendo importantes como fungicidas protectores de frutas, vegetales y cereales. Los cloro-benzenos y oxobenzenos tienen una función similar en frutas, vegetales y viña. La característica más importante de los fungicidas protectores es su amplio espectro de acción y que bloquean diversas fases o estados del metabolismo fúngico. Por esto, con este tipo de fungicidas no cabe esperar, o solo con muy baja probabilidad de éxito, la aparición de patógenos resistentes aún cuando se apliquen repetidamente. Su uso, por consiguiente sigue siendo muy importante como tratamientos habituales, dado que no se han desarrollado posteriormente nuevas sustancias activas con similares características.

Guanidinas y compuestos organofosforados. La introducción de fungicidas sistémicos desde aproximadamente 1950 ha revolucionado el control de enfermedades fúngicas. Las guanidinas fueron los primeros fungicidas que se desarrollaron con poder de penetración en los tejidos de la planta y por consiguiente con cierto poder curativo. Dicha actividad sistémica es más pronunciada en los compuestos organofosforados. Fue particularmente importante el desarrollo de estos compuestos para



el control de *Pyricularia oryzae* en el cultivo del arroz (edifenfos). De forma similar el fosetil-al se muestra particularmente activo para prevenir y curar infecciones contra oomicetos.

Oxathilines y Pirimidinas. Ambos grupos de fungicidas incluye materias activas con un pronunciado poder de traslocación. Se utilizan principalmente para tratamientos de semillas. Las pirimidinas también pueden aplicarse para tratamientos de suelo y vía foliar.

Benzimidazoles. Supusieron en la década 1979-80 un avance importante en los herbicidas sistémicos, dado su específico mecanismo de acción. No obstante, debido a dicha especificidad pueden desarrollar poblaciones resistentes. No obstante esto ocurre ocasionalmente y puede prevenirse mediante combinación de benzimidazoles con otros fungicidas.

Fenilamides. Metalaxil es un potente agente sistémico que se desarrolló en 1977. Su uso resulta en un control selectivo de infecciones de oomicetos. Si bien se han detectado resistencias, pueden ser fácilmente superadas mediante combinación o rotación con otros fungicidas.

Imidazoles/ triazoles. Se han desarrollado varios en las últimas décadas y son actualmente los fungicidas con mayor cuota de mercado. Su importancia en el conjunto de fungicidas radica en su complementariedad de acción. Se caracterizan por su amplio espectro de acción al interferir la biosíntesis de la membrana de los hongos. Se pueden aplicar en las semillas de los cultivos (seed dressing, revestimiento de semillas) y en tratamientos foliares. Dada su fuerte actividad sistémica pueden usarse para prevenir, curar y aún erradicar las enfermedades. De forma similar a otros fungicidas, los problemas de resistencia a triazoles pueden ser superadas mediante combinación o rotación con otros fungicidas.

Morfolinas. Se usan principalmente en cereales, dada su baja selectividad en cultivos de dicotiledóneos (de hoja ancha). Tienen un amplio espectro de acción al igual que los triazoles, si bien su mecanismo de acción consistente en interferir la biosíntesis de la membrana de los hongos actúa sobre un proceso metabólico diferente.



Tabla 4. Algunas familias de fungicidas de especial interés (Oerke et al. 1994, modificado)

| Familias | Compuestos | Año de introducción | aplicaciones/características |
|------------------------------------|-----------------|---------------------|------------------------------|
| Organofosfatos | Edifenfos | 1968 | <i>Pycularia oryzae</i> |
| | Pyrazophos | 1974 | Mildiu |
| | Fosetyl-al | 1978 | oomicetos |
| Pirimidinas | Ethirimol | 1968 | Mildiu, tratamiento semillas |
| | Fenarimol | 1975 | Mildiu, mancha foliar |
| Morfolinas | Tridemorph | 1968 | Mildiu, , roya |
| | Fenpropimorph | 1981 | Mildiu, 1981 |
| | Fenfeopidin | 1986 | Mildiu, , roya |
| Benzimidazoles / tiofanatos | Tiofanato-metil | 1969 | Amplio espectro de acción |
| | Benomil | 1970 | Amplio espectro de acción |
| | Carbendazin | 1973 | Amplio espectro de acción |
| Dicarboximidias | Iprodione | 1972 | Mancha foliar, Sclerotinia |
| | Vinclozolin | 1972 | Sclerotinia spp |
| Imidazoles/ triazoles | triadimefon | 1976 | Mildiu, roya, mancha foliar |
| | Propiconazole | 1979 | Amplio espectro de acción |
| Fenilamidas | Metalaxil | 1977 | oomicetos |
| | Oxadixil | 1977 | oomicetos |
| Otros | Triciclazole | 1975 | <i>Pycularia oryzae</i> |
| | Probenazole | 1981 | <i>Pycularia oryzae</i> |
| | Fenpicónil | 1988 | <i>Botrytis</i> spp. |

3. EVOLUCIÓN DEL USO FITOSANITARIOS EN LA UE, ESPAÑA Y ANDALUCÍA.

Fitosanitarios vs. fertilizantes. El uso de los fitosanitarios ha crecido mucho en los países desarrollados en las últimas décadas. Han sido, conjuntamente con los nuevos cultivares mejorados genéticamente y los fertilizantes, los avances tecnológicos que más han contribuido a aumentar la producción de alimentos y a mejorar la calidad de vida de los agricultores. Desde la década de 1960 a la de 1990 los gastos de los países desarrollados en fitosanitarios han crecido considerablemente en comparación con los de los fertilizantes (Fig. 1). Así, en Gran Bretaña en dicho periodo los fertilizantes bajaron sobre un 25% sus ventas, porcentaje en el que crecieron los fitosanitarios.

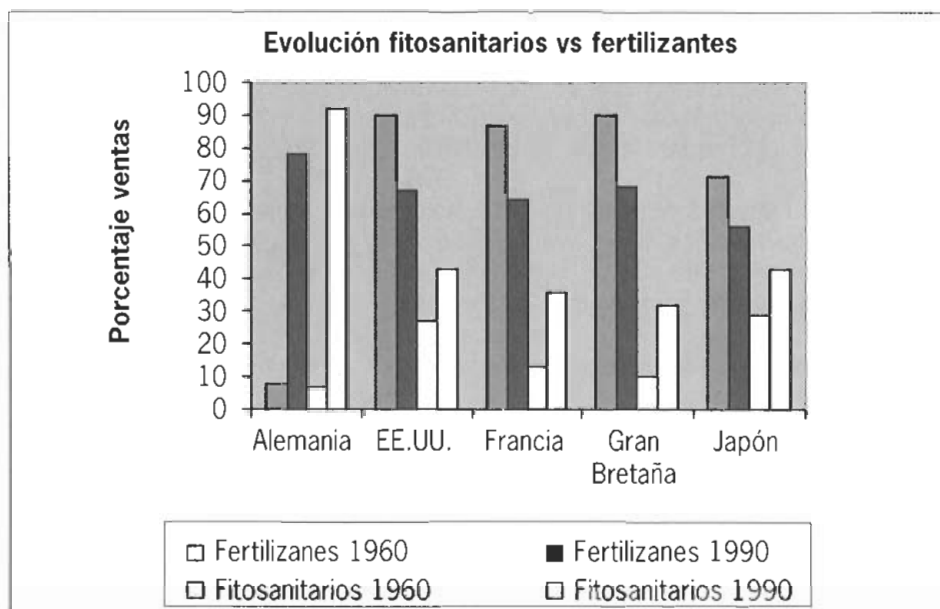


Figura 1. Gasto relativo en fitosanitarios y fertilizantes en países desarrollados (Fuente: FAO Statistical Yearbook; elaboración del autor; la inversión total en ambos insumos de cada país=100)

Inversión global en fitosanitarios. En la UE, como en otros países desarrollados, la utilización de fitosanitarios es una práctica aceptada en la agricultura, con una inversión media por hectárea cultivada que varía desde 25 €/ha (España) a 234 €/ha (Holanda) (Figura 2.; fuente: European Crop Protection Association, ECPA; 1996). El gasto medio de fitosanitarios por hectárea en diversos países de la UE se indica en la Figura 2. El uso de fitosanitarios en España en su conjunto es muy bajo en comparación con el de otros países europeos. No obstante, el consumo de fitosanitarios en España fue en 1999 de unos 87.000 millones de pesetas (excluyendo los fitoreguladores) (AEPLA, 1999).

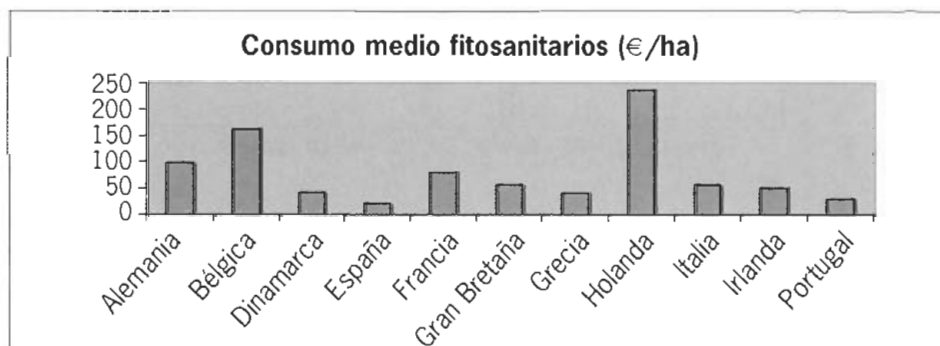


Figura 2. Consumo medio de fitosanitarios en diversos países de la UE. 1996 (en €/ha. Fuente ECPA, European Crop Protection Association, elaboración del autor).



Desarrollo de los fitosanitarios y dosis recomendadas. Conforme se han desarrollado nuevas familias de fitosanitarios se ha conseguido obtener materias activas eficaces a más bajas dosis (Tabla 1). Por lo anterior, en España, como en la mayoría de los países desarrollados, el consumo de fitosanitarios ha decrecido en las últimas décadas. Así, el consumo medio de fitosanitarios fue de 2.65 kg/ ha de materia activa en 1988 y de solo 1.54 kg/ ha en 1995 (Roy, 1998). Debe de significarse que el menor consumo de estos productos no conlleva un menor uso de los mismos (número de operaciones de control o aplicaciones de fitosanitarios por unidad de superficie); simplemente que los fitosanitarios que se usan hoy día requieren ser aplicados a menor dosis que hace unas décadas.

De forma similar, conforme ha evolucionado el desarrollo de productos fitosanitarios el impacto toxicológico de los mismos (IT, ratio entre la dosis oral agua y la dosis recomendada) ha ido disminuyendo muy considerablemente (BCPC, 1996 y WSSA, 1994 y 1998; Fig. 3).

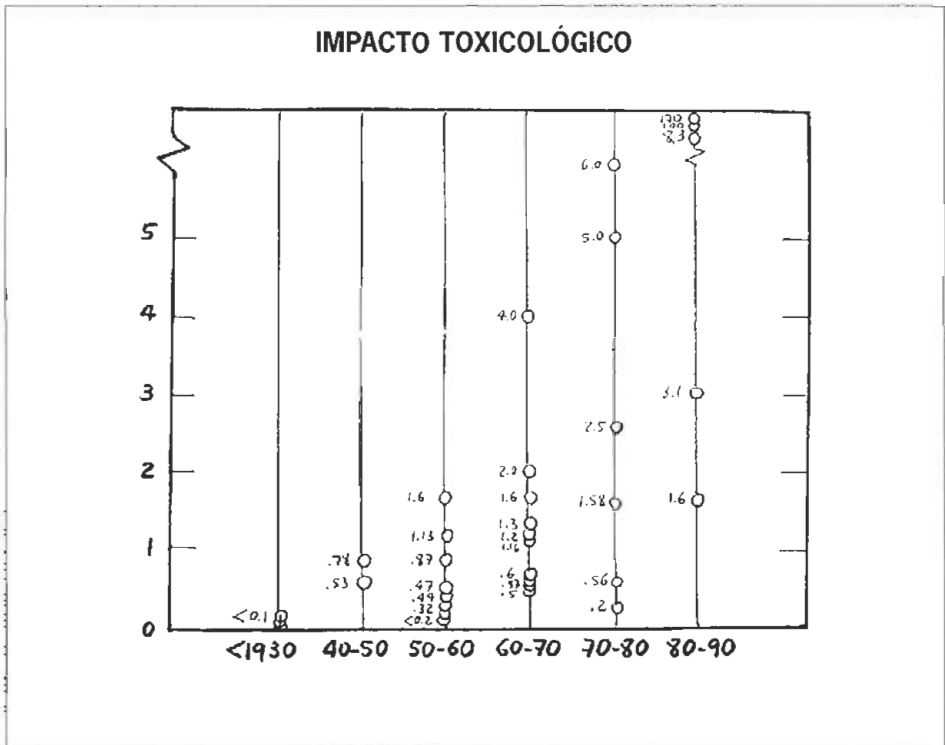


Figura 3. Evolución del impacto toxicológico (ratio entre la dosis oral agua, DL50 en g/ kg, y la dosis recomendada, kg/ ha) de fitosanitarios (herbicidas) desarrollados en diversas décadas (Fuente: *Pesticide Manual*, British Crop Protection Council y *Herbicide Handbook*, Weed Science Society of America, 1994).

Uso comparativo de herbicidas, insecticidas y fungicidas. En la mayoría de los países desarrollados el uso (ventas) de herbicidas ha crecido considerablemente en relación al de insecticidas y fungicidas en las últimas décadas, y ahora es considerablemente superior. Así, en Alemania, el gasto comparativo en herbicidas, fungicidas e insecticidas en 1997 fue del 57%, 31% y 9%, respectivamente (Figura 4). En España, en 1999 el consumo total de fitosanitarios (excluyendo los fitoreguladores) el 34% correspondieron a herbicidas, el 30% a insecticidas, el 23% a fungicidas y el resto a acaricidas (3.5%), nematocidas (4.6%) y varios (AEPLA, 1999).

