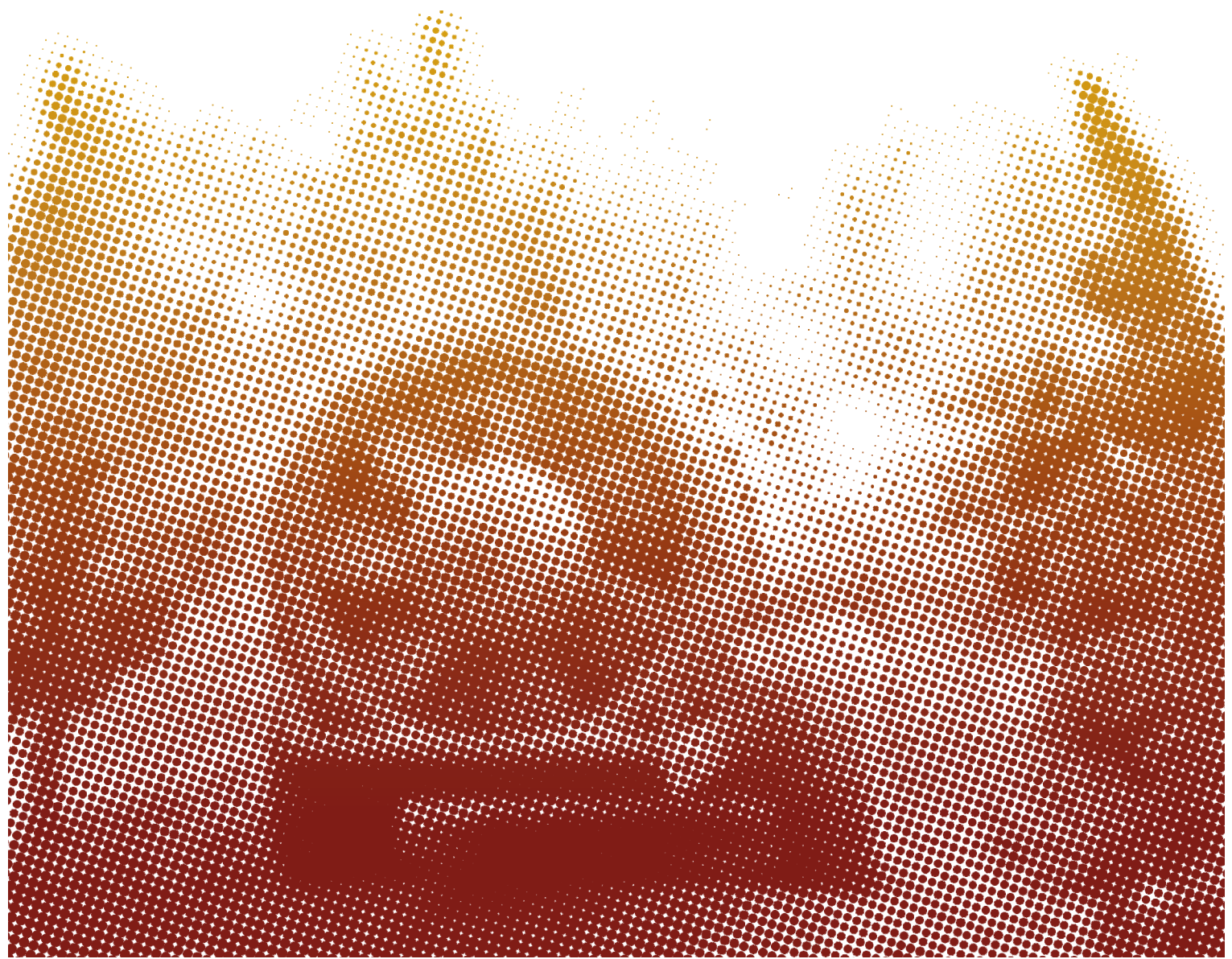




Red "PULSO" (107RT0319)

Tecnología de aplicación de agroquímicos



Tecnología de aplicación de agroquímicos

Comité Editorial:

Magdalena, J. Carlos (coordinador)
Castillo Herrán, Bernardo
Di Prinzio, Alcides
Homer Bannister, Ian
Villalba, Juana

Primera Edición de 1.000 ejemplares, 2010

Edición, Corrección y Diseño:

Área de Comunicaciones del INTA Alto Valle
Lic. María Julieta Calí
DG. Sebastián Izaguirre

ISBN: 978-84-96023-88-8

Hecho el depósito que prevé la ley 11.723

Impreso en Argentina / Printed in Argentine

Reservados todos los derechos de la presente edición para todos los países. Este libro no se podrá reproducir total o parcialmente en ninguna de sus formas sin el consentimiento por escrito del autor.

Las opiniones desarrolladas por los autores en los respectivos capítulos son de su entera responsabilidad, y no necesariamente coinciden con los criterios de los editores. Las solicitudes de permisos o autorizaciones para la reproducción parcial o total de información o material fotográfico proveniente de otras fuentes son de la entera incumbencia del autor o de los autores de cada capítulo, quedando el editor y la editorial exentos de cualquier responsabilidad sobre este punto.

Los autores y el editor no son responsables ni tienen obligación a resarcimiento alguno ante cualquier pérdida o daño resultante de la aplicación de cualquier producto, concepto o procedimiento discutido o derivado de éste, libre, en todo o en parte. El libro no respalda o garantiza ningún producto químico, técnica o equipamiento por sobre otros productos o procedimientos alternativos. La falta de mención de un producto, máquina o procedimiento no implica per se ni crítica ni descalificación alguna del mismo.



Alba Fillat Morata

Ingeniera Técnica Agrícola graduada en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria de Lleida, España.

Actualmente, Técnica del Centre de Mecanització Agrària del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya, España.

Área de especialización: Mecanización agrícola, Tecnologías de aplicación de fitosanitarios e instalaciones de riego.

Participación en grupos de trabajo de normalización ISO y UNE.

Actualmente, secretaria técnica del comité de normalización AEN/CTN 68/SC 1/GT 2: Equipos para tratamientos fitosanitarios.



Alcides Pascual Di Prinzio

Ingeniero Agrónomo, 1976. *Magister Scientiae* en Mecanización Agraria, Universidad Nacional de La Plata, Argentina, 1989. Doctor en Mecanización y Tecnología Agraria, Universidad Politécnica de Valencia, España, 2004.

Docente e Investigador. Profesor del Área Mecanización Agrícola y Coordinador de la Carrera "Tecnatura Universitaria en Mecanización Agraria". Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Comahue, Argentina.

Profesor del Curso de Posgrado "Tecnología de aplicación para la protección de los cultivos" de las Carreras de *Magister Scientiae* en Protección Vegetal y en Mecanización Agraria de la Universidad Nacional de La Plata.



Alexandre Escolà Agustí

Ingeniero Agrónomo e Ingeniero Técnico Agrícola, Universitat de Lleida, España, 1997 y 2001. Doctor por la misma Universidad, 2010.

Actualmente, Profesor colaborador Doctor en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria de Lleida. Participa como docente en asignaturas como: Agrótica y automatización, Ingeniería del riego y Maquinaria agropecuaria, y como investigador en los proyectos OPTIDOSA y SAFESPRAY del Plan Nacional de I + D + I del Ministerio de Ciencia e Innovación.

Área de especialización: Nuevas tecnologías aplicadas a la agricultura. Tesis doctoral sobre Dosificación variable en tiempo de real de productos para la pulverización foliar en plantaciones frutales.



Ángel Bustos Maté

Ingeniero Técnico Agrícola graduado en la Escuela Superior de Agricultura de Barcelona, España, 1964.

Actualmente, Técnico en el Centre de Mecanització Agrària del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya, España.

Área de especialización: Inspecciones de máquinas de aplicación de fitosanitarios. Coordinador de las inspecciones de máquinas de aplicación de fitosanitarios en uso en Catalunya. Posee amplia experiencia en extensión agraria y es profesor de cursos oficiales para la obtención del carnet de manipulador de productos fitosanitarios.



Bernardo Castillo Herrán

Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional de Colombia, 1981. *Magister Scientiae* en la Universidad de Campinas (UNICAMP) SP- Brasil, 1989. Doctorado en Ingeniería Agrícola, Valencia, España, 2006.

Actualmente, Profesor de la Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola.

Área de especialización: Mecanización Agrícola, Técnicas de aplicación de plaguicidas, Fuentes de potencia y Suelos. Experiencia de quince años en investigación en el Instituto Colombiano Agropecuario, ICA.



Darío E. Fernández

Graduado de Ingeniero Agrónomo en la Universidad Nacional del Comahue, Río Negro, Argentina, 1993. MSc. en Entomología en Washington State University – Pullman – WA – Estados Unidos, 2001.

Actualmente, Investigador de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Alto Valle, Río Negro, Argentina.

Área de especialización: Biología y monitoreo de plagas en frutales de pepita. Uso de herramientas de geoestadística y GIS para el monitoreo de plagas en grandes áreas.



Edmundo Hetz

Graduado de Ingeniero Agrónomo en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, Chile, 1966. MSc en Washington State University, Estados Unidos, 1970. Ph.D. en Michigan State University, Estados Unidos, 1982.