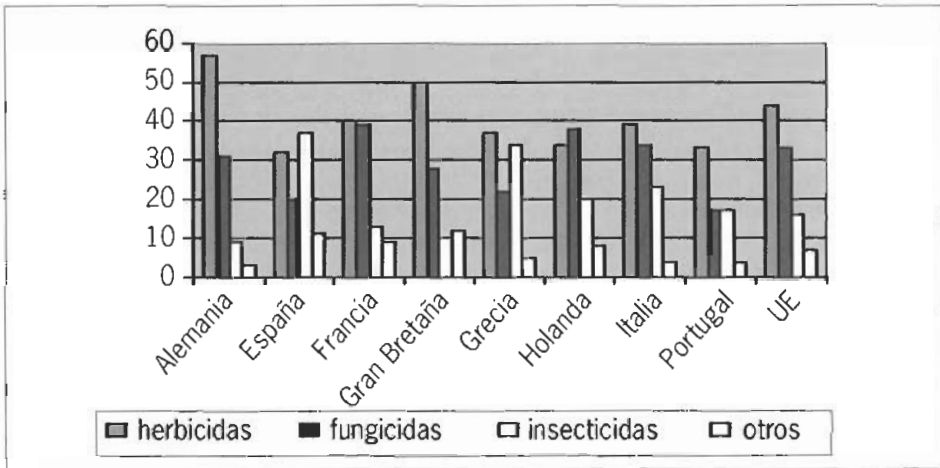


Figura 4. Consumo de herbicidas, fungicidas e insecticidas en diversos países de la UE.1996 (en porcentaje, total = 100; Fuente ECPA, 1996).

Tabla 5. Dosis de aplicación de herbicidas, insecticidas y pesticidas de «viejas» y «nuevas» familias.

| Grupo fitosanitario | Familia | Inicio de su uso | Dosis aprox. (g/ ha) |
|----------------------|-----------------|------------------|----------------------|
| Herbicidas | | | |
| EPTC | Tiocarbamatos | 1960 | 3.500 |
| Alacloro | Cloroacetamida | 1970 | 3.000 |
| Fluazifop | Antigramíneos | 1990 | 100 |
| Imazetapir | Imidazolinonas | 1987 | 100 |
| Imazamox | Imidazolinonas | 1997 | 40 |
| Sulfosuron | Sulfoniureas | 1995 | 30 |
| Carfentrazone | Aril triazinona | 1995 | 15 |
| Rimsulfuron | Sulfonitúrea | 1992 | 10 |
| Insecticidas | | | |
| Aldicarb | Carbamato | 1965 | 2.500 |
| Diflubenzuron | Benzoil ureas | 1977 | 100 |
| Deltametrin | Piretroide | 1985 | 20 |

(Continúa página siguiente)



| Grupo fitosanitario | Familia | Inicio de su uso | Dosis aprox. (g/ ha) |
|---------------------|----------------|------------------|----------------------|
| Fungicidas | | | |
| Mancozeb | Ditiocarbamato | 1960 | 1.200 |
| Carbendazim | Benzimidazole | 1974 | 250 |
| Difconazole | Triazole | 1991 | 100 |

Uso de fitosanitarios en España y Andalucía. El consumo de fitosanitarios es muy desigual entre las diversas regiones de España, según condiciones climáticas y/ o tipos de agriculturas. Así, mientras que el consumo medio por hectárea promediando las diferentes regiones españolas fue de 22 €/ha en 1994, en Canarias fue de 169 €/ha, en la “franja mediterránea” (autonomías de Cataluña, Valencia, Murcia y la provincia de Almería, excluyendo Baleares) de 71 €, en las otras provincias de Andalucía (no incluyendo Almería) de 21 €/ha, y en Baleares de solo 14 €/ ha. (tomado de García Baudín, 1998). En la referida “franja mediterránea” el consumo total de pesticidas fue parecido al de los países centroeuropeos (71 €/hectárea y año; siendo en ésta predominante el uso de insecticidas (45%) en relación al del fungicidas y herbicidas (aproximadamente un 20% para cada una de estas clases de fitosanitarios). En concreto, en Andalucía, el uso de fitosanitarios en 1999 representó el 31.1% de España (excluyendo los fitoreguladores) (AEPLA, 1999).

Por otro lado, en España el consumo comparativo de insecticidas, herbicidas y fungicidas varía muy considerablemente según regiones. Así, en la “franja mediterránea” el consumo de insecticidas es comparativamente el predominante (45%) y, al contrario, en el resto de España los herbicidas son mas frecuentemente usados que los insecticidas y fungicidas (García Baudín, 1998).

Uso de fitosanitarios y sectores productivos. En España, hortalizas y cítricos son los cultivos en los que más se usan fitosanitarios por unidad de superficie. Dichos sectores representan solo el 3.5% de la superficie agrícola española y consumen un 41% de las ventas de fitosanitarios de España y un 58% de los insecticidas, acaricidas y nematocidas (García Baudín, 1998). Aún más evidente es la concentración del uso de fitosanitarios en los cítricos y cultivos hortícolas protegidos: ambos solo alcanzan un 1.7% de la superficie agrícola española y en ellos se invierten el 29% de los fitosanitarios (en su mayor parte insecticidas y fungicidas). El uso de fitosanitarios en cultivos extensivos anuales y perennes (cereales, oleaginosas, olivo, y vid) es comparativamente mucho más bajo que en cultivos de cítricos y de hortalizas.

4. GARANTÍA SANITARIA Y ECOTOXICOLÓGICA.

La garantía o seguridad del uso agronómico y medioambiental de los productos fitosanitarios se basa principalmente en el cumplimiento de las regulaciones administrativas a las que se somete su aprobación. En España, la aprobación y regulación administrativa del uso de los productos fitosanitarios ha correspondido durante muchos años y aún le sigue correspondiendo al Registro de Productos Fitosanitarios de la Dirección General Agricultura del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, previo informe de la Comisión de Evaluación de Productos Fitosanitarios constituida conjuntamente con otros departamentos de ese Ministerio y de los Ministerios de Sanidad, Consumo, Trabajo, Asuntos Sociales, Medio Ambiente y Educación.

En dicho proceso de aprobación de uso se requieren muy diversos y complejos informes sobre aspectos agronómicos, toxicológicos, ambientales, y analíticos (Tabla 6). Dichos informes deben ser suministrados por las empresas interesadas en el registro de los productos fitosanitarios y supervisados por comisiones de expertos de los referidos departamentos ministeriales.

Tabla 6. Estudios toxicológicos normalmente exigidos para el registro de fitosanitarios.

| En mamíferos | Estudios similares en otros organismos |
|--|---|
| Toxicidad aguda | Gallináceas, anseriformes, (Toxicidad aguda, crónica, y tópica) |
| DL50 oral | Peces salmónidos y ciprínidos y diversa fauna acuática (Toxicidad aguda, crónica, y tópica) |
| DL50 dérmica | Abejas y otros insectos útiles |
| DL50 inhalación | |
| Irritación mucosas, ojos, y similares | |
| Subagudos (de mediana duración) | (Toxicidad aguda, crónica, y tópica) |
| Absorción piel | Fauna del suelo (lombrices, insectos, otros) |
| Alimentación oral 90 días | (Toxicidad aguda, crónica, y tópica) |
| Alimentación 4 meses/ 2 especies | Microorganismos de suelo |
| De larga duración | |
| Teratogénicos | |
| Carcinogénicos | |
| Mutagénicos | |
| Neurotoxicidad | |
| Alimentación crónica, | |
| Niveles sin efecto (NSE) | |
| Ingestión diaria admisible (IDA) | |



En definitiva, previamente a la aprobación de uso de cualquier producto fitosanitario, deberá proveerse de información científico-técnica que garantice: a) que no produce efectos nocivos para la salud humana; b) que no causa repercusiones inaceptables para el medio ambiente (suelo, aguas, fauna, flora, atmósfera); y c) que los posibles residuos resultantes de su aplicación en alimentos y aguas de escorrentía o subterráneas no tengan efectos nocivos para la salud humana y animal. Las condiciones técnicas de uso que se recogen en la etiqueta son una garantía de lo anterior.

4.1. EL REGISTRO UNICO EUROPEO DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS.

La Unión Europea ha tratado de armonizar y unificar las legislaciones nacionales de uso y comercialización de productos fitosanitarios a través de la directiva del Consejo de la Comunidad Europea 91/414/CEE de 15.julio.1991, por la que se estableció el llamado Registro Unico Europeo. En este nuevo sistema se condiciona la comercialización de cada uno de los productos a la previa obtención de una autorización oficial, al igual que ya ocurría en cada uno de los Estados miembros.

Dada la diversidad de agriculturas y consiguientes escenarios medioambientales que existen en la UE, la aprobación del uso de un determinado fitosanitario es en cierto modo una tarea compartida por la administración central europea y las administraciones nacionales y regionales. En dicho proceso de aprobación hay dos fases bien definidas:

- 1) **Aprobación de las Materias Activas de Productos Fitosanitarios ("Lista Positiva Unica")**. Corresponde a la UE y es aplicable a todos los Estados Miembros. De esta forma se asegura que las materias/ ingredientes activos de los productos fitosanitarios, que son, como su nombre indica, los elementos esenciales por los que llegan a ser activos y en términos generales los de mayor trascendencia agronómica y medioambiental, han sido objeto de un riguroso y uniforme proceso de estudio y aprobación, aplicable para el conjunto de los Estados de la UE.

La aprobación de uso de sustancias activas fitosanitarias, o sea su inclusión en la referida Lista Unica Positiva se basa en que su ingesta diaria admisible (IDA, Fig. 5), la estimación de su persistencia o difusión en el medioambiente y su repercusión en la fauna en las condiciones normales de uso, conforme a las denominadas "buenas prácticas agrícolas".

- 2) **Registro de Productos Fitosanitarios Comerciales**. En el ámbito europeo se ha establecido la obligatoriedad de que las materias activas de cualquier producto fitosanitario comercial deben de estar previamente incluidas en base a sus bondades agronómicas y medioambientales, en la antes referida "Lista Positiva Unica". Por otro lado, la UE también ha establecido el Sistema Unico de Registro, aplicable a cada Estado miembro, por el que cada uno de estos debe de llevar a cabo la aprobación de los productos fitosanitarios ya formulados comercialmente.

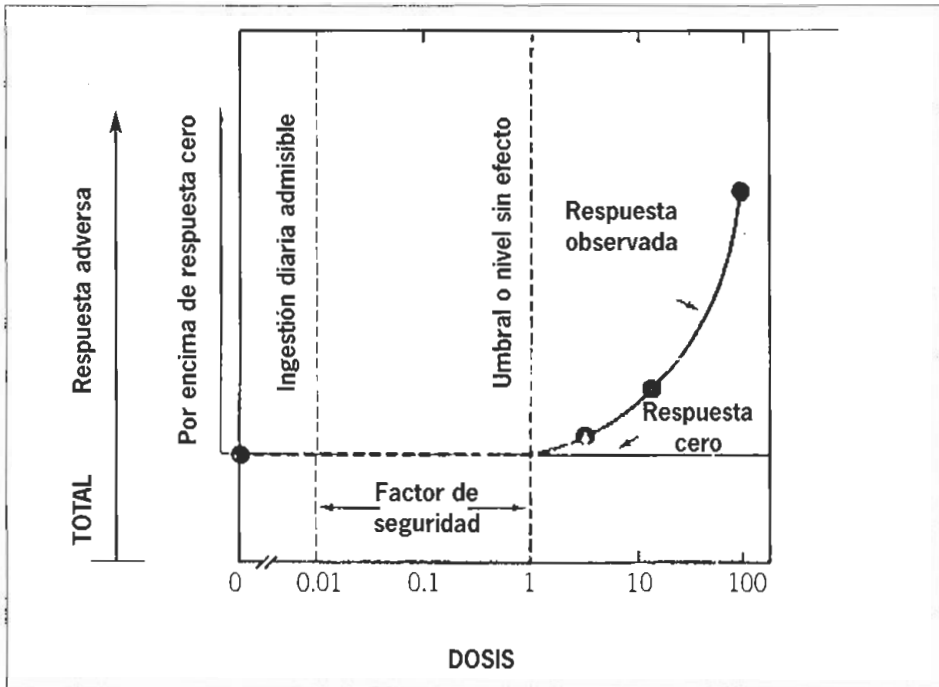


Fig. 5. Esquema de la determinación del Nivel Sin Efecto (NSE), Factor de Seguridad (FS, normalmente = 100), e Ingestión Diaria Admisible (IDA) de cualquier sustancia fitosanitaria a efectos de caracterizar su comportamiento toxicológico (adaptado del CAST, 1987).

2) **Registro de Productos Fitosanitarios Comerciales.** En el ámbito europeo se ha establecido la obligatoriedad de que las materias activas de cualquier producto fitosanitario comercial deben de estar previamente incluidas en base a sus bondades agronómicas y medioambientales, en la antes referida "Lista Positiva Unica". Por otro lado, la UE también ha establecido el Sistema Único de Registro, aplicable a cada Estado Miembro, por el que cada uno de estos debe de llevar a cabo la aprobación de los productos fitosanitarios ya formulados comercialmente.



Requisitos del Sistema Unico de Registro Europeo

- a) Reconocimiento mutuo de las actuaciones de los Estados miembros. A través de esta directiva europea se establece que toda autorización de uso de un determinado producto fitosanitario por un Estado miembro debe de ser reconocido por los demás, si bien estos pueden añadir cláusulas de salvaguarda adecuadas.
- b) Obligatoriedad de intercambiar información científico-técnica entre Estados miembros sobre las autorizaciones concedidas por un Estado Miembro.
- c) Obligatoriedad de ejecución de programas de control de comercialización de los productos fitosanitarios por cada uno de los Estados Miembros.
- d) Continuidad de la revisión de las sustancias activas y de productos formulados aún cuando hayan sido previamente aprobados, siempre que se disponga de nueva información sobre los mismos o las circunstancias de uso así lo aconsejen.
- e) Existencia de métodos de análisis de residuos y establecimiento previo de LMRs.

4.2. DEGRADACIÓN Y RESIDUOS DE LOS FITOSANITARIOS. LÍMITES MÁXIMOS TOLERADOS.

Las materias activas de los productos fitosanitarios al ser moléculas orgánicas están sujetas a procesos de degradación. Estos son de variable velocidad según características intrínsecas de cada molécula y producto vegetal. Desde el momento de su aplicación la concentración del producto fitosanitario va decreciendo (Fig. 6) y en el momento de la cosecha o consumo su concentración remanente o residuos debe de ser inexistente o estar por debajo de los límites establecidos. De esta forma se garantiza su inocuidad para la salud del consumidor.