Actualmente, Docente de cursos de pre y posgrado en la Facultad de Ingeniería Agrícola y en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, Chile.

Se ha especializado en la aplicación eficaz y no contaminante de plaguicidas en huertos frutales de especies de clima templado y en la utilización eficiente de energía en la agricultura.



Felipe José Gracia Aguila

Ingeniero Agrónomo graduado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Lleida, España. Diploma en Estudios Avanzados (DEA) de los estudios de doctorado del programa de Ingeniería por la Universidad de Lleida.

Actualmente, Jefe del Centre de Mecanització Agrària del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya y Profesor asociado en el área de Maquinaria Agrícola del Departamento de Ingeniería Agroforestal de la UdL.

Área de especialización: Maquinaria Agrícola y Tecnologías de Aplicación. Coordinador del comité de normalización AEN/CTN68/SC1/GT2: Equipos para tratamientos fitosanitarios. Coordinador del Grupo de Trabajo: Técnicas y equipos de aplicación de fitosanitarios del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España.



Ferran Camp Feria-Carot

Ingeniero Agrónomo. Diploma en Estudios Avanzados (DEA) de los estudios de Doctorado del programa de Ingeniería por la Universidad de Lleida, España.

Actualmente trabaja en el Centre de Mecanització Agrària del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya, España.

Área de especialización: Nuevas tecnologías aplicadas a la mecanización agraria y en el control de características e inspección de equipos de aplicación de productos fitosanitarios.

Participa en el grupo de trabajo de Técnicas y equipos de aplicación de productos fitosanitarios del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España y en grupos de trabajo de normalización ISO y UNE.



Francesc Solanelles Batlle

Ingeniero Agrónomo graduado en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria de Lleida, España, 1986. Doctor por la Universidad de Lleida, 2000.

Actualmente trabaja en el Centro de Mecanización Agraria del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya, España.

Área de especialización: Mecanización agraria, Maquinaria de aplicación de fitosanitarios.

Participa en proyectos de investigación españoles y europeos y en grupos de trabajo internacionales de normalización ISO y de otras instituciones como ENTAM o la OMS.



Gerardo Masía

Graduado de Ingeniero Agrónomo en la Universidad de Morón, Buenos Aires, Argentina, 1994. Magíster en Control de plagas e impacto ambiental en la Universidad de San Martín, Buenos Aires, 2008.

Actualmente, Investigador del Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar, Buenos Aires. Coordinador del Proyecto Nacional "Tecnologías innovativas para la aplicación de fitosanitarios".



Gilton José Rodrigues

Ingeniero Agrónomo en la Universidad Federal de Viçosa, MG, Brasil, 1975. Maestría en Ingeniería Agrícola en la Universidad Federal de Viçosa, MG, Brasil, 2002. Doctorado en la Universidad Federal de Viçosa, MG, Brasil, 2005.

Actualmente, Profesor del Departamento de Engenharia de Agronegócios da UFF, Brasil.

Área de especialización: Ingeniería de aplicación de fitosanitarios y mecanización agrícola.



Ian Homer Bannister

Graduado de Ingeniero Agrónomo en la Universidad de Chile, Santiago, Chile, 1997. Doctorado en la Universidad Politécnica de Madrid, España, 2003.

Actualmente, Profesor Asistente en la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

Área de especialización: Mecanización Agrícola.



João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha

Graduado en Ingeniería Agrícola en la Universidad Federal de Lavras, Brasil, 1998. Master y Doctor en Ingeniería Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Brasil, 2000 y 2003.

Actualmente, Profesor de la Universidade Federal de Uberlândia, Brasil.

Se especializa en máquinas e implementos, principalmente en el área de tecnología de aplicación de agroquímicos.



Jorge Carlos Magdalena

Ingeniero Agrónomo. Universidad de Morón, Buenos Aires, Argentina, 1982. *Magister Scientiae* en Mecanización Agraria. Universidad Nacional de La Plata, Argentina, 1989. Doctor en Mecanización y Tecnología Agraria. Universidad Politécnica de Valencia, España, 2004.

Director de la Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle del INTA, Río Negro, Argentina, 2004-2008.

Actualmente, Investigador en Mecanización en Fruticultura y Tecnología de Aplicación de Agroquímicos en la Estación Experimental Alto Valle del INTA.



Jorge Riquelme Sanhueza

Ingeniero Agrónomo. Universidad de Concepción, Chile, 1985. Magíster en Ingeniería Agrícola. Universidad de Concepción, 1990. Doctor Ingeniero Agrónomo. Universidad Politécnica de Madrid, 1997.

Actualmente, Investigador del Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Región del Maule, Chile, y Profesor de Mecanización Agrícola en la Universidad de Talca, Chile.



José Fernando Schlosser

Ingeniero Agrónomo graduado en la Universidad Federal de Santa María, RS, Brasil, en 1983. Doctorado realizado en la Universidad Politécnica de Madrid en 1996.

Actualmente es profesor titular de la Universidad Federal de Santa María, RS, Brasil.

Área de especialización: energía, maquinaria agrícola, agricultura de precisión, tractores, planificación de la empresa rural.

Coordinador del Posgrado en Ingeniería Agrícola, Director del Núcleo de ensayos de máquinas agrícolas en la Universidad Federal de Santa María, RS, Brasil.



Juan José Olivet

Graduado de Ingeniero Agrónomo en la Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay, 1983. Doctorado en la Universidad Politécnica de Valencia, España, 2009.

Actualmente, Profesor de Mecanización Agrícola en cursos de grado y posgrado en la Facultad de Agronomía, Universidad de la República y Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de la Empresa, Uruguay.

Área de especialización: Tecnología de Aplicación de Agroquímicos.



Juana Villalba

Graduada de Ingeniera Agrónoma en la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, Uruguay, 1996. Doctorado en Agronomía en la Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu/SP, Brasil, 2007.

Actualmente, Docente de cursos de grado y posgrado en la Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay.

Se especializa en Manejo de Malezas y Herbicidas en sistemas agrícola- pastoriles y forestales y en Tecnologías de Aplicación de fitosanitarios en cultivos extensivos.



Luis Val Manterola

Graduado de Ingeniero Agrónomo en la Universidad Politécnica de Madrid, 1977. Doctorado en la Universidad Politécnica de Madrid, 1981.

Actualmente, Catedrático en la Universidad Politécnica de Valencia, España. Área de especialización: Mecanización agraria, en particular equipos de distribución de productos fitosanitarios.

Participa en el Convenio de la Generalitat Valenciana con la UPV para revisión de pulverizadores desde 1987. Asesor del Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino para legislación sobre inspección de pulverizadores, España.



Mauri Martins Teixeira

Ingeniero Agrónomo graduado en la Universidad Federal de Viçosa, Brasil, 1977. Maestría en Ingeniería Agrícola en la Universidad Federal de Viçosa, 1988. Doctorado realizado en la Universidad Politécnica de Madrid en 1997.

Actualmente es Profesor y Jefe del Departamento de Ingeniería Agrícola en la Universidade Federal de Viçosa.

Área de especialización: Ingeniería de aplicación de fitosanitarios y Mecanización Agrícola.



Ramiro Esteban Cid

Graduado de Ingeniero Agrónomo en la Universidad de Buenos Aires, 1982.

Actualmente, Investigador del Instituto de Ingeniería Rural. INTA Castelar, Buenos Aires, Argentina.

Área de especialización: Aplicación de Agroquímicos y Agricultura de Precisión.

Coordinador del Módulo "Aplicaciones Terrestres" del Proyecto Nacional "Tecnologías innovativas para la aplicación de fitosanitarios".



Rogério Faria Vieira

Graduado de Ingeniero Agrónomo en la Universidade Federal de Viçosa, 1978. Doctorado en la Universidade Federal de Viçosa, 1989. Posdoctorado en Quimigación en la Universidad de Georgia, Estados Unidos, 1996.

Actualmente, Investigador de EMBRAPA, Brasil. Área de especialización: Cultivo de poroto y quimigación.



Sergio Néstor Behmer

Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de La Plata, Argentina, 1991. *Magister Scientiae* en Mecanización Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de La Plata, 1999.

Actualmente, Docente investigador del Área Mecanización Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue, Argentina.

Área de especialización: Mecanización agrícola. Tecnología de aplicación de fitosanitarios en huertos frutales.



Walter Boller

Ingeniero Agrónomo graduado en la Universidad de Passo Fundo/RS, Brasil, 1982. Maestría en Ingeniería Agrícola en la Universidade Federal de Santa María/RS, Brasil, 1990 y Doctorado en Energía en la Agricultura en la Universidade Estadual Paulista, Botucatu/ SP, Brasil, 1996.

Actualmente, Profesor e Investigador de cursos de grado y posgrado en Agronomía de la Universidade de Passo Fundo/RS, Brasil.

Se especializa en máquinas, mecanización agrícola y tecnología de aplicación de agroquímicos.



Wellington Pereira Alencar de Carvalho

Graduado de Ingeniero Agrónomo en la Escola Superior de Agricultura de Lavras, ESAL, 1983. Doctorado en Energía en la Agricultura en la Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" UNESP, Brasil, 2003.

Actualmente, Profesor Adjunto de Máquinas e Mecanización Agrícola y Tecnología de Aplicación, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Brasil.

Área de especialización: Máquinas Agrícolas y Tecnologías de Aplicación.

Investigador del Centro Nacional de Engenharia Agrícola, Brasil, de 1983 a 1994.

Instructor de cursos de formación de pilotos agrícolas y Presidente de la Asociación Brasileira da Ciência Aeroagrícola.

ÍNDICE GENERAL

- 17 **CAPÍTULO 1**
Pasado y presente de la aplicación de agroquímicos en agricultura
Magdalena, J. C.; Fernández, D.; Di Prinzio, A.; Behmer, S.
- 27 **CAPÍTULO 2**
Formulación de agroquímicos para el control de plagas
Cunha, J. P. A.; Teixeira, M. M.; Castillo, B.; Rodrigues, G.
- 45 **CAPÍTULO 3**
Deriva de productos agroquímicos - Efecto de las condiciones ambientales
Villalba, J.; Hetz, E.
- 55 **CAPÍTULO 4**
Formación de gotas en la aplicación de plaguicidas
Castillo, B.
- 67 **CAPÍTULO 5**
Estudio de la población de gotas de pulverización
Teixeira; M. M.
- 77 **CAPÍTULO 6**
Las boquillas de pulverización
Masiá, G.; Cid R.
- 89 **CAPÍTULO 7**
Consideraciones operativas de las boquillas pulverizadoras
Boller, W.; Schlosser, J. F.
- 97 **CAPÍTULO 8**
Equipos para la aplicación de agroquímicos - Denominación y clasificación
Magdalena, J. C.; Di Prinzio; A.; Behmer, S.

- 107 **CAPÍTULO 9**
Equipos pulverizadores terrestres
Di Prinzio, A.; Behmer, S; Magdalena, J. C.
- 121 **CAPÍTULO 10**
Regulación de equipos pulverizadores
Homer, I.; Olivet, J.; Riquelme J.
- 133 **CAPÍTULO 11**
Inspección de equipos pulverizadores agrícolas
Gracia, F.; Camp, F.; Fillat, A.; Solanelles, F.; Bustos, A.; Val, L.
- 147 **CAPÍTULO 12**
Aplicación de agroquímicos en el agua de riego
Cunha, J. P. A.; Vieira, R. F.
- 157 **CAPÍTULO 13**
Tecnología de aplicación de agroquímicos por vía aérea
Cunha, J. P. A.; Carvalho, W. P. A.
- 169 **CAPÍTULO 14**
Manejo de agroquímicos
Cid, R.; Masiá, G.
- 179 **CAPÍTULO 15**
Agricultura de precisión y aplicación de productos fitosanitarios
Escolà, A.

SIMBOLOGÍA EMPLEADA

A	Ancho de trabajo o distancia entre filas en el caso de frutales (m)	ES	Emulsión para tratamiento de semillas
ABI	Cebo para granos	EW	Emulsión – aceite en agua
AE	Bomba de aerosol	f	Factor de contención
AR	Amplitud relativa del espectro de gotas	FD	Pastilla fumigante
BB	Cebo en bloques	FDEfOp	Franja de deposición efectiva operacional, m
BR	Bloque	FG	Granulado fino
C	Capacidad del tanque (L)	FK	Vela fumigante
CB	Cebo concentrado	FP	Cartucho fumigante
Ce	Concentración de agroquímico en solución de suelo en equilibrio con el suelo ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	FR	Filamento fumigante
CDA	Aplicación de gotas controladas	Fr	Número de Froude
CG	Granulado encapsulado	FS	Concentrado fluido para tratamiento de semillas
CH	Coefficiente de homogeneidad	FT	Tableta fumigante
Co	Capacidad operativa ($\text{ha}\cdot\text{h}^{-1}\text{ ha}\cdot\text{min}^{-1}$)	FU	Producto fumigante
CS	Suspensión de encapsulado	FW	Gránulo fumigante
CV	Coefficiente de variación (%)	GA	Gas – empaque presurizado
CT	Capacidad del tanque (expresado en L o $\text{L}\cdot\text{m}^{-1}$ para cálculo de agitación)	GB	Cebo granulado
D	Diámetro	GE	Producto generador de gas
d	Diámetro de la gota (μm)	GG	Macro granulado
DC	Concentrado dispersable	GIS	Sistemas de información geográfica
d_v	Diámetro volumétrico medio (μm)	GP	Polvo fino
d_{vis}	Diámetro medio volumen/superficie o diámetro de Sautter (μm)	GPS	Sistema de posicionamiento global
d_m	Diámetro medio de las gotas (μm)	GR	Granulado
DP	Polvo seco	GS	Pasta aceitosa
Dr	Diámetro del rotor	H	Altura de los árboles (m)
DS	Polvo para tratamiento de semillas en seco	HLB	Balance hidrofílico – Lipofílico
Dt	Distancia recorrida por la gota (cm)	HN	Concentrado para nebulización (<i>fogging</i>) caliente
DMV	Diámetro de la mediana volumétrico (μm)	i	Índice de ajuste de densidad foliar (0,7 a 1)
DMN	Diámetro mediana numérica (μm)	IAF	Índice de área foliar
D_{0.1}	Diámetro de gota por debajo del cual se encuentra el 10% del volumen total de líquido pulverizado (μm)	ICM	Manejo Integrado de Cultivos
D_{0.5}	Diámetro de gota por debajo del cual se encuentra el 50% del volumen total de líquido pulverizado (μm). Equivalente a DMV	K	Coefficiente de desgaste de la bomba
D_{0.632}	Diámetro de gota por debajo del cual se encuentra el 63,2% del volumen total de líquido pulverizado (μm)	k	Constante de ajuste
D_{0.9}	Diámetro de gota por sobre el cual se encuentra el 10% del volumen total de líquido pulverizado (μm)	K_d	Coefficiente de adsorción a los coloides del suelo
D_{0.999}	Diámetro de gota por debajo del cual se encuentra el 99,9% del volumen total de líquido pulverizado (μm)	K_r	Coefficiente de adsorción
D_{max}	Valor correspondiente al diámetro que representa el pico de la curva de distribución de frecuencia de tamaños de gota (μm)	K_h	Constante de la Ley de Henri ($\text{Pa m}^3\text{ mol}^{-1}$)
D_o	Diámetro de descarga del orificio	KN	Concentrado para nebulización ("Fogging") en frío
E	Densidad de energía de campo eléctrico	K_{oc}	Coefficiente de partición Carbono orgánico – agua
e	Espesor de la fila de árboles (m)	K_{ow}	Coefficiente de partición <i>n</i> -octanol/agua
EC	Concentrado para emulsión	L_o	Longitud
ED	Líquido para pulverización electrostática	Lp	Carrera del pistón (cm)
EPP	Equipos de protección personal	LA	Laca
EO	Emulsión – agua en aceite	LV	Bajo volumen
		LS	Solución para tratamiento de semillas
		MAF	Máquinas de aplicación de fitosanitarios
		MG	Micro granulado
		MIP	Manejo integrado de plagas
		Mg	Flujo de masa de aire
		ML	Flujo de masa de líquido
		m_L	Caudal de la boquilla ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)
		m_g	Caudal del aire o del gas ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)