En efecto, de acuerdo con la legislación vigente los productos vegetales solo se deben comercializar si su contenido en residuos de productos fitosanitarios es inferior a los límites que se establecen. A estos se les conoce con el nombre de límites máximos de residuos (LMR), y deben de especificarse para cada producto fitosanitario y cultivo.

Los LMR se establecen con un amplio margen de confianza o seguridad (fig.6), de tal forma que hay amplias garantías de seguridad alimentaria siempre que los productos vegetales no los sobrepasen. En definitiva los LMR deben de ser muy infe-

riores a las cantidades admisibles de ingestión del producto fitosanitario de que se trate de acuerdo con sus características toxicológicas ("ingestión diaria admisible", IDA). Los LMR se establecen pues de acuerdo con las características toxicológicas del producto, las cantidades de ingestión de alimentos por personas o animales y también conforme a las "buenas prácticas agrícolas" (aplicación del producto a las dosis y fases del cultivo recomendadas, y plazos de seguridad hasta la recolección del mismo, entre otras).

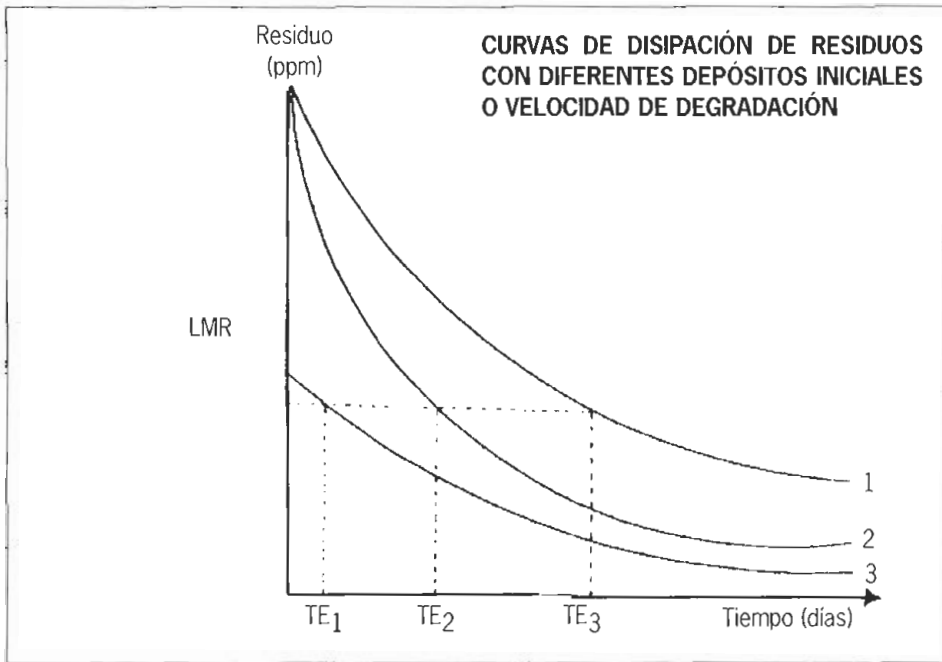


Figura 6. Curvas de degradación de residuos con diferentes depósitos iniciales o velocidad de degradación.

El establecimiento de los LMR de alguna forma condiciona la estrategias de protección/ terapéutica vegetal a fin de conseguir que la materia activa fitosanitaria o alguno de sus metabolitos no deseables se encuentren en concentraciones inferiores a los LMR establecidos. Lo anterior particularmente afecta a los productos fitosanitarios de lenta velocidad de degradación, de aplicación en fase tardía del ciclo vegetativo del cultivo o post- cosecha

En la Tabla 7 se indican algunas LMR establecidos en diversos países, en los que se aprecia cierta discrepancia de criterios. La Unión Europea intenta armonizar diversos criterios sobre LMR entre los países miembros (Directiva CEE 1991/414, 1997/41, y otras). A nivel mundial la Comisión Codex Alimentarius FAO/OMS publica anualmente listas de LMRs internacionalmente recomendadas.



Tabla 7. Límites máximos de residuos (LMRs, ppm) establecidos en varios países para diversos fitosanitarios (tomado de Coscollá, 1998).

| Países | Fentión en cítricos | Clozolinato en uva de mesa | Flucitrinato en pimienta |
|-----------|---------------------|----------------------------|--------------------------|
| Alemania | 1 | 0.01 | - |
| Bélgica | 0.05 | - | 0.5 |
| Dinamarca | 0.2 | - | - |
| España | 0.5 | 3 | 0.5 |
| Francia | 0.2 | 5 | - |
| Finlandia | 1 | - | - |
| Holanda | 0.05 | - | 0.02 |
| Italia | 0.3 | 5 | 1 |
| Suiza | - | 0.1 | 0.3 |

4.3. PROGRAMAS DE VIGILANCIA DE RESIDUOS FITOSANITARIOS EN LOS ALIMENTOS.

Se llevan a cabo regularmente en desarrollo de diversas directivas de la CEE 1990/642 para frutas y hortalizas, y de 1986/362 para cereales, entre otras. Debe de significarse que el número de muestras que se toman es necesariamente muy reducido. Además, los métodos de análisis "multiresiduos" que se llevan a cabo, sin bien cada vez más precisos, van encaminados principalmente a detectar solo algunas materias activas, aquellas precisamente que por sus menor velocidad de degradación, aplicación mas frecuente y/ o aplicación en fase tardía del desarrollo de un determinado cultivo hay mayores posibilidades de detectar residuos.

El programa español de seguimiento de residuos llevado a cabo entre 1993 y 1996 en el que se toman unas 3000 muestras por año, ha puesto de manifiesto que un 36% de las muestras contenían residuos de algún producto fitosanitario, si bien sólo 2.8% de dichas muestras superaba el LMR correspondiente (Coscollá, 1998). Datos complementarios sobre este tema relativos a frutas y hortalizas se indican en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados de los análisis de residuos de fitosanitarios en frutas y hortalizas en relación a LMR establecidos (Programa de Residuos español, 1996; tomado de López de Sagredo, 1998).

| | % muestras sin residuo (< límite detectado) | % muestras con residuo (< 50% límite detectado) | % muestras con residuo (50%-100% LMR) | % muestras con residuo > LMR) |
|--|---|---|---------------------------------------|-------------------------------|
| Frutas | 42 | 54% | 2.9% | 0.7% |
| Hortalizas | 76 | 19% | 2.6% | 2.4% |
| Otros productos Vegetales | 98 | 0.5% | 0.5% | 0.5% |
| Tótal | 60% | 36 | 2.6 | 1.4% |
| Sin residuo o residuo inferior al 50% LMR | 96% | | | |

* En total 3022 muestras

De forma similar, del Informe Anual 1997 del Programa de Residuos de Fitosanitarios llevado a cabo por el Departamento de Agricultura de EE.UU., conjuntamente con la Agencia de Medio Ambiente (EPA) y otros organismos de ese país (USDA, 1999) cabe destacar los datos siguientes:

- a) Se detectaron residuos de productos fitosanitarios en los siguientes porcentajes de muestras: frutas y vegetales 57% (sobre un total de 8177 muestras), leche 15% (732 muestras), trigo 80% (623 muestras) y soja 87% (159 muestras).
- b) No obstante, sólo un 5% de las muestras (412 sobre un total de 8177 muestras) presumiblemente violaban las disposiciones vigentes sobre el contenido máximo de residuos permitidos. No obstante, en definitiva, de estas 412 muestras solo un 1% de las mismas (o sea solo 4) sobrepasaban los límites máximos de residuos establecidos por la Agencia del Medio Ambiente americana. El resto de las muestras tenían niveles de determinados residuos cuyos límites máximos tolerados no habían sido establecidos por el EPA en los productos/ cultivos muestreados.

De los residuos detectados en los Programas de Residuos referidos, la mayor parte corresponde a insecticidas y fungicidas de aplicación en fase tardía del cultivo (Tabla 4.1). La detección de residuos de herbicidas es prácticamente inexistente. Así, en el referido programa de residuos de EE.UU., no se detectaron residuos de los diversos herbicidas analizados (atrazina, diuron, etalfluoralina, linurón, oxifluorfen, simazina, y trifluralina) en frutos y hortalizas, con la excepción del DCPA que se detectó en sólo el 0.3%. De forma similar, las detecciones de herbicidas (diclofopmetil, linurón, trialato y trifluralina) en trigo fueron nulas excepto en el caso de la atrazina que se detectó en solo un 1.5% las muestras (USDA. 1999).



Por todo lo anterior se puede afirmar que los residuos o trazas de fitosanitarios no representan un riesgo aparente para la salud de los consumidores, dado que la mayoría de las muestras en las que se detecta residuos sus concentraciones están por debajo de los límites establecidos (LMR) y estos se determinan con unos elevados límites de confianza/ seguridad (Figura 6).

Por otro lado, la detección de residuos de una sustancia fitosanitaria/ pesticida en un producto vegetal se debe muy posiblemente a haberlo aplicado al margen de las condiciones exigidas en su etiqueta (marco legal de aprobación/ uso del mismo). Por ejemplo, a dosis superiores de las recomendadas, fuera del plazo de seguridad (tiempo mínimo exigido entre tratamiento y recolección) o simplemente haberlo aplicado en cultivos no autorizados.

En definitiva, no es deseable la presencia de sustancias activas de productos fitosanitarios o de sus metabolitos (productos de descomposición) en los alimentos. No obstante, estos suelen ocurrir con cierta frecuencia, si bien a unas concentraciones muy bajas que no afectan a la salud del consumidor. Se puede pues afirmar que hay suficientes garantías para el consumidor. Por otro lado, debe de recordarse que los medios de comunicación no especializados tratan frecuentemente con ligereza este tema, desinforman y a veces incluso llegan a alarmar a la opinión pública.

Tabla 9. Principales residuos detectados en los Programas de Residuos Fitosanitarios de España y EE.UU (Fuentes: Coscollá 1998 y USDA 1998).

| España | EE.UU.* | EE.UU.* |
|---------------------|---------------------|--------------------|
| Insecticidas | Insecticidas | Fungicidas |
| Acefato | Acefato | Bénomil |
| Metamidafos | Azinfos metil | Clortalonil (1.3%) |
| Endosulfan | Carbaril (6%) | O-fenilfenols (5%) |
| Clorpirifos | Dicloran (4%) | Tiabendazole (11%) |
| | Dieldrin (5%) | Vinclozolin (2.0%) |
| Fungicidas | Dimetoato (4%) | |
| Clortalonil | Endolsufan (6%) | |
| | Metamidofos (9%) | |
| | Permethryns (8%) | |
| | Fosmet (3%) | |

* Mas de 6000 muestras de frutas y hortalizas. Entre paréntesis se indica el porcentaje de muestras en la que se detectaron residuos.

Disposiciones/ normativa española sobre LMR

Real Decreto 280/ 1994, (BOE 0-3-1994)
 Orden Presidencia 27.02.1996, (BOE 05.03.1996)
 Orden Presidencia 05.12.1996, (BOE 11.12.1996)
 Orden Presidencia 26.08.1997, (BOE 6.09.1997)
 Orden Presidencia 25.09.1997, (BOE 2.10.1997)
 Orden Presidencia 14.05.1998, (BOE 25.05.1998)
 Orden Presidencia 31.05.1999, (BOE 04.06.1999)
 Orden Presidencia 03.03.2000, (BOE 08.03.2000)
 Orden Presidencia 14.03.2000, (BOE 24.03.2000)
 Orden Presidencia 12.04.2000, (BOE 15.04.2000)

5. TENDENCIAS EN LA AGRICULTURA AL USO DE FITOSANITARIOS.

5.1 AGRICULTURA ECOLÓGICA/ BIOLÓGICA/ ORGÁNICA.

En este tipo de agricultura por definición no se usan fitosanitarios ni fertilizantes de síntesis. Es pues una agricultura para agricultores y consumidores que no desean en absoluto residuos de productos fitosanitarios. No obstante debe de reseñarse que los bajísimos niveles de residuos de la agricultura convencional no afectan a la salud de los consumidores, hechos fundamentados en ingentes estudios científicos; y de ahí que se presuponga que los alimentos convencionales pueden afectar negativamente a sus consumidores, sin llegar a discriminar que tipo de daños ni que fitosanitario específico entre el elevado número y diversidad de los mismos. El beneficio de la duda siempre es permisible. La opción de los ciudadanos a elegir sus alimentos siempre debe de reconocerse. Como en cualquier otra actividad humana, la ausencia de riesgo o "riesgo cero" en uso de los fitosanitarios y fertilizantes no existe, si bien como se ha tratado antes existen tremendas garantías en su uso.

La desventaja real de la agricultura ecológica/ orgánica es la carencia de los bloques tecnológicos (fitosanitarios, fertilizantes) sólidamente desarrollados. Dicha carencia hace que, en términos generales, sea menos productiva.

La agricultura ecológica/ orgánica es muy minoritaria en los países de la Unión Europea y en España en particular. No obstante esta respaldada por UE y forma parte de sus programas medioambientales (Reglamento CEE 2091/ 1991 y Real Decreto 759 de 1988).



Foto 2. Las trampas con atrayente sexual para el seguimiento de los adultos de la polilla del olivo (*Prays oleae*) son una herramienta importante de las ATRIA's (Agrupaciones para el Control Integrado) del olivar; (cortesía del Dr. M. Civantos).

5.2 PRODUCCIÓN INTEGRADA.

Desde la década de 1960-70 se llevan a cabo acciones para racionalizar (disminuir) el uso/ aplicación de insecticidas, que en principio fue desproporcionado. Se basa en el conocimiento de la biología y dinámica de poblaciones de los insectos- plaga en relación a las condiciones climáticas previsibles y en la determinación de los umbrales de población de cada insecto- plaga que justifica aplicar un tratamiento insecticida. Así se pueden predecir problemas y tomar soluciones más adecuadas. Esto dio origen al llamado *control integrado de plagas*.



Los esfuerzos llevados a cabo en este sentido por los entomólogos se extrapolaron de alguna forma al control de malezas y enfermedades dando así origen al término de *protección integrada*, que en su conjunto trata de economizar y hacer que el uso de los fitosanitarios sea más compatible con el medio ambiente (umbrales, aplicación en momentos adecuados del cultivo, elección adecuada del fitosanitario, plazos de espera, entre otros).