mt	Rendimiento total	SS	Polvo soluble para tratamiento de semillas
N	Potencia (kW)	SSD	Sistema de soporte de decisiones
n	Número de gotas	SO	Aceite para formar película
n_c	Número de cilindros	SU	Solución para aplicar en UBV – ultra bajo volumen
n_s	Número de gotas por unidad de superficie, gotas.cm ⁻²	T	Temperatura del aire (°C)
NMD	Diámetro numérico mediano (μm)	T_{2,5m}	Temperatura del aire a 2,5 m de altura (°C)
Oh	Número de Ohnesorge	T_{10m}	Temperatura del aire a 10 m de altura (°C)
p	Presión, (Pa)	TB	Tableta
p₁	Presión interna en cualquier punto de la superficie de la gota (Pa)	TP	Polvo para tamizar
p_g	Presión aerodinámica externa del gas (Pa)	TRV	Volumen de la fila de los árboles
p_σ	Presión de la tensión superficial (Pa)	UBV	Ultra bajo volumen
P	Presión en la boquilla o de la bomba (bar; Pa)	UL	Producto para aplicar en UBV – ultra bajo volumen
PA	Pasta	URV	Unidad de restricción variable
PB	Cebo en platillo	v	Vida media de la gota (s)
PC	Concentrado en pasta	V	Velocidad
pKa	Constante de ionización ácida	V_a	Volumen de líquido por unidad de volumen de árbol (L.m ⁻³)
pKb	Constante de ionización básica	v_i	Volumen de cada gota de la muestra (m3)
PH	Peso hectolítrico (kg.hL ⁻¹)	v_L	Velocidad del líquido en el orificio de la boquilla
PM	Peso molecular (g mol ⁻¹)	v_g	Velocidad del aire o del gas
PR	Filamento vegetal	Vm	Volumen medio de las gotas (μm ³)
PS	Semilla peletizada	VP	Producto formulado de vapor
PV	Presión de vapor, (Pa)	VRT	Tecnología de dosificación variable
q	Caudal de la boquilla (L.min ⁻¹)	V5m	Velocidad del viento a 5 m de altura (m.s ⁻¹)
q_a	Caudal de aplicación (L min ⁻¹)	We	Número de Weber
q_t	Flujo total	Weg	Número de Weber para la fase gas
Q	Tasa de aplicación (L.ha ⁻¹)	WG	Granulado para suspensión acuosa
Q_a	Caudal de aire (m ³ .h ⁻¹)	WP	Polvo mojable
Q_b	Caudal de la bomba (L.min ⁻¹)	WS	Polvo para preparación de "papillas"
Q_e	Intensidad de campo eléctrico	X	D _{0,632}
Q_r	Fración del volumen total constituido de gotas de diámetro menor que D	x/m	Cantidad de plaguicida adsorbida en el suelo (g.g-1)
Q_t	Caudal total (L.min ⁻¹)	ΔT	Depresión psicrométrica, (°C)
r	radio	ρ	Densidad (kg/m ³ ; g/cm ³)
R	Régimen de rotación (v.min ⁻¹)	ρ_g	Densidad del gas
RB	Cebo para uso inmediato	ρ_L	Densidad del líquido
Re	Número de Reynolds	σ	Coefficiente de tensión superficial, (N.m-1; dyn.cm ⁻¹)
Re_g	Número de Reynolds para la fase gas	η:	Rendimiento de la bomba
REA	Razón de estabilidad atmosférica	μ	Viscosidad dinámica (kg.m ⁻¹ .s ⁻¹ ; dyn.cm ⁻²)
R_{v/s:}	Relación volumen/superficie de las gotas de una muestra (μm)	μ_g	Viscosidad dinámica del aire o del gas
S	Solubilidad en agua (g.m ⁻³)	μ_L	Viscosidad dinámica del líquido
SB	Cebo en trozos irregulares	ω	Velocidad angular(rad.seg ⁻¹)
S_c	Superficie cubierta por el líquido (m ²)	ε	constante dieléctrica
SC	Suspensión concentrada	1/n	Grado de linealidad de la adsorción
Se	Área efectiva del cilindro (cm ²)		
SE	Emulsión heterogénea		
SG	Granulado soluble en agua		
s_i	Superficie de cada gota de la muestra (μ.m ²)		
SL	Concentrado soluble en agua		
SP	Polvo soluble		

PRÓLOGO

Supone para mí una gran satisfacción redactar el prólogo de este libro, pues he compartido con los autores jornadas inolvidables mientras desarrollábamos las actividades programadas por la Red CYTED, "Técnicas sostenibles de distribución de plaguicidas (PULSO)" desde 2007. A lo largo de los distintos talleres, conferencias y cursos hemos trabajado y discutido sobre muchos de los contenidos que se recogen aquí. Pero, aunque creo que todos estos actos han sido de gran utilidad, no es menos cierto que su impacto se habrá limitado básicamente a los que asistieron a ellos. En cambio, un libro puede estar presente en muchos lugares y, sobre todo, de un modo indefinido, a lo largo del tiempo. Conscientes de ello, todos los participantes en la Red estuvimos de acuerdo desde nuestra primera reunión de coordinación (Montevideo, junio 2007) en que nuestra tarea en la Red debía concluir con la redacción de un texto donde se condensaran todas las aportaciones realizadas.

Evidentemente, hay numerosos y brillantes textos que tratan esta temática. Pero creo que éste viene a cubrir un hueco que merece la pena comentar. En efecto, y como no podía ser de otra manera tratándose de una labor desarrollada desde CYTED, todos los capítulos están escritos pensando en América Latina. Esto, lamentablemente, sucede con muy pocos productos de la comuni-

dad científica mundial. Es verdad que en un mundo globalizado los conocimientos son válidos y llegan a todas partes (publicaciones científicas, Internet), pero cuando se tratan aspectos técnicos ligados a espacios concretos, tiene gran interés adaptarlos a las circunstancias específicas del ámbito donde se van a aplicar. Siendo América Latina todo un continente con climas, suelos y producciones agrícolas extraordinariamente variados, compartimos no solo las lenguas ibéricas sino también mentalidad, nivel de desarrollo tecnológico y problemas ligados a la formación de los trabajadores, papel primordial de la agricultura en nuestras economías, que pueden justificar que un libro como éste sea de utilidad.

Para ello, y gracias a las facilidades que ha supuesto estar organizados en una red CYTED, se ha contado con profesionales de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, España, Uruguay y Venezuela, provenientes de un total de trece universidades o centros de investigación. Con tal cantidad de capital humano ha sido fácil encontrar especialistas para cada uno de los capítulos que en conjunto decidimos abordar.

Se ha tratado de conseguir un texto de interés para los técnicos y asesores que trabajan la producción agrícola, para los estudiantes de nuestras universidades y también para nuestra comunidad científica.

La aplicación de fitosanitarios está sufriendo una rápida evolución, en paralelo a la que tienen los productos fitosanitarios, buscando siempre una protección de los cultivos más eficaz, con costos menores, tanto medioambientales como económicos. Lo que ha permitido este proceso es el avance tecnológico. Los equipos actuales llevan incorporados nuevos materiales, dispositivos más complejos, regulaciones más numerosas que, en suma, requieren una mayor capacitación para sus usuarios. En muchos casos, es difícil encontrar esa información contrastada que permita interpretar correctamente la información manejada y resolver las dudas sobre su correcta utilización.

Respecto al contenido, los dos primeros capítulos se han reservado a la fijación de conceptos básicos relacionados con la aplicación de fitosanitarios, para pasar en un tercero a tratar la repercusión que estos tienen sobre la calidad del medio ambiente. Los capítulos 4 al 7 se han dedicado a tratar el proceso de la pulverización, que es la técnica más habitual de distribución de fitosanitarios, prestando la atención merecida a las gotas y a las boquillas donde se forman. Los siguientes tratan sobre los equipos de distribución como maquinaria agrícola imprescindible en cualquier explotación, tenga el tamaño que tenga y cualesquiera sean sus producciones.

Se han reservado dos capítulos (10 y 11) para dos temas cada vez más importantes en este campo: las regulaciones de los equipos y los métodos para asegurar su correcto mantenimiento. Los siguientes tratan sobre sistemas menos habituales como la distribución de fitosanitarios por irrigación y por vía aérea, que merecen ser discutidos específicamente, para acabar con un capítulo destinado a la agricultura de precisión, que debe ser el futuro en este campo.

Una vez leído el total de capítulos que conforman el libro, creo poder asegurar que se ha cumplido el objetivo y se cuenta con un texto que va a ayudar a una mejor comprensión y aprovechamiento de la tecnología de aplicación de fitosanitarios actualmente disponible en el ámbito latinoamericano.

Me queda nada más que agradecer a CYTED la ayuda recibida a lo largo de estos cuatro años. Todas las actividades realizadas han supuesto experiencias positivas, y espero que este último fruto sea un adecuado colofón de la tarea efectuada por la Red "Pulso".

Dr. Luis Val Manterola

Coordinador de la red CYTED "Pulso" (107RT0319)

Capítulo 1

Pasado y presente de la aplicación de agroquímicos en agricultura

Magdalena, J. C.; Fernández, D.; Di Prinzio, A.; Behmer, S.

- 1.1. HISTORIA DE LA PROTECCIÓN DE LOS CULTIVOS
- 1.2. CONCEPCIÓN MODERNA DEL USO DE AGROQUÍMICOS
- 1.3. IMPORTANCIA DEL CONTROL DE PLAGAS
- 1.4. TECNOLOGÍA DE APLICACIÓN DE AGROQUÍMICOS
- 1.5. REFERENCIAS CONSULTADAS

1. 1. Historia de la protección de los cultivos

Los antecesores del hombre moderno vivieron durante aproximadamente dos millones de años de la caza y la recolección. Luego, en su evolución el Homo Sapiens fue ocupando todos los ecosistemas del planeta (excepto la Antártida) y se fue adaptando a los recursos de cada lugar.

Hace algo más de 10.000 años, en tres diferentes regiones (sudoeste del Asia, China y luego en Centroamérica) surgen en forma separada iniciativas sostenidas de agricultura y ganadería.

Es difícil determinar si la aparición de la agricultura fue consecuencia de la presión poblacional ejercida por la especie humana o si su práctica permitió la explosión demográfica que llevó al agotamiento de los recursos naturales de las diferentes regiones del planeta.

Es probable que el motivo real haya sido una combinación de estos factores. No obstante, hay un aspecto que no tiene discusión: la agricultura no fue un breve accidente en la historia de la humanidad, sino que significó la completa modificación del ecosistema del planeta.

El paso del hombre de cazador-recolector a agricultor no fue producto de una sola generación. Fue un cambio que llevó siglos y en el cual cada generación realizó sus aportes.

Además, es probable que hayan coexistido algunos manejos de los rebaños salvajes y de la recolección de frutos, tubérculos y semillas con etapas primitivas de agricultura.