De forma similar, se trata ahora de llegar a la *producción integrada* en la que se integran además de los fitosanitarios otros medios de producción (riego, fertilizantes, diversas operaciones de cultivo). El fin perseguido es similar: racionalizar/ economizar los medios de producción sobre la base de los conocimientos existentes y tratar mejor los recursos naturales (suelo, agua, aire). Obviamente la racionalización de los medios de producción en esta nueva agricultura es muy positivo.

En España, diversas administraciones están haciendo a este respecto un considerable y plausible esfuerzo, elaborando diversos reglamentos específicos que definen, para cada cultivo o grupo de cultivo, los requisitos u operaciones mínimos para ser considerados dentro del marco de producción integrada. También se intenta que dichas buenas prácticas de cultivo tengan un reconocimiento y aceptación pública a efectos comerciales, de forma similar a lo que ocurre en la agricultura ecológica.

En Andalucía se han publicado los reglamentos específicos de Producción Integrada de Fresas, Olivar, Arroz, Tomate bajo abrigo, Calabacín bajo abrigo, Melón bajo abrigo, Sandía bajo abrigo, Cítricos y Frutales de hueso.

5.3. AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN.

También denominada no laboreo/ siembra directa, mínimo laboreo y cubiertas vegetales. Está sólidamente desarrollada en países como EE.UU. (> 21 M ha de siembra directa), Argentina (> 8 M ha) y Brasil (> 12 M de ha), entre otros. Es la opción sólida para conservar nuestros recursos naturales (suelo, agua, biodiversidad), sobre todo en países como España y en particular Andalucía con un porcentaje alto de suelo agrícola con moderado o alto riesgo de erosión.

Este tipo de agricultura exige una verdadera revolución en sus operaciones agrícolas. Desaconseja el laborear el suelo, sobre todo las operaciones de inversión del perfil del suelo (vertedera, grada de discos, rotavator). Por otro lado, también se modifica muy apreciablemente el uso de fitosanitarios y fertilizantes. En particular en lo que se refiere a herbicidas el cambio es marcadamente hacia el uso de herbicidas de post-emergencia de escasa o nula acción edáfica y de muy bajo impacto ambiental, en detrimento de herbicidas "viejos" de aplicación mecánica en suelos e incluso de aplicación en pre-emergencia.



Foto 3. Los fitosanitarios, y en particular los herbicidas son parte esencial para llevar a cabo las técnicas conservacionistas (siembra directa) mucho más compatible con las buenas prácticas medioambientales

5.4. USO DE CULTIVARES TRANSGÉNICOS.

El desarrollo de cultivares genéticamente modificados alterará sensiblemente el uso de fitosanitarios. En particular, la introducción de cultivares con resistencia a determinados insectos-plaga disminuirá considerablemente la aplicación de insecticidas. Este es el caso de los cultivares ya obtenidos de maíz (*Zea mays*) y algodón (*Gossypium hirsutum*) con resistencia a diversos lepidópteros plaga (taladro) mediante la incorporación de un gen de la bacteria *Bacillus thuringiensis*.

Por otro lado, la introducción de cultivares con resistencia a determinados herbicidas (Tabla 10) producirá un cambio considerable en el mercado de estos fitosanitarios. Obviamente aumentará el consumo de aquellos herbicidas a los que se le ha introducido resistencia genética (glifosato, glufosinato, bromoxinil, sulfonilureas), los cuales se usan en postemergencia, tienen actividad foliar y son en términos generales de bajo impacto ambiental. Lo anterior, además, irá en detrimento del uso de "viejos" herbicidas de aplicación al suelo y de mayor impacto ambiental. Por otro lado, el uso de cultivares con resistencia a herbicidas permitirá alcanzar mayores cotas de eficacia en el control de malezas y de esta forma aumentar la producción.

Tabla 10. Cultivares transgénicos con resistencia a herbicida (WSSA, 1998).

| Cultivos | Herbicida | Empresa y año de introducción comercial |
|--|----------------|--|
| Colza (<i>Brassica napus</i>) | Bromoxinil | Rhone Poulenc, UE, 1995 |
| | Glufosinato | AgrEvo, UE, 1995 Canadá, 1995 |
| | Glifosato | Monsanto, Canadá, 1995 UE, 1998 |
| Alfalfa (<i>Trifolium repens</i>) | Bromoxinil | CSIRO, Australia, 2001 |
| Maíz (<i>Zea mays</i>) | Glufosinato | AgrEvo, EE.UU., 1997 |
| | Glifosato | Monsanto, USA 1998 DeKalf G., Canadá, 1998 |
| | Imidazolinones | Varias, USA, 1997, Australia 1999 |
| | Sethoxidim | BASF, DeKalb, EE.UU 1997, Brasil 1997 |
| Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>) | Bromoxinil | Rhone Poulenc, Calgene EE.UU., 1997 |
| | Glufosinato | AgrEvo, EE.UU., 2000 |
| | Glifosato | Monsanto, EE.UU., 1997 |
| | Sulfonilureas | Dupont, EE.UU., 1997 |
| Arroz (<i>Oryza sativa</i>) | Glufosinato | AgrEvo, EE.UU., 2001 Asia 2001 |
| Soja (<i>Glycine max.</i>) | Glufosinato | AgrEvo, EE.UU., 1998 Brasil 1999 |
| | Glifosato | Monsanto, EE.UU., 1997 Brasil 1997 Argentina, 1997 |
| | Sulfonilureas | Dupont, EE.UU., 1993 |
| Remolacha (<i>Beta vulgaris</i>) | Glufosinato | AgrEvo, EU, 2000 |
| | Glifosato | Monsanto, EU, 1998 |
| Tabaco (<i>Nicotiana tabacum</i>) | Bromoxinil | Rhone Poulenc, EU, 1998 |

5.5. AGRICULTURA DE PRECISIÓN.

Esta nueva agricultura se basa en las tecnologías de posicionamiento vía satélite, sistemas de información geográfica, teledetección y maquinaria agrícola de aplicación variable de medios de producción (fitosanitarios, fertilizantes y semillas de siembra, entre otros). En particular propiciará el mapeo de las áreas de cultivo con diferentes niveles de fertilidad, infestaciones de malezas y enfermedades. Uno de



sus objetivos es la aplicación dirigida de fitosanitarios solo a las áreas afectadas. En términos generales puede decirse que perfeccionará los esfuerzos que hoy día se están realizando para conseguir la nuevas agriculturas integrada y de conservación, y en definitiva un mejor uso de los fitosanitarios.

6. TÉCNICAS Y EQUIPOS DE APLICACIÓN DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS.

Uno de los avances mas importantes en el desarrollo de la producción agrícola de los últimos años ha sido la evolución química y tecnológica en la utilización de productos fitosanitarios, avalada sin duda por la cada vez mayor utilización de técnicas agrícolas de conservación del suelo

Si bien el grado de desarrollo de la maquinaria y equipos empleados en la aplicación de fitosanitarios es muy significativo, no lo es tanto la capacitación del personal encargado de su manejo, puesta a punto y conservación, y algo similar ocurre con las reparaciones donde los mecánicos tradicionales de campo se enfrentan a una nueva maquinaria con más componentes electrónicos.

Los condicionantes ambientales imponen la necesidad de un control de los equipos y de una cualificación del personal que los maneja, con objeto de evitar residuos de agroquímicos no deseables.



Foto 4.-La formación profesional del aplicador de fitosanitarios es muy importante en la agricultura moderna

Como consecuencia de lo anterior se ha creado a escala nacional un grupo de trabajo para desarrollar la normativa y disposiciones legales que acompañaran al control e inspecciones de esta actividad en un futuro inmediato.

En la Unión Europea se ha aprobado la norma EN907, sobre seguridad de las personas involucradas en la actividad, se encuentra pendiente de aprobación la norma EN12761 sobre medio ambiente y en preparación para proponer su aprobación la EN13790 sobre procedimientos de inspección de equipos en uso, tanto para cultivos bajos como arbóreos. Con base en esta normativa saldrán las disposiciones legales nacionales actualmente en trámite (Ley de Sanidad Vegetal y Reglamentación Técnico Sanitaria).

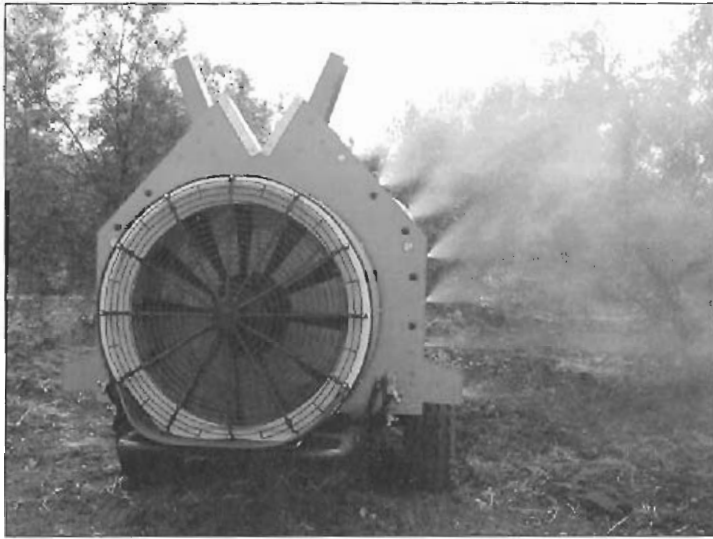


Foto 5.-El buen estado del equipo asegura un optimo tratamiento

Respecto a la maquinaria de tratamiento, de acuerdo con el proyecto de norma EN13790, se hace necesario un adecuado mantenimiento y control para conseguir unas condiciones básicas:

- Uniformidad de distribución
- Minimización de pérdidas
- Seguridad de los operarios

El cumplimiento de estas condiciones redundará en una reducción de los costes de tratamiento y en la preservación del medio ambiente.

Se tendrán en cuenta los criterios que se exponen a continuación, en los elementos que se enumeran para el control de equipos de tratamientos fitosanitarios.



A) Equipos para cultivos bajos

Bomba

Ausencia de pulsaciones en la impulsión
Funcionamiento correcto de acumulador de presión en el intervalo aconsejado
Ausencia de fugas
Funcionamiento correcto de la válvula de seguridad, de presión

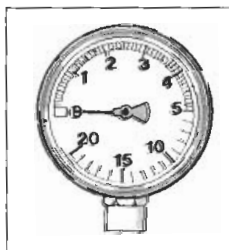
Agitación

Observación de circulación suficiente de líquido en el interior del depósito

Depósito

Ajuste correcto y facilidad de apertura manual de la tapa del orificio de llenado
Estado correcto del orificio de respiración
Funcionamiento correcto y legibilidad del indicador de nivel
Facilidad de accionamiento de la válvula de seguridad
Funcionamiento correcto de la válvula antirretorno del hidrocargador
Ausencia general de fugas
Limpieza exterior (ausencia de restos de producto)

Manómetro



Diámetro de la esfera mayor de 63 mm
Visualización desde el puesto de conducción
Resolución de 0,2 bar en el intervalo de 0 a 5 bar
Error máximo de 0,4 bar para el intervalo de 0 a 5 bar (manómetro de referencia)

Regulador y distribución

Posibilidad de ajuste de la presión de trabajo
Apertura y cierre correcto de cada uno de los sectores
Comprobación de retornos calibrados (mantenimiento de presión)

Tuberías y mangueras

Ausencia de fugas a la presión máxima de trabajo

Buen estado de conservación (ausencia de agrietamientos, desgastes, hinchado,....)

Ausencia de deformaciones internas u obstrucciones que dificulten el paso del líquido

Filtros



Existencia de filtros en los orificios de llenado, aspiración y sectores de impulsión

Facilidad de extracción de las mallas, estado correcto y limpieza

Barra

Funcionamiento correcto del mecanismo de plegado/desplegado y de las articulaciones

Posibilidad de ajuste de la altura de trabajo

Protección de las boquillas extremas de la barra contra el contacto con el suelo

Paralelismo de la barra respecto al suelo

Espaciamiento entre boquillas de 50 cm

Uniformidad de distribución horizontal (medida opcional)



Foto 6.- Pulverizador de barra tratando cubierta vegetal



Boquillas

- Identificación de marca y modelo
- Posición correcta (orientación de los portaboquillas y de las boquillas)
- Comprobación de que todas las boquillas corresponden a un mismo modelo
- Ausencia de señales de desgaste y/o obturaciones
- Uniformidad de caudal (medición)
- Desviación de caudal inferior al 10% respecto del caudal nominal
- Funcionamiento correcto del dispositivo antigoteo

Protección y seguridad

- Existencia de protecciones en la transmisión y en la toma de fuerza
- Existencia de protectores fijos en las correas y poleas de transmisión
- Funcionamiento correcto del dispositivo de fijación de la barra en la posición plegada

Equipos para arboricultura

Bomba

- Ausencia de pulsaciones en la impulsión
- Funcionamiento correcto de acumulador de presión en el intervalo aconsejado
- Ausencia de fugas
- Funcionamiento correcto de la válvula de seguridad, de presión



Agitación

Observación de circulación suficiente de líquido en el interior de depósito

Depósito

Ajuste correcto y facilidad de apertura manual de la tapa del orificio de llenado
Estado correcto del orificio de respiración
Funcionamiento correcto y legibilidad del indicador de nivel
Facilidad de accionamiento de la válvula de seguridad
Funcionamiento correcto de la válvula antirretorno del hidrocargador
Ausencia general de fugas
Limpieza exterior (ausencia de restos de producto)

Manómetro

Diámetro de la esfera mayor de 63 mm
Visualización desde el puesto de conducción
Resolución de 1 bar en el intervalo de 0 a 20 bar
Error máximo de 1 bar (manómetro de referencia)

Regulador y distribución

Posibilidad de ajuste de la presión de trabajo
Apertura y cierre correcto de cada uno de los sectores

Tuberías y mangueras

Ausencia de fugas a la presión máxima de trabajo
Buen estado de conservación (ausencia de agrietamientos, desgastes, hinchado,...)
Ausencia de deformaciones internas u obstrucciones que dificulten el paso del líquido

Filtros

Existencia de filtros en los orificios de llenado, aspiración y sectores de impulsión
Facilidad de extracción de las mallas, estado correcto y limpieza