En estos procesos, el hombre ideó una serie de estrategias de control de plagas, enfermedades y malezas.

El desmalezado manual o con herramientas rudimentarias, la captura de orugas y adultos de insectos fitófagos que luego destruían a través del fuego, el agua o el simple aplastado fueron prácticas de uso común para nuestros antepasados.

Durante este período la fuerza del hombre cum-

plió un rol preponderante, empleando una serie de herramientas manuales para complementar el trabajo de los arados, rastras y rodillos traccionados por animales.

Los primeros registros escritos sobre control de plagas se encuentran en el Libro Egipcio de los Muertos y en el Antiguo Testamento, haciendo referencia al uso de compuestos azufrados por parte de los sumerios, para el control de insectos y ácaros.

Los chinos, por su parte, usaban insecticidas botánicos y compuestos a base de mercurio y arsénico unos 1.200 años AC.

En la Era grecoromana se generó un considerable cuerpo bibliográfico sobre prácticas para el control de plagas y enfermedades. En este material escrito se citan tanto plantas con propiedades insecticidas como compuestos inorgánicos, algunos de los cuales siguen siendo utilizados en la actualidad.

Durante el oscurantismo de la Edad Media se produjeron pocos conocimientos y algunas de las prácticas de las civilizaciones de la antigüedad fueron quedando en el olvido. El interés sobre la ciencia se retomó en el siglo XVII.

Hacia fines del siglo XIX se registró una marcada evolución en la agricultura. Los factores fueron múltiples, pero la aparición de la máquina de vapor fue el más relevante.

Por otra parte, el cambio de una agricultura de subsistencia por una agricultura comercial también aceleró el proceso de adopción de nuevas herramientas para el control de plagas, ya que las pérdidas ocasionadas por éstas no solo afectaban la alimentación familiar, sino que ahora ponían en riesgo la inversión económica realizada y la continuidad del agricultor en el negocio.

En la misma época, el empleo de azufre para combatir el oídio (originalmente identificado como *Oidium tuckeri*, Berk) en los viñedos incentivó la capacidad de los agricultores e improvisados inventores que concibieron las primeras "azufradoras".

Además del azufre se usaban productos a base de arsénico. En 1870 se descubrió por casualidad el “verde París” (aceto-meta-arsenito de cobre), primer insecticida químico. En 1892 se introdujo el arseniato de plomo y los compuestos dinitros (DNOC). A este período se lo conoce como la época de los “plaguicidas inorgánicos”.

El aporte desde el equipamiento para la aplicación de productos líquidos lo hizo C. V. Riley al inventar la boquilla de turbulencia en el año 1888 (Figura 1.1).

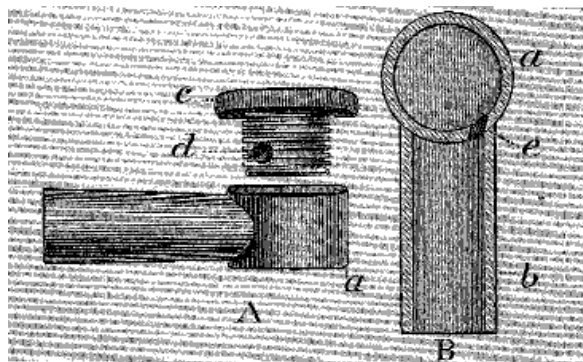


Figura 1.1. Boquilla de Riley, 1888 (Fuente: Berenbaun, 1998)

Para el control de insectos y enfermedades en fruticultura de pepita, más precisamente sobre cultivos de manzano, en las primeras décadas del siglo XX se combinaban métodos físicos (poda, cepillado de troncos, envoltura de frutos con bolsas de papel sulfito, etc.) con pulverizaciones de químicos inorgánicos (sulfurados, arsenicales, fluorados, etc.) y fuentes minerales (aceites). Fue así que los equipos pulverizadores comenzaron a ser un implemento tan común como los arados.


Sin embargo, la inexistencia de controles de calidad para estos productos y la variabilidad en los resultados obtenidos para el control de las principales plagas hacían que los agricultores continuaran dependiendo, en gran medida, de los métodos físicos y del control biológico tradicional.

La Segunda Guerra Mundial, la penuria alimentaria de millones de personas y la aparición de nuevos agroquímicos llevaron a que se produjera un auge en la protección de los cultivos.

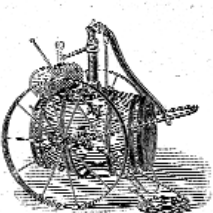
FERRUCARIL SUD

BOMBAS ROCIADORAS "MYERS"

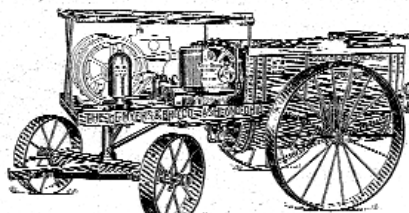
SOLICITE CATÁLOGO N.º 107



BOMBA A MANO. — Capacidad 20 litros. Disponemos tres modelos: AC5858 con tanque de hierro esmalinado. AC28013 con tanque de cobre pulido. AC58719 con tanque de cobre en platinado.



BOMBA A AIRE COMPRIMIDO. — AC28013. Capacidad 200 litros. Modelo ideal para muelles, frutales chicos. Provista de rueda de llantas apaches y llantas de gran capacidad. Equipo sólido y bien balanceado.



EQUIPO N.º 105. — Capacidad 150 galones (aprox. 570 litros). Compuesto de una bomba de lubricación automática, de doble cilindro, accionado por un motor a vapor "EL TRIUNFO". Un equipo económico para establecimientos frutales.

USE las famosas Insecticidas y Fungicidas

DISTRIBUIDORES EXCLUSIVOS

P. Colón 1041, VENEZUELA **AGAR CROSS & Co** C. Miller 1041, TERNOS
BUENOS AIRES — ROSARIO
BAHIA BLANCA • TUCUMAN • MENDOZA

El carácter mixto de esta Revista le asegura actualidad y afecto en los hogares del campo

Figura 1.2. Los equipos pulverizadores a principios de siglo XX (Fuente: Revista del Ferrocarril Sud, 1928)

Las propiedades del DDT (dicloro-difenil-tricloro-etano) sintetizado por O. Zeidler en 1874 fueron descubiertas por P. H. Müller en 1939 y ayudaron a combatir el tifus y la malaria durante la Segunda Guerra Mundial, lo que le valió a este último la obtención del premio Nobel de Medicina en 1948.

En 1936, los químicos alemanes estudiaron los compuestos órgano-fosforados con fines bélicos. Una vez finalizada la guerra, el Parathion fue el primer producto de este grupo utilizado en la producción agrícola.



Figura 1.3. Aplicación de agroquímicos en fruticultura (Fuente: Ministerio de Agricultura de la Nación, 1934).

El biólogo holandés F.W. Went descubrió las fitohormonas en 1926 aislando la primera sustancia de crecimiento natural, que sería denominada “auxina”. En 1940, W. G. Templeman llegó a la conclusión de que estas sustancias pueden destruir malezas, dando origen al MCPA (ácido 2 metil-4-clorofenoxiacético). De manera independiente, en Estados Unidos se descubre el potencial de un compuesto que dará origen al 2,4-D (ácido 2,4 diclorofenoxiacético).

El uso de estas nuevas familias de agroquímicos fue acompañado por una nueva generación de equipos pulverizadores que hicieron la tarea de control de plagas más ágil y económica.

Hasta esa época, los pulverizadores eran traccionados por caballos (luego por tractores). En fruticultura, las aplicaciones se realizaban a manguera, con altos volúmenes hasta alcanzar el “punto de goteo”, y se necesitaban al menos tres personas para cumplir la tarea.

A fines de los años 50 y con el avance sostenido de la mecanización de los cultivos, el desarrollo de los equipos de aplicación fue evolucionando en forma constante. En fruticultura tuvieron un avance tecnológico trascendente con la aplicación del aire como elemento de transporte. En los cultivos extensivos comenzó a generalizarse el uso de equipos pulverizadores de barra.

Los tanques evolucionaron desde los de madera a los de plástico. Se fueron imponiendo boquillas de materiales plásticos y cerámicos resistentes a la abrasión y con una mayor vida útil que las anteriores de metal. Se incrementó la longitud de las barras, lo que dio lugar al desarrollo de sistemas pasivos de estabilización. Surgieron los equipos automotrices, lo que mejoró la capacidad operativa de los sistemas. En la actualidad se transita la era de la Agricultura de Precisión, donde el uso de la electrónica y la tecnología de comunicaciones y de *software* aportan elementos significativos para mejorar la eficiencia de la aplicación de agroquímicos.



Figura 1.4. Aplicación de agroquímicos en cultivos bajos en la década del '50 (Fuente: Potts, 1958)

1.2. Concepción moderna del uso de agroquímicos

El abuso en la utilización de las nuevas familias de agroquímicos llevó a serios desequilibrios ecológicos. Con la aparición del libro "La Primavera Silenciosa" de R. Carson en 1962, se inició un profundo debate en la opinión pública sobre el uso de estos productos y sus consecuencias.

Los especialistas en manejo de plagas comenzaron a detectar que existían caminos más racionales que la aplicación de agroquímicos a "calendario fijo". Fue así como surgió la llamada "lucha guiada", que consistía en verificar que los insectos y agentes patógenos superasen un umbral de daño económico para realizar la aplicación.

El término "control integrado" fue empleado por primera vez por E. Michelbacher y O. G. Bacon en 1952, al referirse al control de *Cydia pomonella* (L.) en nogales. Durante la década del 60, en forma pa-

ralela en Europa y Estados Unidos se comenzaron a gestar ideas para mitigar los efectos adversos de los plaguicidas, y surgieron programas de investigación e intervención sustentados por organismos oficiales. Fue así que la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) produjo, en 1967, un primer documento sobre lo que denominó "Protección Vegetal Integrada", en el que indica que: *"Se aplicarán todos los métodos económica, ecológica y toxicológicamente apropiados para mantener a los organismos dañinos por debajo de niveles perjudiciales, mientras que se pone énfasis en el uso de los factores naturales de control"*.

En 1972, el presidente norteamericano R. Nixon ordenó a diversos organismos gubernamentales tomar acción inmediata para desarrollar programas de manejo de cultivos, con el fin de *"proteger el abastecimiento de alimentos para la nación contra las plagas, proteger la salud de la población y proteger el medio ambiente"*, dando inicio de esta manera a los programas de Manejo Integrado de Plagas (MIP).

Con el transcurso del tiempo, las definiciones del concepto del MIP han ido variando, pero quizás una de las más completas es la siguiente: “la selección, integración e implementación de un control de plagas teniendo en cuenta las consecuencias económicas, ecológicas y sociológicas. En este contexto, la aplicación de agroquímicos es sólo una herramienta más, si bien una de las más importantes, dentro de una estrategia de manejo de plagas”.

De esta manera, el estudio de la biología de las plagas y los umbrales económicos de control son considerados dos pilares fundamentales sobre los cuales se sustentan los programas del MIP (Figura 1.5).

En fruticultura, la primera indicación dada en un reporte anual del Grupo de Trabajo de la Organización Internacional de Lucha Biológica (OILB) denominado “Control Integrado en Huertos” ocurrió en 1968, y manifestó el deseo de establecer reglas para medir los efectos colaterales de los plaguicidas sobre los enemigos naturales. En el mismo año, H. Steiner y M. Baggioloni publicaron el primer libro de una serie muy reconocida de la OILB, denominado “Introducción a la Protección de las Plantas en Huertos de Manzanos”. La aproximación interdisciplinaria en los métodos de con-

trol permitió el surgimiento de una visión holística de la problemática del control de plagas y enfermedades. En este marco, en 1976 apareció la denominada “Producción Integrada”, donde la protección vegetal está inserta en un contexto productivo global.

Las directivas de la OILB para la Producción Integrada de Frutas en Europa la definen como “la producción económica de fruta de alta calidad dando prioridad a métodos ecológicamente más seguros, minimizando los efectos colaterales no deseables del uso de agroquímicos, dando énfasis a la protección del medio ambiente y de la salud humana”. En la búsqueda por abarcar la mayor cantidad de conceptos y actividades desarrolladas en este marco, es probable que en el futuro se utilice el término ICM (Integrated Crop Management/Manejo Integrado del Cultivo).

En 1992, la Conferencia de la Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (UNCED) realizada en Río de Janeiro (Brasil) asignó un rol central al MIP en la agricultura como parte de la Agenda 21, adoptando esta estrategia de control de plagas como “la mejor opción para el futuro, ya que garantiza los rendimientos, reduce los costos, es amigable con el medioambiente y contribuye a la sustentabilidad de la agricultura”.

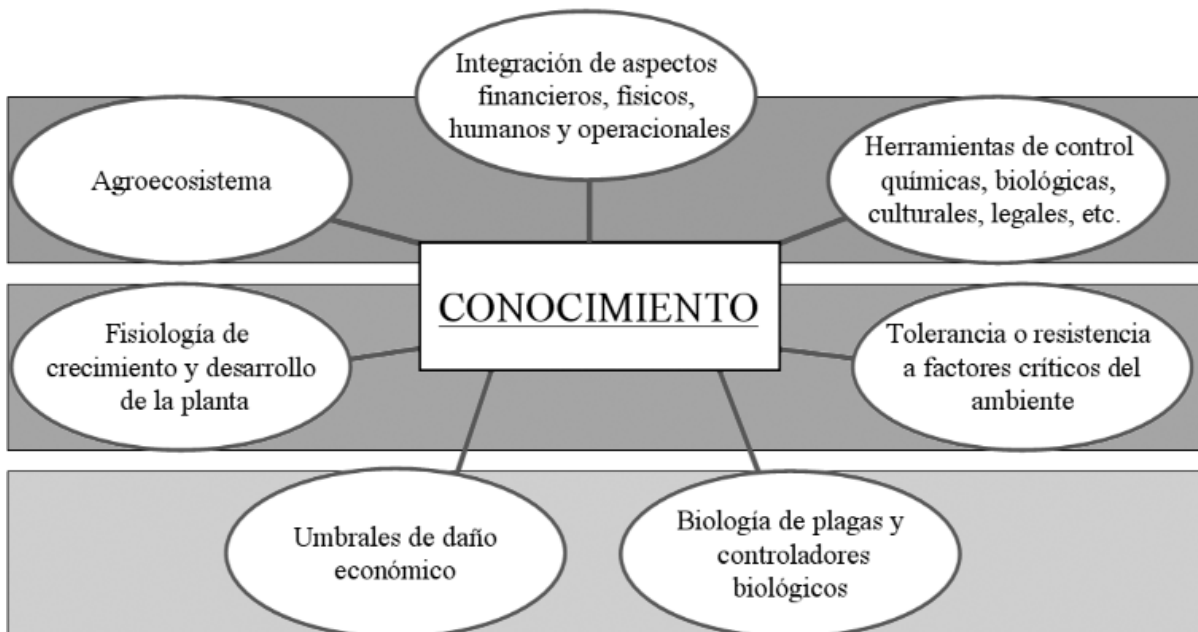


Figura 1. 5. Aspectos considerados en la aplicación de un programa de MIP.

En la actualidad han surgido nuevos conceptos que modifican en cierta forma algunas de las premisas básicas del MIP. En principio, los programas MIP se desarrollaron como una alternativa a las aplicaciones a calendario fijo en toda el área de cultivo, buscando intervenir sólo en aquellas parcelas con niveles de plagas próximas al umbral de daño económico. Esta estrategia permitió una importante reducción de costos, pero fundamentalmente una mitigación de los efectos negativos de los agroquímicos. Sin embargo, con el desarrollo de herramientas de control como los semioquímicos (feromonas sexuales, caïromonas, etc.), de agroquímicos biológicos y/o de síntesis más amigables con el medio ambiente y un avanzado conocimiento de la biología y dispersión de ciertas plagas, surge el conocimiento sobre control en grandes áreas, que en ciertos casos contradice el de control parcelario del MIP.

Mediante modelos teóricos y algunas experiencias empíricas se ha demostrado que la aplicación de medidas de control en grandes áreas produce menores niveles de daño de plagas en el corto plazo y un menor número de intervenciones con agroquímicos en el mediano y largo plazo. Este concepto de los “modelos sincronizados” de control es utilizado en la actualidad para el manejo de diferentes plagas, tanto vectores de enfermedades endémicas como de cultivos extensivos e intensivos.

Este nuevo paradigma es considerado como el “MIP en la Agricultura Sustentable”, e intenta lograr la estabilidad y el equilibrio en una región biogeográfica mediante la coordinación de acciones aplicadas en grandes áreas, como complemento a las tareas de control de plagas dirigidas a las parcelas individuales. Por tanto, el éxito de un programa MIP en cualquier región geográfica determinada dependerá de su implementación por parte de todos los agricultores del área, ya que la presencia de parcelas sin un control adecuado puede hacer peligrar su continuidad y sustentabilidad en el largo plazo.

En el futuro será necesario incorporar los nuevos desarrollos tecnológicos de la “Agricultura de Precisión”, que permitirán ajustar la aplicación de agroquímicos según la necesidad de cada parcela en particular, integrar los sistemas de posiciona-

miento global (GPS) y tecnología electrónica, Sistemas de Información Geográfica (GIS) y de Soporte de Decisiones (SSD) mediante el desarrollo de programas de cómputos (*software*) específicos que permitan estimar la relación costo/beneficio de la aplicación de diferentes herramientas de control, tanto a nivel predial como regional.

1.3. Importancia del control de plagas

Las plantas utilizadas para la alimentación son atacadas por unas 10.000 especies de insectos, 30.000 especies de malezas, 100.000 enfermedades (hongos, virus y otros microorganismos) y 100 especies de nemátodos (Hall, 1995).

Una estimación realizada por FAO en 1967 asegura que la mitad de la producción agrícola potencial se pierde por la acción indeseable de plagas, enfermedades y malezas.