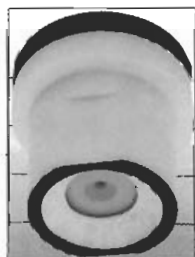
Ventilador

Estado correcto de las hélices, deflectores y carcasa
Funcionamiento correcto del grupo multiplicador (marchas/punto muerto)
Ausencia de restos de productos fitosanitarios y de otros materiales
Simetría a derecha e izquierda del aire impulsado (medida opcional)



Foto 7 Atomizador para cultivos arbóreos

Boquillas



- Identificación de marca y modelo
- Posición correcta
- Simetría a derecha e izquierda de los modelos de boquillas instalados
- Ausencia de señales de desgaste y/o obturaciones
- Uniformidad de caudal (medición)
- Desviación de caudal inferior al 10% respecto del caudal nominal
- Funcionamiento correcto del dispositivo antigoteo

Protección y seguridad

- Existencia de protecciones en la transmisión y en la toma de fuerza
- Existencia de protectores fijos en las correas y poleas de transmisión
- Existencia y fijación correcta de rejas en la aspiración e impulsión del ventilador
- Funcionamiento correcto del dispositivo de fijación de la barra en la posición plegada

BIBLIOGRAFÍA

- AEPLA (Asociación Empresarial para la Protección de Plantas). 1999. Memoria 1999, 19 páginas.
- BCPC (British Crop Protection Council). 1996. The UK Pesticide Guide, CAB International, 581 pp.
- CAST (Council for Agricultural Science and Technology). 1987. Health issues related to chemical in the environment: a scientific perspective. 38 pp.
- Coscollá Ramón, R. Control de residuos de productos fitosanitarios en los alimentos, p 33-43, en J.M. García-Baudín, 1998, Los Productos Fitosanitarios en el Marco del Registro Único Europeo, Monografías INIA, 57 páginas.
- De Liñán, C. 2000. Vademecun de Productos Fitosanitarios y Nutricionales 2000, Ediciones Agrotécnicas, 655 pags.
- ECPA. *European Crop Protection Association*. 1996. Estadísticas sobre uso de fitosanitarios. 1996.
- FAO *Statistical Yearbook* 1960 y 1990. FAO, Roma.
- García-Baudín, J.M. 1998. Los Productos fitosanitarios en la agricultura española, p. 9-16, en García-Baudín, JM, (editor): Los Productos Fitosanitarios en el Marco del Registro Único Europeo, Monografías INIA, 57 páginas.
- García-Torres L. y Fernández-Quintanilla. 1991. Fundamentos sobre malas hierbas y herbicidas, Mundi-Prensa, 348 paginas.
- López de Sagredo, Fernando. 1998. Pasado y Presente del Registro Unico Europeo y los LMR's. *Phytoma*, nº 100, 191-193
- Martínez Cano- Manuel, José Ramón. 1998. El Registro Unico Europeo de Productos Fitosanitarios, Subdirección General de Sanidad Vegetal., MAPA, en J.M. García-Baudín, 1998, Los Productos Fitosanitarios en el marco del Registro Único Europeo, Monografías INIA, 57 páginas.
- Oerke, E. C., H.W. Dehne, F. Schönbeck and A. Weber. 1994. Crop Production and Crop Protection: Estimated losses, Editorial Elsevier, Vol I, 363 páginas.
- Roy Parages, Luis. 1988. Consumo de fitosanitarios en España. *Phytoma*, nº 100, 200-201.
- SPV (Servicio de Protección de los Vegetales de Andalucía), 2000. Archivos actualizados de Productos Fitosanitarios Registrados, Córdoba.



- USDA (United State Department of Agriculture). 1999. Pesticide Data Program: Annual Summary Calendar Year 1997. Agricultural Marketing Service, USDA, Washintong DC, USA, páginas 22, más anejos.
- WSSA (Weed Science Society of America). 1994. Herbicide Handbook, pp. 352.
- WSSA (Weed Science Society of America). 1998. Herbicide Handbook (supplement), pp.102.

CAPÍTULO V

RIEGO

Carmen Giménez Padilla (*)

Ignacio Lorite Torres (**)

* Universidad de Córdoba. E.T.S. Ingenieros Agrónomos y Montes.

** Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
Instituto de Agricultura Sostenible

V RIEGO

Las preguntas fundamentales que se hace un regante son dos:

- ¿Cuándo debo regar?
- ¿Qué cantidad de agua tengo que aplicar en cada riego?

Para contestar a estas preguntas se exponen a continuación algunos conceptos fundamentales que ayudaran a encontrar las respuestas.

1. BALANCE DE AGUA EN EL SUELO.

En climas mediterráneos, como es el de Andalucía, al ser muy frecuente encontrar un desfase en el tiempo entre las precipitaciones y las necesidades de agua de la planta, el suelo se comporta como un importante depósito que almacena agua de lluvia y riego y suministra agua al cultivo, produciéndose asimismo otra serie de posibles pérdidas que se comentarán más adelante.

Para determinar la cantidad de agua almacenada en el suelo durante un intervalo de tiempo se emplea un balance de agua en el que se tienen en cuenta las entradas de agua al mismo y las salidas. Este balance de agua será fundamental para determinar el momento del riego y el volumen de agua a aplicar en el mismo.

1.1.COMONENTES DEL BALANCE DE AGUA.

Las entradas en un balance de agua simplificado son la *lluvia* (LL) y el *riego* aportado (R), mientras que las pérdidas o salidas son la *evaporación* desde el suelo (E), la *transpiración* de la planta (T), la *escorrentía* (Esc) y la *percolación o drenaje* (D). La diferencia entre las entradas y las salidas dará lugar a una variación en el *agua almacenada* en el suelo ($\Delta\ominus$). En la Figura 1 se muestra de forma esquemática cada uno de los componentes del balance de agua en el suelo.

| |
|--|
| <p style="text-align: center;">Entradas: Riego + Lluvia</p> <p style="text-align: center;">Salidas: Evaporación + Transpiración + Escorrentía + Drenaje</p> <p style="text-align: center;">$Riego + Lluvia = Evaporación + Transpiración + Escorrentía + Drenaje + \Delta\ominus$</p> |
|--|

Normalmente los términos evaporación y transpiración se agrupan para realizar su cálculo de una forma más sencilla, denominándose evapotranspiración (ET). La ET caracteriza las necesidades de agua del cultivo y depende de las condiciones de humedad y cobertura del cultivo y de la demanda evaporativa de la atmósfera.

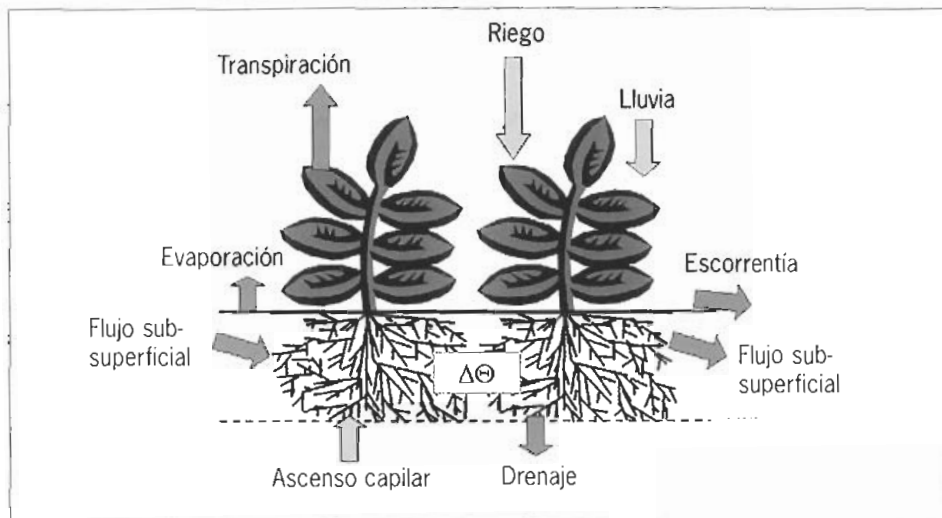


Figura 1. Esquema con los distintos componentes del balance de agua en el suelo.

Para cultivos en regadío el balance anterior se puede simplificar si la escorrentía y el drenaje son despreciables. Por lo tanto el balance quedaría:

$$\text{Riego} + \text{Lluvia} = \text{ET} + \text{agua almacenada} (\Delta \Theta)$$

Los factores que influyen en la demanda de agua de la atmósfera son principalmente la radiación solar y la temperatura, aunque también influyen otros como la velocidad del viento y la humedad.

Aunque la ET representa las necesidades de agua del cultivo se debe tener en cuenta que éstas no son las necesidades de riego, puesto que pueden existir otros aportes de agua al suelo además del riego, como es la lluvia, y también otras pérdidas como percolación y escorrentía.

1.2. AGUA ALMACENADA EN EL SUELO.

Cada tipo de suelo presenta una serie de características físicas que le confieren una mayor o menor capacidad para almacenar agua. Por lo tanto, a la hora de realizar un balance de agua ha de tenerse en cuenta el tipo de suelo en el que se va a realizar el mismo. Lógicamente, no será igual tener un suelo arenoso, que otro arcilloso.

Se definen tres valores para cada tipo de suelo (Figura 2):

- **Punto de saturación:** aquél por encima del cual el suelo no puede albergar más agua. Tras alcanzarse este punto, el volumen de agua contenida en el suelo disminuye al ir drenando hacia horizontes más profundos. Transcurrido un determinado periodo de tiempo, que dependerá del tipo de suelo, la cantidad de agua almacenada será más o menos constante.
- **Capacidad de campo (CC):** contenido de agua en el momento en que cesa el drenaje.
- **Punto de marchitez permanente (PMP):** contenido de agua a partir del cual la planta no puede continuar la extracción.

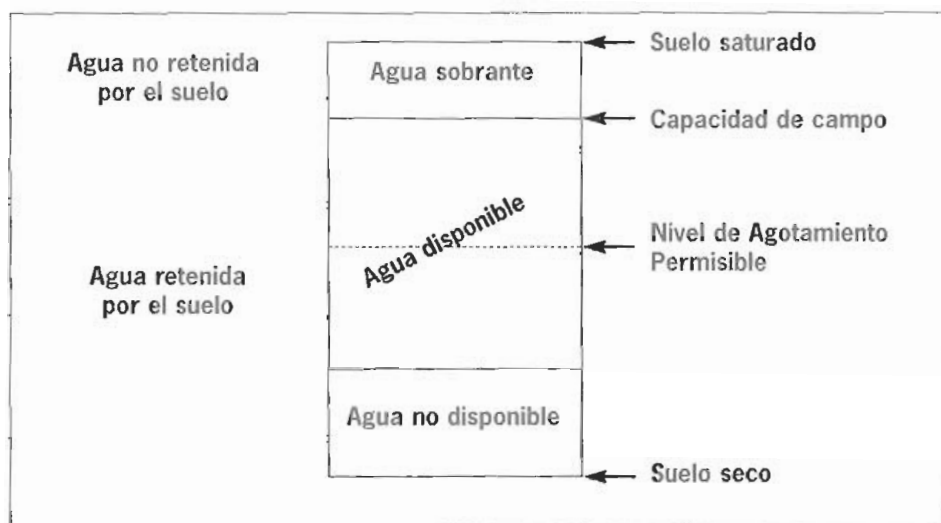


Figura 2. Esquema con los distintos niveles de contenido de agua en el suelo.

En la Tabla 1 se muestran valores medios de estos tres niveles según el tipo de suelo. La información contenida en esta tabla indica que un suelo arcilloso tiene una mayor capacidad para almacenar agua que uno arenoso y por lo tanto permitirá gestionar de una forma más eficaz el riego.



Tabla 1. Contenido de agua en el suelo (cm³ de agua por cm³ de suelo) para saturación, capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

| Tipo de suelo | Saturación (cm ³ cm ⁻³) | Capacidad de campo (CC) (cm ³ cm ⁻³) | Punto de marchitez permanente (PMP) (cm ³ cm ⁻³) | Volumen disponible (mm) por m. de profundidad |
|------------------|--|---|---|---|
| Arenoso | 0.38 | 0.15 | 0.07 | 80 |
| " | 0.43 | 0.21 | 0.09 | 120 |
| Limoso | 0.47 | 0.31 | 0.14 | 170 |
| " | 0.49 | 0.36 | 0.18 | 190 |
| " | 0.51 | 0.40 | 0.20 | 200 |
| Arcilloso | 0.53 | 0.44 | 0.21 | 230 |

El *agua disponible* (AD) para el cultivo (Figura 2) será la diferencia entre el agua contenida en el suelo a capacidad de campo y el agua contenida en el punto de marchitez permanente, multiplicado por la profundidad de raíces del cultivo (Z)

$$AD = (CC - PMP) * Z$$

Corresponde al volumen total de agua que el cultivo podría extraer. Si CC y PMP se expresan en cm³ cm⁻³ y la profundidad de raíces en mm, el agua total disponible se obtiene en l/m². Sin embargo, antes de agotar el agua disponible, el cultivo puede ver reducido su crecimiento y por tanto su productividad. Se considera, por tanto, un *nivel de agotamiento permisible* (NAP, cm³ cm⁻³), valor por debajo del cual, aunque haya aún agua disponible en el suelo, el cultivo comienza a ver afectado su crecimiento y producción. En agricultura de riego, cada riego habría que aplicarlo cuando se alcanzase este nivel de agotamiento de agua en el suelo, si se pretende maximizar la producción del cultivo. El valor del NAP depende del cultivo. Un valor usual es 0.65. En la Tabla 2 se muestran niveles medios para diferentes cultivos.

Tabla 2. Niveles de agotamiento permisibles para diferentes cultivos.

| Cultivo | Nivel de agotamiento permisible (NAP) | Cultivo | Nivel de agotamiento permisible (NAP) |
|------------------|---------------------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Ajo | 0.3 | Maíz | 0.55 |
| Algodón | 0.65 | Olivo | 0.65 |
| Arroz | 0.2 | Patata | 0.35 |
| Cebada | 0.55 | Remolacha | 0.55 |
| Cebolla | 0.3 | Sandía | 0.4 |
| Cítricos | 0.5 | Tomate | 0.4 |
| Espárrago | 0.45 | Trigo | 0.55 |
| Garbanzo | 0.45 | Vid | 0.4 |
| Girasol | 0.45 | | |

¿Cómo se determina la *profundidad de raíces* de un cultivo? La profundidad de raíces máxima que un cultivo puede alcanzar depende de 2 factores: la propia especie cultivada y las posibles limitaciones al crecimiento que pueda presentar el suelo, como compactación, etc.. En la Tabla 3 se indican valores medios aproximados de profundidad de raíces máxima (en pleno desarrollo) para diversas especies cultivadas si en el suelo no existen problemas de compactación, tales como suelas de labor, ni otras limitaciones al crecimiento de raíces como horizontes petrocálcicos.

Tabla 3. Profundidades radiculares máximas (m) de diversos cultivos sin limitaciones por parte del suelo al crecimiento.

| Cultivo | Máxima profundidad radicular (m.) | Cultivo | Máxima profundidad radicular (m.) |
|-------------------|-----------------------------------|------------------|-----------------------------------|
| Ajo | 0.5 | Lechuga | 0.5 |
| Alcachofas | 0.9 | Maíz | 1.7 |
| Algodón | 1.7 | Olivo | 1.7 |
| Arroz | 1.0 | Patata | 1.5 |
| Cebada | 1.5 | Remolacha | 1.2 |
| Cebolla | 0.6 | Sandia | 1.5 |
| Cítricos | 1.5 | Tomate | 1.5 |
| Espárragos | 1.8 | Trigo | 1.5 |
| Garbanzo | 1.0 | Vid | 2.0 |
| Girasol | 1.5 | | |

Si por el contrario, existen limitaciones al crecimiento radicular más superficiales que los valores contenidos en la Tabla 3, se considerará la profundidad máxima aquella donde se encuentren dichas limitaciones. Por ejemplo, si tenemos un cultivo de trigo en un suelo arcilloso sin limitaciones para el crecimiento de las raíces, se podrá almacenar en el perfil del suelo explorado por éstas un máximo de 345 mm de agua, obtenidos multiplicando la profundidad máxima de raíces del cultivo de trigo ($Z=1500$ mm; Tabla 3) por la capacidad de almacenamiento de agua del suelo arcilloso ($0.23 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; Tabla 1). Sin embargo, si existe un horizonte muy compactado que las raíces no puedan atravesar a 40 cm de profundidad, ésta sería la máxima que podremos considerar en el cálculo, con lo que el agua máxima almacenada en el perfil explorado se reduciría a 92 mm ($0.23 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} \times 400 \text{ mm}$).



1.3. AGUA UTILIZADA POR EL CULTIVO.

Las necesidades de agua de un cultivo (ET) dependen tanto de las características del propio cultivo como de la demanda evaporativa del ambiente. Una forma simplificada de estimarlas es mediante la siguiente expresión:

$$ET = Kc * ETo$$

en la cual Kc se conoce como "coeficiente de cultivo" y caracteriza el efecto de los factores asociados al cultivo en la ET, y la ETo , llamada evapotranspiración de referencia, que engloba los efectos de la demanda evaporativa del ambiente en la ET.

1.3.1. EL CULTIVO.

Para realizar el cálculo de las necesidades de agua de un cultivo es necesario conocer cómo varía su Kc a lo largo del ciclo, ya que no es un valor constante. La Figura 3 muestra un esquema de sus diferentes fases. Se distinguen cuatro:

- Fase inicial: el cultivo crece muy lentamente y su Kc prácticamente no varía
- Fase de desarrollo: el cultivo crece rápidamente hasta llegar a su máximo tamaño.
- Fase de madurez: el cultivo no crece en tamaño sino que está desarrollando sus órganos reproductivos.
- Fase final: el cultivo comienza la senescencia.

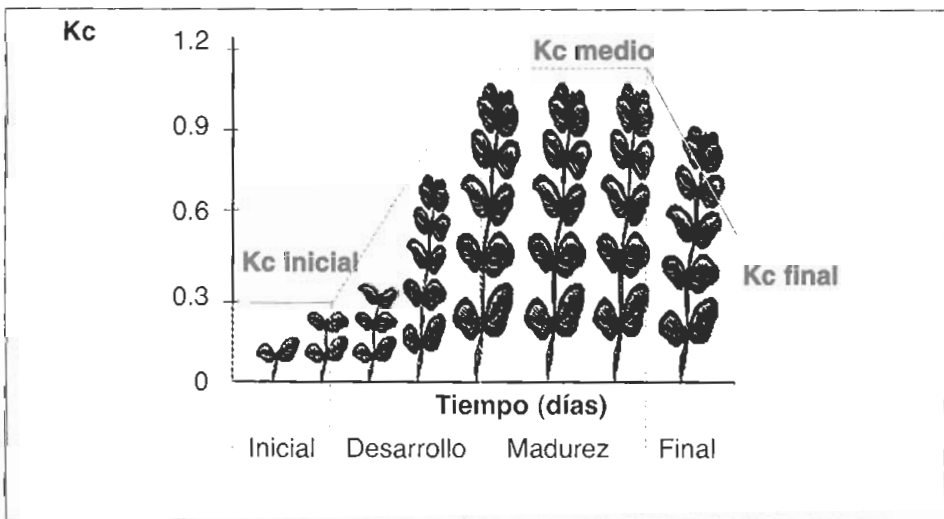


Figura 3. Evolución del coeficiente de cultivo (Kc) a lo largo del ciclo de desarrollo.

Para determinar la curva de K_c de un cultivo es necesario conocer:

1. La duración de cada una de sus fases (Tabla 4)
2. Los valores inicial, máximo y final (Tabla 5)

La duración de cada una de las fases recogida en la Tabla 4 depende de la fecha de siembra y deberá ser corregida si es diferente a la indicada.

Tabla 4. Duración orientativa (días) de cada una de las fases del ciclo de cultivos herbáceos para el cálculo del coeficiente de cultivo.

| Cultivo | Fase inicial | Fase desarrollo | Fase madurez | Fase final | Duración total | Fecha siembra |
|-----------|--------------|-----------------|--------------|------------|----------------|---------------|
| Algodón | 30 | 50 | 60 | 55 | 195 | Marzo/Mayo |
| Cebolla | 25 | 30 | 10 | 5 | 70 | Abril/Mayo |
| Girasol | 25 | 35 | 45 | 25 | 130 | Abril/Mayo |
| Lechuga | 20 | 30 | 15 | 10 | 75 | Abril |
| Lentejas | 20 | 30 | 60 | 40 | 150 | Abril |
| Maiz | 30 | 40 | 50 | 30 | 150 | Abril |
| Melón | 25 | 35 | 40 | 20 | 120 | Mayo |
| Patata | 25 | 30 | 30 | 30 | 115 | Enero |
| Remolacha | 45 | 75 | 80 | 30 | 230 | Noviembre |
| Sandía | 20 | 30 | 30 | 30 | 110 | Abril |
| Tomate | 30 | 40 | 45 | 30 | 145 | Abril/Mayo |
| Trigo | 30 | 140 | 40 | 30 | 240 | Noviembre |
| Zanahoria | 30 | 40 | 60 | 20 | 150 | Febrero/Marzo |

Tabla 5. Coeficientes de cultivo en diferentes fases de desarrollo para diferentes especies.

| Cultivo | K_c inicial | K_c medio | K_c final | Cultivo | K_c inicial | K_c medio | K_c final |
|----------|---------------|-------------|-------------|-----------|---------------|-------------|-------------|
| Ajo | 0.7 | 1.0 | 0.7 | Maiz | 0.7 | 1.2 | 0.5 |
| Algodón | 0.35 | 1.15 | 0.6 | Melón | 0.4 | 1.05 | 0.75 |
| Cebada | 0.3 | 1.15 | 0.25 | Patata | 0.5 | 1.15 | 0.75 |
| Cebolla | 0.7 | 1.05 | 0.75 | Remolacha | 0.35 | 1.2 | 0.7 |
| Fresa | 0.4 | 0.85 | 0.75 | Sandía | 0.4 | 1.0 | 0.75 |
| Garbanzo | 0.4 | 1.15 | 0.35 | Tomate | 0.6 | 1.15 | 0.8 |
| Girasol | 0.35 | 1.1 | 0.35 | Trigo | 0.7 | 1.15 | 0.3 |
| Lechuga | 0.7 | 1.0 | 0.95 | Zanahoria | 0.7 | 1.05 | 0.95 |
| Lenteja | 0.4 | 1.1 | 0.3 | | | | |



1.3.2. EL AMBIENTE.

El cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET₀) se puede realizar de diversas formas, muchas de ellas analíticas que utilizan fórmulas más o menos empíricas y datos meteorológicos como son la temperatura máxima y mínima, la radiación solar, la humedad relativa o la velocidad del viento.

Datos meteorológicos diarios y valores de ET₀ para múltiples zonas de Andalucía pueden obtenerse gratuitamente en internet. El Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC) proporciona datos actualizados diariamente de estaciones meteorológicas distribuidas por toda Andalucía en la siguiente dirección:

<http://al8a.ias.csic.es/meteo>

Una segunda opción para calcular la ET₀ es poseer un tanque de evaporación cercano a la parcela cultivada. Estos tanques son depósitos circulares de aproximadamente 1.2 metros de diámetro y 25 cm. de profundidad, que se llenan de agua hasta 5-7 cm. de su borde. En la Figura 4 se muestra un esquema de un tanque de evaporación.

La cantidad de agua evaporada del tanque multiplicada por un coeficiente, función del tipo de tanque, nos da el valor de la ET₀.

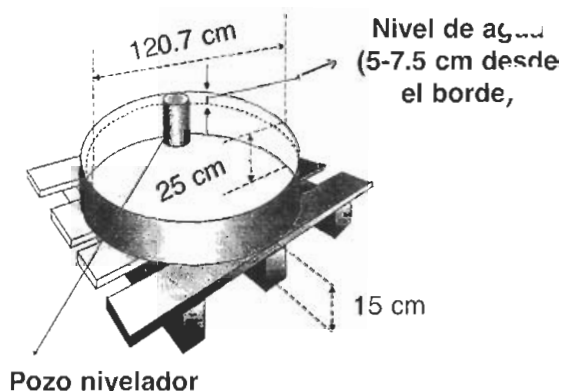


Figura 4. Esquema de un tanque de evaporación clase A

Si no es posible utilizar ninguna de las dos opciones anteriores, en Andalucía se podrían considerar los valores de ET₀ diarios aproximados (mm día⁻¹) contenidos en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores de ET_0 diarios aproximados según el mes del año.

| Mes | ET_0 (mm día ⁻¹) | Mes | ET_0 (mm día ⁻¹) |
|----------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Enero | 1 | Julio | 7 |
| Febrero | 2 | Agosto | 6 |
| Marzo | 3 | Septiembre | 5 |
| Abril | 4 | Octubre | 4 |
| Mayo | 5 | Noviembre | 3 |
| Junio | 6 | Diciembre | 2 |

Todo lo expuesto hasta ahora constituye la base para saber cuándo y cuánto se debe de regar un determinado cultivo. En el siguiente apartado se expondrá cómo responder a estas preguntas.

2. PROGRAMACIÓN DE RIEGOS.

La programación de riegos es la metodología que permite saber *cuando* regar y *cuanto*. El tipo de cultivo, suelo, clima, sistema de riego y condicionantes económicos condicionarán su realización.

Un *calendario de riegos* es el cómputo de las fechas y dosis de riego a lo largo de la campaña. Se ha de tener en cuenta que este calendario no es fijo, pues debe adaptarse a las condiciones climáticas.

Los objetivos de la programación de riegos son muy variados: maximizar la producción, evitar impactos sobre el medio ambiente (salinización, erosión, contaminación de aguas subterráneas y superficiales, etc.) y evitar el desperdicio de agua aplicando sólo la que el cultivo necesite.

Son múltiples las formas de llevar a cabo una programación de riegos. El método más empleado es el modelo del balance de agua en el suelo, ya definido anteriormente, al ser fácil su utilización por parte del agricultor. Otra serie de métodos empleados para la programación de riegos se comentarán al final de este apartado. Dentro del método del balance de agua, ya descrito en profundidad en el capítulo anterior, se han de definir dos nuevos conceptos necesarios para programar el riego: *agua útil* y *déficit de agua en el suelo*.

Agua útil: cantidad de agua en el suelo que puede extraer el cultivo sin que se produzca descenso del rendimiento.

$$\text{Agua Útil} = (\text{CC-PMP}) * Z * \text{NAP}$$



Donde CC, es el contenido de agua en el suelo a capacidad de campo, PMP el contenido de agua en el punto de marchitamiento permanente, Z la profundidad de raíces del cultivo y NAP, el nivel de agotamiento permisible. Tablas con valores medios de cada uno de estos términos se pueden encontrar en el apartado anterior.

Por ejemplo, el agua útil en un suelo limoso (CC = 0.31; PMP = 0.14; Tabla 1) para un cultivo de remolacha que explora una profundidad de suelo de 1.2 m (Tabla 3), considerando que este cultivo puede agotar el 55% del agua en el suelo sin que se afecte su producción (Tabla 2) sería:

$$\text{Agua Util} = 0.55 * 1200 \text{ mm} * (0.31 - 0.14) = 112.2 \text{ mm}$$

Déficit de agua en el suelo (mm): cantidad de agua que le falta al suelo para llegar a capacidad de campo.

2.1. ELECCIÓN DE CUÁNDO REGAR.

Son varias las posibilidades que existen a la hora de determinar cuándo regar:

- Cuando el déficit sea *igual* al agua útil: es la **programación básica** para minimizar el número de riegos sin afectar la producción del cultivo.
- Cuando el déficit *supere* al agua útil: con esta opción se produce una disminución en la producción del cultivo.
- Cuando el déficit sea *menor* que el agua útil: se emplea en cultivos de alto valor cuando se quiere reducir riesgos.
- *Intervalo de tiempo fijo*: cuando la disponibilidad de agua viene impuesta por la comunidad de regantes.
- *Déficit fijo*

2.2. ELECCIÓN DE CUÁNTO REGAR.

Una vez decidido cuándo regar, se presentan varias opciones sobre el volumen de agua a aplicar:

- Dosis aplicada *mayor* que el déficit: se provoca una pérdida de agua por percolación. Se emplea para realizar lavado de sales cuando existen problemas de salinidad.
- Dosis aplicada *igual* al déficit: se consigue rellenar el perfil del suelo sin provocar pérdidas.