Sin el control químico los cultivos serían diezmos, y sin duda se registraría una fuerte disminución en la producción mundial de alimentos.

El control de plagas depende de tres factores estrechamente vinculados: momento adecuado desde el punto de vista biológico de la plaga, producto adecuado para el control y tecnología de aplicación adecuada. Si existen desajustes en alguno de ellos, el control será deficiente.

En los próximos capítulos de esta obra se pondrá énfasis sobre los diferentes factores que afectan y condicionan la aplicación de agroquímicos.

1.4. Tecnología de aplicación de agroquímicos

La aplicación de agroquímicos es un proceso de gran complejidad. En el período que media entre la preparación del producto y su acción contra las plagas suceden transformaciones y pérdidas que pueden impactar negativamente en la acción de los agroquímicos. El control de este proceso es de relevancia, porque puede generar efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente.

La aplicación de agroquímicos es, según algunos autores, uno de los procesos más ineficientes que ha realizado el hombre. Sólo un bajo porcentaje del producto aplicado toma contacto con las plagas y tiene efecto sobre éstas. En la Figura 1.6 se grafica ese proceso.

Por todo lo mencionado es oportuno recordar la frase de A. W. Brown del año 1951, con la que G. A. Matthews inició la primera edición de su libro *"Pesticide Application Methods"*: *"En la protección de cultivos el arma química debe ser utilizada como un bisturí, no como una guadaña"*.

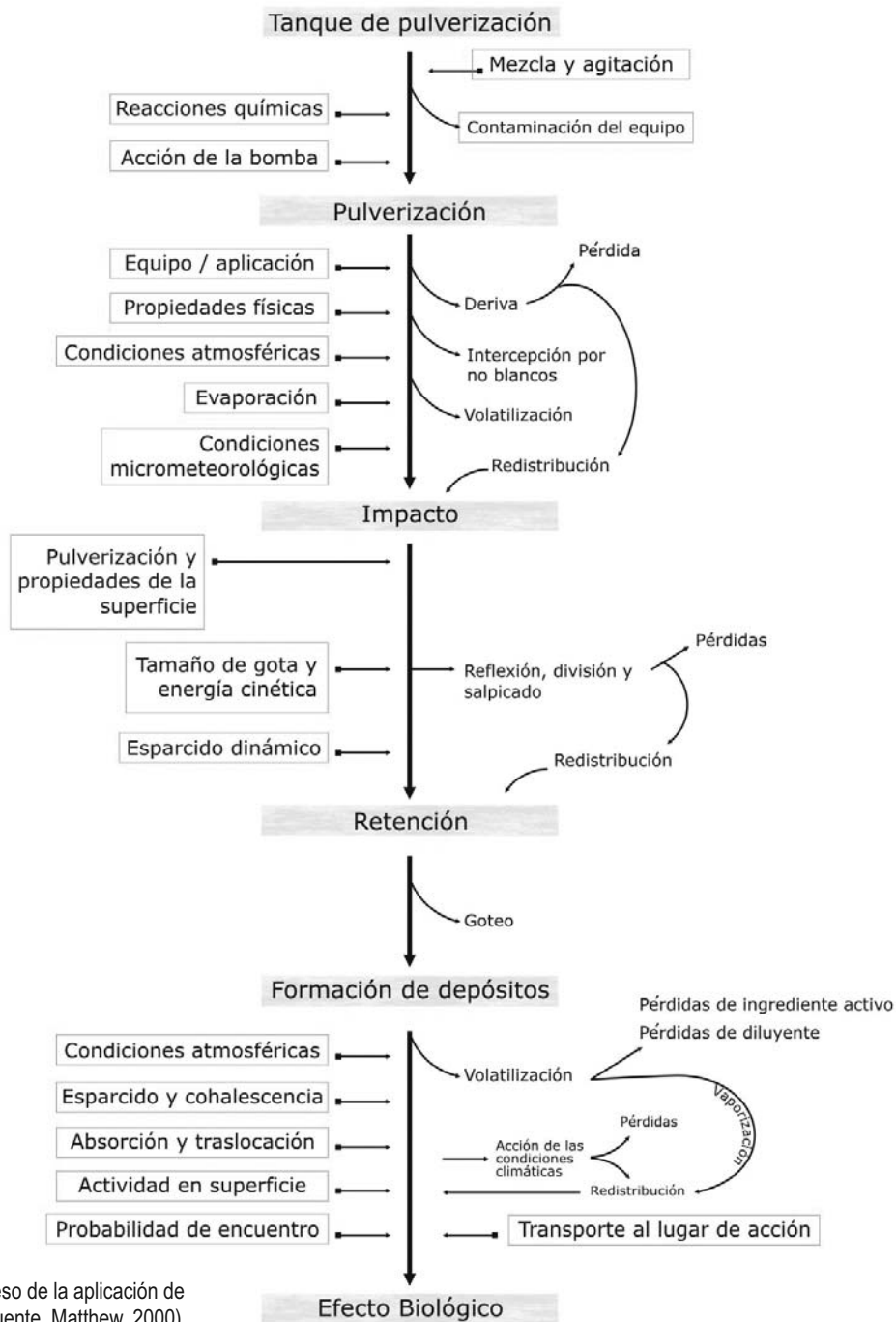


Figura 1.6. Proceso de la aplicación de agroquímicos (Fuente, Matthew, 2000)

1.5. Referencias consultadas

- Bain, Ch.; Bervard, J.; Fourgeroux, A. 1995. Protection des cultures et travail des homes. Edit. Le Carrousel. 260 p.
- Berenbaum, M. 1998. Bugs in the System. Insects and Their Impact on Human Affairs. Massachusetts: Perseus Books. 363 p.
- Boller, E. 2005. From chemical pest control to Integrated Production IOBC wprs Commission of "Integrated Production Guidelines and Endorsement". 23 pp. En: 50th Anniversary of IOBC. A historical review. General Assembly of IOBCwprs, France.
- Boller, E.; Van Lenteren, J.; Delucchi, V. 2006. International Organization for Biological Control of Noxious Animals and Plants (IOBC). History of the first 50 years (1956-2006). Wageningen. 275 p.
- Carson, R. 1994. Silent Spring. Ed Houghton Mifflin Company. 368 p.
- Cramer, H. 1967. Plant Protection and Word Crop Production. Bayer Pflanzenschutz Leverkusen. 524 p.
- Cross, J.; Dickler, E. 1994. Guidelines for Integrated Production of Pome Fruits in Europe. IOBC Technical Guide III. 2º ed. Bologna: J.V. Cross & E. Dickler: 17(9) 40 p.
- Ferrocarril Sud. 1928. Revista del Ferrocarril Sud. Año IV, octubre de 1928, Nº 40. 94 p.
- Hall, R. 1995. Challenges and prospects of integrated pest management En: Reuveni, R. (ed) Novel approaches to Integrated Pest Management. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, pp 1-19.
- Koul, O.; Dhaliwal, G.S; Cuperus, G.W. (Eds.) 2004. Integrated Pest Management. Potential, constraints and challenges. CABI Pub. 329 p.
- Matthews, G. 1979. Pesticide Application Methods. First published. Edit. Longman Group limited. 323 p.
- Matthews, G. 2000. Pesticide Application Methods. 3rd Edition. Blackwell Science Ldal. 432 p.
- Ministerio de Agricultura de la Nación. 1934. Memoria de la Estación Experimental de Río Negro. 30 p.
- Radcliffe, E.; Hutchison, D.; Cancelado, R. 2008. Radcliffe's IPM World Textbook, URL: <http://ipmworld.umn.edu>, University of Minnesota, St. Paul, MN.
- Potts, S. F. 1958. Concentrated Spray Equipment, Mixture and Application Methods. Ed. Dorland Books. 598 p.

Capítulo 2

Formulación de agroquímicos para el control de plagas

Cunha, J. P. A.; Teixeira, M. M.; Castillo, B.; Rodrigues, G.