- Dosis aplicada *menor* que el déficit: Se deja una fracción del suelo sin rellenar. El suelo no se lleva a capacidad de campo. Se realiza si se esperan precipitaciones.
- Dosis *fija*

Como recomendación general, en cultivos al aire libre el último riego se calcula para no dejar agua en el suelo antes del otoño, ya que entonces se rellenará el perfil con la precipitación, consiguiéndose un mejor aprovechamiento del agua aplicada previamente.

2.3. PROGRAMACIÓN DE RIEGOS PARA RIEGO LOCALIZADO.

Todo lo anteriormente expuesto se adapta bien al riego por superficie y aspersión. Sin embargo, dadas las características particulares del riego localizado normalmente se emplea otro sistema para la programación de riegos.

Con riego localizado no se moja toda la superficie del suelo homogéneamente. Por tanto, se aumenta el número de riegos incrementando su frecuencia, siendo éstos de un volumen inferior a los aplicados en riego por superficie o aspersión. Esta medida, que supondría un incremento de los costes con otros sistemas de riego, no supone un coste adicional con el riego localizado. En éste se repone el agua perdida entre cada intervalo de riegos, es decir, se añade un volumen de agua igual a la ET del cultivo en ese intervalo. El agua útil almacenada en el suelo se emplea como margen de seguridad.

$$\text{Agua Aplicada} = \text{ET} - \text{Precipitación}$$

2.4. OTROS MÉTODOS USADOS PARA LA PROGRAMACIÓN DE RIEGOS.

Existen múltiples formas de realizar la programación de riegos. Se pueden clasificar en dos grandes grupos:

Medidas en planta

- *Potencial hídrico (Ψ):*

El potencial hídrico de la planta se hace más negativo a medida que la planta consume el agua del suelo. Se ha usado un valor umbral de Ψ en algunos cultivos (por ejemplo algodón) como indicador de *cuándo* regar.

Presenta el inconveniente de que este valor umbral de Ψ depende de la especie, varía a lo largo de su ciclo y sólo indica el momento del riego, pero no la cantidad de agua aplicar.



◦ *Temperatura del cultivo:*

Es posible utilizar sensores de radiación infrarroja para medir la temperatura del cultivo. Una señal de la necesidad de regar sería un incremento de la temperatura del cultivo. Al igual que el método anterior, indica cuando regar pero no el volumen de agua de riego.

◦ *Utilizando síntomas de estrés hídrico:*

Es un método rápido pero es difícil establecer criterios generales. Además presenta el gran inconveniente de que cuando aparecen síntomas visuales ya es demasiado tarde para regar el cultivo.

Tampoco indica la cantidad de agua a aplicar.

Medidas en suelo

Las medidas de diferentes parámetros del suelo pueden ser utilizadas para determinar el momento del riego. Comúnmente se usa su potencial hídrico ó el contenido de agua en el perfil explorado por las raíces. Para su determinación se emplean diversos métodos. A continuación se señalan algunos de ellos.

• *Muestras gravimétricas de humedad de suelo.*

Se determina tomando muestras de suelo y calculando su humedad por diferencia de peso antes y después de secarlas en una estufa. Requiere mano de obra y es destructivo, por lo que nunca se podrá medir dos veces en el mismo sitio. Es problemático por la variabilidad espacial en las características del suelo y en suelos pedregosos por la dificultad que presentan para la toma de muestras.



• *Uso de tensiómetros:*

El tensiómetro mide el potencial de agua en el suelo y permite evaluar si el sistema de riego funciona de forma adecuada o no.

Su uso es aconsejable cuando el potencial hídrico del suelo se mantiene alto (riegos de alta frecuencia). Sin embargo, no es aconsejable para la programación de riegos de baja frecuencia, ya que el potencial hídrico del suelo alcanza a menudo valores más negativos del mínimo que el tensiómetro es capaz de detectar, por lo que queda fuera de rango.

- *Dados de yeso:*

Miden el potencial en el suelo, según la diferencia entre potenciales entre el suelo y el dado de yeso. Funciona bien para suelos secos y arcillosos. No es adecuado su uso en suelos salinos.

- *Métodos indirectos:*

Otro método muy utilizado para determinar el contenido de agua en el suelo indirectamente es la *sonda de neutrones*. Consiste en una fuente radioactiva que emite neutrones los cuales se ralentizan según el contenido de agua del suelo. Se detectan con un detector de neutrones lentos. Al ser el emisor de neutrones una fuente radioactiva, existen problemas de utilización y mantenimiento el cual ha de ser realizado por personal especializado cumpliendo unas normas estrictas de seguridad. Como ventajas, presenta el medir el contenido de agua en el suelo repetidamente en el mismo punto por medio de tubos de acceso, los cuales se instalan en el campo previamente a la siembra y se mantienen hasta la cosecha. Necesita calibración.

Otro método alternativo al uso de la sonda de neutrones es la determinación de la humedad del suelo mediante *TDR* (Time Domain Reflectometry). Este método se basa en la medida de la velocidad de transmisión de una onda electromagnética en el suelo, la cual es función de su contenido de agua. Existen en la actualidad equipos portátiles comerciales.

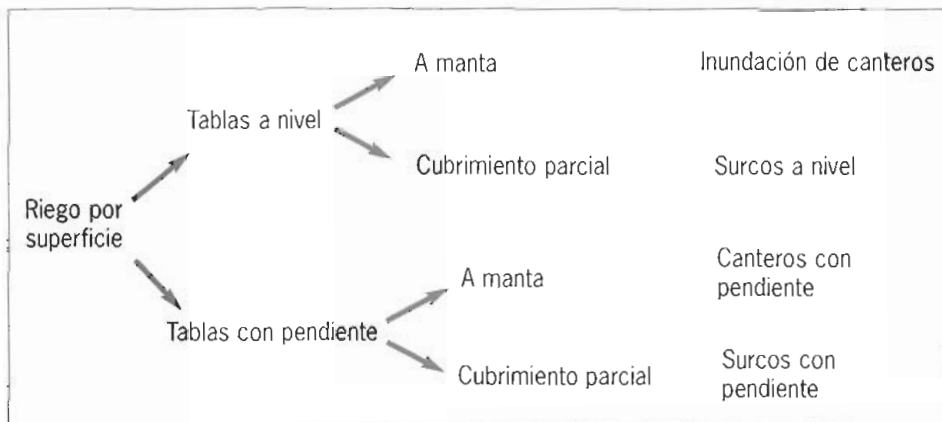
3. SISTEMAS DE RIEGO.

Los sistemas de riego se pueden clasificar en tres grandes grupos: Riego por *superficie*, riego por *aspersión* y riego *localizado*.

3.1. RIEGO POR SUPERFICIE.

El riego por superficie es aquel en que no se emplean medios externos para conducir el agua desde el punto de acometida hasta el cultivo, sino que se emplea el mismo terreno para ello. Esta circunstancia hace de este sistema, un sistema con escasas necesidades energéticas. Este factor, junto con algunos otros, ha hecho que los modernos sistemas de riego no hayan logrado desplazar a éste en los regadíos tradicionales.

Podemos clasificar las diferentes formas de aplicación del riego en este método como se muestra en el siguiente esquema:



Este método se caracteriza por no verse condicionado por las variables climáticas, y especialmente por el viento. Sin embargo, mientras que los riegos por aspersión y localizados no son muy exigentes en condiciones topográficas especiales, estos riegos solo pueden ser aplicados con un rendimiento aceptable cuando los valores de pendiente topográfica son aceptables. Así, las condiciones topográficas y de suelo serán los condicionantes principales a la hora del dimensionamiento de las unidades de riego, siendo necesaria una nivelación adecuada.

3.1.1. RIEGO POR INUNDACIÓN.



El riego por inundación se adapta a suelos con infiltración muy lenta, por lo que los cultivos no deben ser sensibles al encharcamiento prolongado. Este método se adapta a cultivos densos como forrajeras y praderas.

Requiere grandes módulos de aplicación (gran volumen de agua aplicada en cada riego), lo que implica una reducción en las exigencias de mano de obra. Igualmente, consigue un buen rendimiento de aplicación y uniformidad con grandes dosis.

Como inconveniente, requiere una buena nivelación del terreno.

3.1.2. RIEGO POR SURCOS.

Debido a la pequeña sección del surco, el avance del agua es lento y por lo tanto la infiltración será alta.

El método por surcos se adapta a cultivos en líneas como el maíz, algodón o remolacha y especialmente cuando estos cultivos se cubren con plásticos.

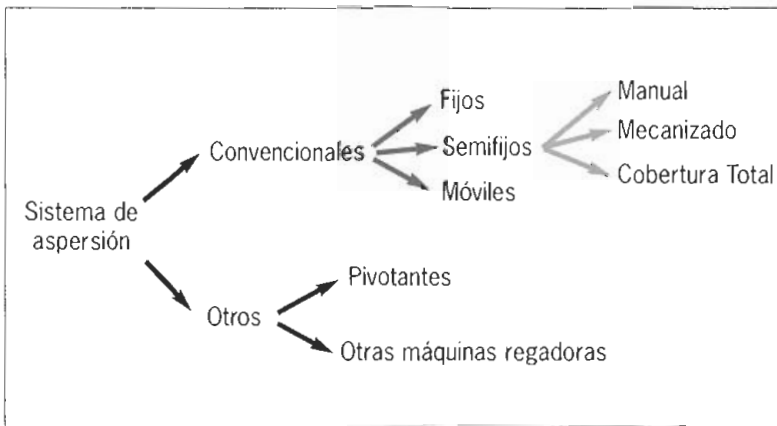
En suelos con textura media y bien estructurados pueden establecerse surcos relativamente largos sin pérdidas en la uniformidad del riego.



3.2. RIEGO POR ASPERSIÓN.

El riego por aspersión se puede asemejar a una lluvia artificial. Hasta que se produce su salida por el aspersor, la corriente de agua sólo está condicionada por la red de conducciones. Sin embargo, durante el recorrido desde el aspersor hasta el suelo, los condicionantes ambientales afectan de manera muy importante a la distribución del agua.

Los sistemas de aspersión se pueden clasificar como sigue:



Entre las variables climáticas que condicionan este método de riego, el viento es de particular importancia. Sus efectos se van a apreciar en una disminución en la uniformidad de aplicación, lo que traerá consigo un crecimiento irregular del cultivo.



Sin embargo, prácticamente no hay limitaciones en cuanto a características físicas o topográficas del terreno. Ni una infiltración excesiva ni la irregularidad en la pendiente representan dificultades a la hora de aplicar el riego con este método.

El riego por aspersión es aplicado a casi todos los cultivos extensivos, con la única excepción del arroz. El caso del tomate y las fresas, dentro de los cultivos hortícolas, son otros ejemplos de cultivos en los que no es aconsejable el uso de este método, ya que la calidad del fruto puede verse afectada.

La mano de obra es de suma importancia a la hora de definir el método de aspersión. La selección o no de equipos automatizados depende de que su mayor coste sea amortizado por la reducción de mano de obra necesaria. De hecho, en la actualidad se observa una tendencia hacia la instalación de equipos automatizados y a sistemas de aspersión fijos.

3.2.1. ASPERSIÓN TRADICIONAL.



En los sistemas de aspersión tradicional fijos se dispone de una red de tuberías y aspersores en toda la parcela. Sin embargo, en los sistemas móviles los mismo ramales de riego junto con los aspersores se van desplazando y utilizando en diferentes subparcelas (sectores de riego) que se riegan consecutivamente. Por tanto, la inversión inicial en sistemas tradicionales fijos es alta en comparación con los sistemas móviles pero reduce sustancialmente el coste de la mano de obra.

3.2.2. MÉTODOS PIVOTANTES.



Destaca por su gran automatización lo que hace que necesite menos mano de obra. Es apto para suelos de textura ligera extrema, así como para el control de salinidad.

Consigue una uniformidad muy alta, disminuyendo el efecto del viento.

Sin embargo, cuenta con una serie de inconvenientes como el alto coste de inversión, la exigencia de ausencia de obstáculos para el desplazamiento de las ruedas, agua sin elementos corrosivos y alto nivel técnico para el mantenimiento de la instalación. Además, está contraindicado en suelos con infiltración lenta.

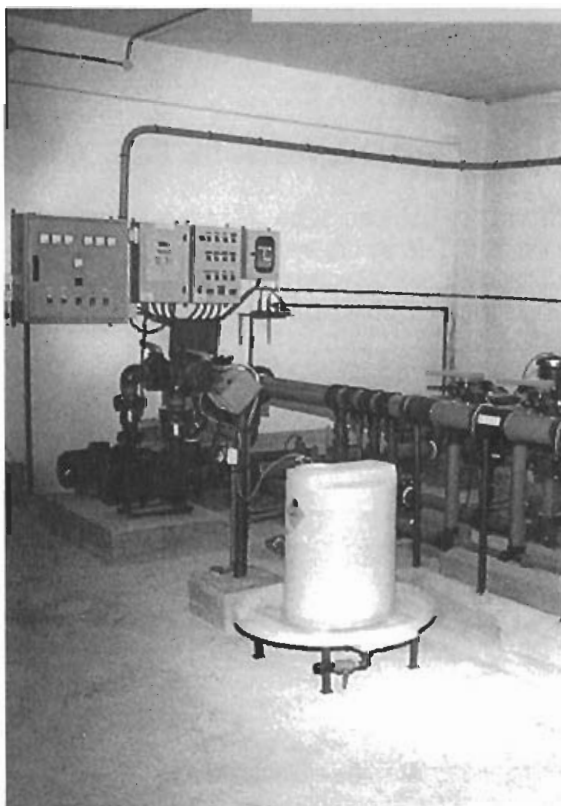
3.3. RIEGO LOCALIZADO.



Tanto el riego por superficie como el riego por aspersión no se adaptan adecuadamente a suelos excesivamente arenosos o salinos y especialmente en condiciones de clima semiárido, como el de Andalucía.

Los sistemas de riego localizado son, por regla general fijos, lo que posibilita la aplicación de riegos frecuentes sin requerir un incremento en mano de obra. Esta característica, junto al hecho de que el uso de estos sistemas sea independiente de condiciones climáticas o de suelo, ha dado lugar a que su uso esté cada vez más extendido.

Es especialmente adecuado para cultivos en línea, en los que las franjas de tierra seca facilitan el control de malas hierbas y otras labores de cultivo, así como para árboles frutales.





Existen diferentes tipos de riego localizado como goteo, exudación, microaspersores, etc. aunque el más difundido es el riego por goteo.

Entre las ventajas del riego por goteo se pueden señalar una reducción de las pérdidas de agua debido a que se logra un buen control de la uniformidad y la dosis, debido a no influir condiciones topográficas ni el factor viento, así como una reducida evaporación directa desde el suelo al no mojar toda la superficie.

Otra de las ventajas es que se evita el lavado foliar, el cual aumenta el riesgo de ataques criptogámicos y reduce la efectividad de los tratamientos aplicados.

Este sistema de riego es de muy fácil automatización para riego durante las 24 horas del día, lo que logra reducir las necesidades de mano de obra.

También existen una serie de limitaciones como son el problema de obturaciones de los goteros por lo que es preciso que el agua sea filtrada. Otra limitación importante es el difícil control de la salinidad a largo plazo, debido a la acumulación en superficie de las sales que penetran en el suelo en caso de lluvia.

Este sistema de riego está muy extendido en cultivos en invernadero así como en nuevas plantaciones de árboles frutales, por todas las ventajas anteriormente señaladas.

4. CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO.

El agua de riego contiene siempre sales solubles cuya concentración depende principalmente de su origen. En climas de alta demanda evaporativa y debido al riego continuado, las sales van acumulándose en el suelo hasta llegar, en casos extremos, a hacerlo inservible para la práctica de la agricultura.

Uno de los factores que influyen a la hora de determinar si un agua es o no adecuada para el riego es su calidad en cuanto a su contenido en sales. Esta se mide por varios conceptos como la salinidad, peligro de sodio, alcalinización por carbonatos, cloruros y boro.

4.1. SALINIDAD.

Las sales se acumulan en el perfil del suelo debido a la meteorización de las rocas y al aporte de éstas en el agua de riego. Un alto contenido de iones Na^+ con Cl^- ó SO_4^{2-} da lugar a *suelos salinos*. Un alto contenido en Na^+ junto con iones débiles como HCO_3^- y CO_3^{2-} da lugar a *suelos alcalinos* con $\text{pH} > 8.5$.

La cantidad de sales añadidas con el agua de riego depende de la cantidad de agua aplicada y de su contenido en sales. Toda agua tiene sales disueltas, incluso el agua

de lluvia presenta una ligera salinidad. Desde el punto de vista de su contenido en sales el agua de riego se puede clasificar como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Calidad de agua para el riego según su conductividad eléctrica (CE)

| Clase | CE (dS/m) | Concentración (g/l) | Observaciones |
|-----------|-------------|---------------------|--|
| C1 | 0-0.250 | <0.2 | Agua de salinidad baja. Apta para riego |
| C2 | 0.250-0.750 | 0.2-0.5 | Agua de salinidad moderada. Buena para cultivos tolerantes, en suelos con buen drenaje. |
| C3 | 0.750-2.250 | 0.5-1.5 | Agua de salinidad media - alta. No debe usarse para riego en suelos con drenaje deficiente. Con cultivos tolerantes. |
| C4 | 2.250-4.0 | 1.5-2.5 | Agua de salinidad alta. Solo para suelos con buena permeabilidad y en donde se puedan aplicar lavados. Solo con cultivos tolerantes. |
| C5 | 4.0-6.0 | 2.5-4 | Agua de salinidad muy alta. No son apropiadas para el riego. Solo con alta permeabilidad, riegos frecuentes y cultivos muy tolerantes. |
| C6 | > 6.0 | >4 | Agua de salinidad excesiva. No debe usarse para riego. |

La presencia de sales en el suelo puede reducir el rendimiento de cultivos, pues en estas condiciones el agua del suelo está menos disponible para la planta. Los cultivos que crecen en condiciones de salinidad muestran generalmente síntomas similares a los de estrés hídrico. No obstante, no todos los cultivos responden igual a la salinidad: algunos pueden producir rendimientos aceptables en suelos altamente salinos, mientras que otros no. Esto es debido a que ciertos cultivos son capaces de extraer más agua de los suelos salinos y/o ser tolerantes a los efectos tóxicos de las sales. En la Tabla 8 se clasifican los cultivos en cuatro grupos de tolerancia. Se indica, para cada uno de ellos, el *valor umbral* de salinidad a partir del cual se reduce su rendimiento y la *sensibilidad* como porcentaje de reducción de la producción por unidad de incremento de la salinidad del suelo.

Durante los primeros años de la puesta en riego de una zona, las sales se van lavando hacia horizontes profundos no explorados por raíces. Esto en principio no afectaría al rendimiento de cultivos a corto plazo. Sin embargo, se pueden salinizar aguas subterráneas que devuelven las sales al perfil del suelo. Por tanto es necesario disponer de un lugar para acumular las sales lavadas. La solución más práctica es *instalar drenes* (tubos perforados situados a 1-1.5 m de profundidad) que con-



ducen el agua de drenaje hacia lugares apropiados donde se acumulan las sales que contienen.

El uso de variedades tolerantes es una solución sólo a corto plazo ya que permite que la salinidad evolucione en el suelo alcanzando niveles cada vez mayores.

Tabla 8. Sensibilidad de diferentes cultivos a la salinidad.

| Cultivo | Umbral de sensibilidad (dS/m) | Sensibilidad (% reducción del rendimiento por dS/m) |
|---------------------------------|-------------------------------|--|
| Sensibles | | |
| Habas | 0.67 | 17 |
| Zanahoria | 0.67 | 14 |
| Fresa | 0.67 | 33 |
| Cebolla | 0.80 | 16 |
| Naranja | 1.13 | 16 |
| Melocotonero | 1.13 | 21 |
| Moderadamente sensibles | | |
| Lechuga | 0.87 | 13 |
| Maiz | 1.13 | 12 |
| Patata | 1.13 | 12 |
| Alfalfa | 1.33 | 7 |
| Tomate | 1.67 | 10 |
| Arroz | 2.0 | 12 |
| Moderadamente tolerantes | | |
| Soja | 3.33 | 20 |
| Trigo | 4.0 | 7 |
| Sorgo | 4.53 | 16 |
| Tolerantes | | |
| Remolacha | 4.67 | 6 |
| Algodón | 5.13 | 5 |
| Cebada | 5.33 | 5 |

4.2. SODIO, CARBONATOS, CLORUROS Y BORO.

Un exceso de sodio provoca problemas en la estructura del suelo. Si la concentración de sodio es alta se produce una mayor dispersión de los agregados del suelo lo cual provoca un sellado de la parte superficial creando una costra que dificulta la emergencia y disminuye la velocidad de infiltración de agua.

Además de los problemas de estructura, el sodio puede ser tóxico en muchos frutales. Esta toxicidad se agrava en suelos con baja salinidad debido a deficiencias de calcio y magnesio cuya solubilidad es menor en suelos sódicos.

Debido de estos aspectos adversos, el contenido de sodio se considera como uno de los factores que determinan la calidad del agua de riego.

La recuperación de estos suelos pasa por el lavado del sodio, tarea no fácil debido a la baja permeabilidad del suelo ocasionada por el sodio, y por la posterior incorporación al suelo de yeso, debido al aporte de calcio que realiza al suelo, y que paliará las carencias ocasionadas por el exceso de sodio.

Los efectos de los carbonatos sobre el suelo son la pérdida o ganancia de calcio y magnesio disponible en el suelo y como vimos anteriormente, puede provocar problemas con el sodio.

El contenido en cloruros del agua ha servido para clasificar la calidad del agua de riego debido a su toxicidad para algunos cultivos. Esto ocurre en especial en los frutales, en donde se puede acumular en los tejidos hasta alcanzar niveles tóxicos. La presencia de boratos en cantidades excesivas también puede ser causa de toxicidad para las plantas. La resistencia al exceso de boro varía mucho de una especie a otra, siendo los más sensibles los frutales.

Tabla 9. Calidad de agua para el riego según diferentes parámetros.

| Problema de riego | Gravedad del problema | | |
|---|-----------------------|-----------|--------|
| | Nulo | Creciente | Severo |
| Salinidad (dS/m) | <0.5 | 0.5-2 | >2 |
| Permeabilidad (dS/m) | >0.33 | 0.33-0.13 | <0.13 |
| Toxicidad específica | | | |
| Sodio (SAR) | <3 | 3-9 | >9 |
| Cloro (meq/l) | <4 | 4-10 | >10 |
| Boro (mg/l) | <0.75 | 0.75-2.0 | >2.0 |
| Efectos en determinados cultivos | | | |
| Nitrógeno (mg/l) | <5 | 5-30 | >30 |
| Bicarbonatos (meq/l) | <1.5 | 1.5-8.5 | >8.5 |
| pH (rango normal) | | [6.5-8.4] | |



5. MANEJO DEL RIEGO EN CONDICIONES DE ESTRÉS.

5.1. DISPONIBILIDAD LIMITADA DE AGUA DE RIEGO.

En Andalucía, debido a la alta variabilidad interanual de la pluviometría, existe un riesgo importante de que la disponibilidad de agua para riego en los años secos no sea la necesaria, por lo que las dotaciones son reducidas y hay que aplicar a los cultivos un volumen inferior a sus necesidades. La pregunta que se plantea en estas ocasiones es la siguiente: 'si dispongo de un volumen limitado de agua de riego, ¿cuándo debo de aplicarla para reducir en lo posible las pérdidas de cosecha?'

Existen varias opciones. La elección de una u otra va a depender de la cantidad de agua de la que se dispone respecto a las necesidades del cultivo, y a que no todas las fases del mismo muestran la misma sensibilidad a déficits hídricos.

Si la reducción en la dotación de agua respecto a la máxima no es muy severa, una opción podría ser aplicar una *reducción porcentual uniforme* a lo largo de todo el ciclo del cultivo y evitar así un estrés severo puntual en fases cruciales como floración o llenado de grano.

Una segunda opción sería la imposición de un cierto estrés hídrico inicial, o sea aplicar el recorte de agua a comienzo del ciclo del cultivo. Con ello se reduce la evapotranspiración inicial promoviendo una cierta aclimatación del cultivo a condiciones de baja disponibilidad de agua. Obviamente se producirá una disminución del crecimiento inicial pero se conseguirá que al llegar a las fases críticas (fase reproductiva) el cultivo esté mejor adaptado y se cuente con agua suficiente para satisfacer sus necesidades en dichas fases. Esta alternativa solo es posible en suelos con una cierta capacidad de retención de agua.

En el caso de cultivos leñosos (frutales) la época en la que el déficit hídrico tiene una repercusión más negativa en la cosecha final es la iniciación floral. En ella se debe garantizar el riego, aunque haya que reducirlo en otras fases, para intentar garantizar una cierta producción.

En el caso en que la dotación de agua sea muy inferior a la óptima, hay que aplicar el riego en la fase más sensible del cultivo para minimizar las pérdidas de cosecha. Estas son la iniciación floral en cultivos leñosos y la floración y llenado de grano en herbáceos anuales.

Si se tiene confeccionado un calendario de riego óptimo, éste se corrige considerando la limitación de agua, bien mediante la reducción de la dosis de cada riego proporcionalmente a la disminución de agua impuesta para la campaña respecto a la óptima, bien ampliando el intervalo de riegos y por lo tanto reduciendo el número de éstos.

5.2. SALINIDAD.

Se estima que en España hay unas 250.000 hectáreas afectadas por un contenido elevado de sales. Dentro de Andalucía destacan Las Marismas del Guadalquivir y las costas de Almería y Huelva.

El cultivo continuado en una zona con problemas de salinidad exige el lavado de sales y su eliminación mediante drenaje. Debido a que el agua almacenada y la escorrentía son pequeñas en relación a los otros términos del balance de agua, el drenaje ocurrirá cuando la suma (riego + lluvia) sea superior al consumo de agua por el cultivo (ET). La cantidad adicional de agua que hay que aplicar en un riego para que se produzca drenaje, y por tanto se laven las sales, se conoce como *necesidades de lavado (D)*. Estas se pueden calcular de una forma simple considerando que para que no se produzca un incremento de sales en el perfil del suelo: *entrada de sales = salida de sales*. Por tanto,

$$CE_r R - CE_d D = 0$$

siendo CE_d , la conductividad eléctrica del agua de drenaje, que se considera igual a la tolerancia del cultivo (Tabla 8), CE_r , la conductividad del agua de riego, R, el volumen de riego (mm), y D, el agua de drenaje (mm).

Si se considera que $R = ET - P + D$, se puede calcular D según la siguiente expresión:

$$D = CE_r (ET - P) / (CE_d - CE_r)$$

siendo ET, las necesidades de agua del cultivo (mm), y P, la precipitación (mm).

En esta ecuación ET y P son conocidas y CE_d se considera igual al umbral de sensibilidad del cultivo (Tabla 8)





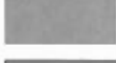
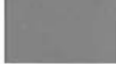

Ejemplo: si la salinidad del agua de riego es $CE_r=0.5 \text{ dS m}^{-1}$ y la $ET-P=500 \text{ mm}$, para un cultivo cuyo CE umbral es 2 dS m^{-1} :

$$D = 0.5 * 500 / (2 - 0.5) = 167 \text{ mm}$$

Si el cultivo fuese más tolerante y tuviese un CE umbral mayor, por ejemplo 4 dS m^{-1} :

$$D = 0.5 * 500 / (4 - 0.5) = 71.4 \text{ mm}$$

En la práctica, cuando los agricultores tienen que regar con aguas salinas la CE_d se fija en la máxima que permite el cultivo para un rendimiento del 50% del que tendría en condiciones de no salinidad. Si la CE del suelo es lineal entre la superficie y la profundidad de drenaje, la salinidad media en la zona de raíces causa un descenso del rendimiento entre un 5-10% para muchos cultivos.

| | |
|---|--|
| AGRICULTURA |  |
| GANADERÍA |  |
| PESCA Y ACUICULTURA |  |
| POLÍTICA, ECONOMÍA Y SOCIOLOGÍA AGRARIA |  |
| FORMACIÓN AGRARIA |  |
| CONGRESOS Y JORNADAS |  |
| R.A.E.A. |  |



JUNTA DE ANDALUCÍA

Consejería de Agricultura y Pesca