- 2.1. INTRODUCCIÓN
- 2.2. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS
 - 2.2.1. ESTADO FÍSICO, ASPECTO, COLOR Y OLOR
 - 2.2.2. GRADO DE PUREZA
 - 2.2.3. PRESIÓN DE VAPOR
 - 2.2.4. VOLATIBILIDAD
 - 2.2.5. SOLUBILIDAD
 - 2.2.6. HIDRÓLISIS
 - 2.2.7. CONSTANTE DE DISOCIACIÓN EN MEDIO ACUOSO
 - 2.2.8. PH
 - 2.2.9. CONSTANTES DE EQUILIBRIO DE IONIZACIÓN ÁCIDO – BASE
 - 2.2.10. COEFICIENTE DE PARTICIÓN N-OCTANOL/AGUA
 - 2.2.11. VIDA MEDIA EN EL SUELO
 - 2.2.12. ADSORCIÓN – DESORCIÓN
 - 2.2.13. FOTODESCOMPOSICIÓN
 - 2.2.14. TENSIÓN SUPERFICIAL
- 2.3. FORMULACIONES DE AGROQUÍMICOS
 - 2.3.1. PRODUCTOS PARA APLICAR SIN DILUCIÓN
 - 2.3.2. CONCENTRADOS PARA DILUIR EN AGUA
 - 2.3.3. FORMULACIONES PARA TRATAMIENTO DE SEMILLAS
 - 2.3.4. OTRAS FORMULACIONES DE MENOR USO PARA FINALIDAD ESPECÍFICA
 - 2.3.5. FORMULACIONES MÁS COMUNES
 - 2.3.5.1. POLVO SECO
 - 2.3.5.2. POLVO MOJABLE
 - 2.3.5.3. POLVO SOLUBLE
 - 2.3.5.4. GRANULADOS
 - 2.3.5.5. GRÁNULOS DISPERSABLES EN AGUA
 - 2.3.5.6. CONCENTRADO EMULSIONABLE
 - 2.3.5.7. SUSPENSIÓN CONCENTRADA
 - 2.3.5.8. SOLUCIÓN ACUOSA CONCENTRADA
 - 2.3.5.9. EMULSIÓN INVERTIDA
 - 2.3.5.10. ULTRA BAJO VOLUMEN
- 2.4. ADYUVANTES
 - 2.4.1. CLASIFICACIÓN DE LOS ADYUVANTES
 - 2.4.1.1. EFECTO DURANTE LAS DIFERENTES FASES DEL PROCESO DE PULVERIZACIÓN
 - 2.4.1.2. FUNCIONES
 - 2.4.1.3. GRUPO QUÍMICO AL QUE PERTENECEN
 - 2.4.2. ADYUVANTES MÁS COMUNES
 - 2.4.2.1. TENSIOACTIVOS
 - 2.4.2.2. ACEITES
 - 2.4.2.3. DESTILADOS DEL PETRÓLEO
 - 2.4.2.4. ADYUVANTES MODIFICADORES ÚTILES
 - 2.4.2.5. ADYUVANTES MODIFICADORES DE LA PULVERIZACIÓN
 - 2.4.2.6. ADYUVANTES ADHERENTES Y ESPARCIDORES
 - 2.4.2.7. ADYUVANTES EMULSIFICANTES
 - 2.4.2.8. ADYUVANTES PENETRANTES
 - 2.4.2.9. ADYUVANTES PROTECTORES
- 2.5. REFERENCIAS CONSULTADAS

2.1. Introducción

La tecnología de los agroquímicos debe proponer estrategias cada vez más seguras para los usuarios y el ambiente y más eficaces en la lucha contra las plagas. Con este objetivo actualmente se desarrollan ingredientes activos, que exigen un proceso de transformación química con formulaciones que permiten una aplicación más eficiente y económica por parte de los usuarios.

El uso racional de agroquímicos sólo es posible si se conocen bien los plaguicidas. Se debe prever el comportamiento de estos productos antes de aplicarlos. Los experimentos de laboratorio y campo permiten conocer las características de los plaguicidas e inferir su comportamiento en el ambiente, ayudando a la consecución del éxito en su aplicación. Sin embargo, la interacción del agroquímico con el ambiente, incluyendo suelo, planta y atmósfera, es muy compleja. La especificidad y la diversidad de los ambientes dificultan los estudios y generan fuertes inconsistencias en los resultados de las investigaciones. Por este motivo, los procesos básicos que guían la acción, la disipación y la movilidad de estos productos, así como sus relaciones con el ambiente, son difíciles de predecir.

2.2. Propiedades físico-químicas

El comportamiento de los plaguicidas depende en gran medida de sus propiedades físico-químicas. Es oportuno resaltar que muchas veces tales propiedades no vienen impresas en la etiqueta; sin embargo, pueden solicitarse al fabricante, debido a que forman parte de los informes de evaluación toxicológica para el registro del producto.

2.2.1. Estado físico, aspecto, color y olor

Son las propiedades organolépticas de una sustancia. Ayudan a la identificación del agroquímico en caso de accidentes y cuando no se puede determinar inmediata y precisamente la sustancia.

2.2.2. Grado de pureza

Es la pureza con la que se obtiene un producto en el proceso de fabricación. Algunas impurezas metálicas contenidas en los agroquímicos, tales

como arsénico, cromo, cadmio, mercurio y plomo, y dependiendo de su concentración, pueden afectar adversamente el ambiente.

2.2.3. Presión de vapor

La absorción de calor sin variación de temperatura es característica de un cambio en el estado de agregación de una sustancia. La cantidad de calor absorbida en esta transformación de líquido a vapor se conoce como calor de vaporización. La vaporización de un líquido requiere que sus moléculas se separen, lo que se realiza en contra de las fuerzas intramoleculares. Cuantitativamente, la energía necesaria para esta separación se mide por el calor de vaporización. Los líquidos compuestos por moléculas que poseen fuerzas comparativamente grandes actuando entre ellas tienen un calor de vaporización alto.

Si una cierta cantidad de agroquímico se vierte en un recipiente vacío, cuyo volumen sea mayor que el del líquido, una parte de éste se evaporará, de modo que se llenará con vapor el volumen restante del recipiente. Si permanece algún líquido después de que se establezca el equilibrio, la presión de vapor en el recipiente es función sólo de la temperatura. Esta presión de vapor es característica de cada líquido y aumenta con la temperatura. Aún a bajas temperaturas, una fracción de las moléculas en el líquido tiene energía en exceso, aparte de su energía de cohesión.

A una determinada temperatura, un líquido con mayor energía de cohesión (alto calor de vaporización) tendrá una menor presión de vapor. Dado que esta última es más fácil de obtener que el calor de vaporización, puede considerarse como una medida de la tendencia del agroquímico para escapar en forma de vapor.

La presión de vapor es una propiedad relevante para la aplicación de plaguicidas debido a que indica la tendencia del producto a pasar del estado líquido o sólido al estado gaseoso y, conjuntamente con la solubilidad en el agua, es una variable auxiliar muy importante para el cálculo de la volatilidad de una sustancia en solución acuosa. Además, ayuda en la estimación de concentraciones.

Las impurezas, por lo general, afectan la presión de vapor de un producto y su influencia depende del tipo de impurezas presentes en la muestra. El ambiente natural difiere en forma significativa de las condiciones en que se realizan las pruebas y, por tanto, cualquier valor obtenido para una cierta sustancia sólo proporciona una información aproximada sobre su comportamiento.

La presión de vapor de un plaguicida puro a 20-25°C se expresa normalmente en (mm Hg). Cuanto mayor sea la presión de vapor, mayor será la probabilidad de que el producto aplicado se transforme en gas y se pierda en la atmósfera, disminuyendo así la eficiencia de la aplicación.

2.2.4. Volatilidad

Es el proceso por el cual un sólido o un líquido se evapora hacia la atmósfera en forma de gas. Los compuestos con alta presión de vapor y baja solubilidad en agua presentan tendencia a una mayor volatilización.

La volatilización desde el follaje de las plantas se determina principalmente por la presión de vapor, la cual, a su vez, está influenciada por la temperatura. Ésta, en la superficie de las hojas, puede ser mucho mayor que la temperatura del aire, sobre todo durante las horas de fuerte incidencia solar. En general, los plaguicidas con un Índice de Presión de Vapor (mm Hg x 10⁷) menor que 10 tienen un bajo potencial de volatilización.

Desde el suelo húmedo, la volatilización viene determinada por la humedad del suelo, la presión de vapor, la adsorción y la solubilidad del agroquímico. Desde el suelo seco, depende de la adsorción y de la presión de vapor.

La volatilización en suelos húmedos se describe mediante la constante de la Ley de Henry (K_h), que se calcula en función de la presión de vapor y de la solubilidad. El K_h puede expresarse como el producto entre la presión de vapor y la solubilidad en agua, normalmente en unidades Pa.m³.mol⁻¹. Este valor caracteriza la tendencia del producto a moverse entre el agua del suelo y el aire. Cuanto mayor es la constante, mayor es la volatilización del plaguicida a partir del agua del suelo.

$$K_h = \frac{PV \times PM}{S}$$

Ecuación 2.1

Donde:

K_h : Constante de la Ley de Henry (Pa.m³.mol⁻¹)

PV: Presión de vapor (Pa)

PM: Peso molecular (g.mol⁻¹)

S: Solubilidad en agua (g.m⁻³)

Como la adsorción de los compuestos al suelo afecta la cantidad de agroquímico disponible en el agua del suelo, la volatilización total depende, entonces, de la constante de la Ley de Henry y del coeficiente de adsorción.

En general, los plaguicidas con constante de la Ley de Henry menor que 10⁻¹ tienen un bajo potencial de volatilización a partir del agua del suelo, mientras que una constante superior a 10² indica alto potencial de volatilización.

Si se analiza la influencia de la volatilización en la eficiencia de la aplicación de plaguicidas, se percibe una relación intrínseca. A mayor volatilización, menor eficiencia de aplicación. Los productos con alta presión de vapor pueden perderse en forma de gas antes de que alcancen el objetivo, en especial cuando se aplican con temperaturas altas del aire.

2.2.5. Solubilidad

Esta propiedad se define como la concentración de saturación de una sustancia en agua pura, a una temperatura dada (generalmente entre 20 y 25 °C), en unidades de mg.L⁻¹.

En los agroquímicos la solubilidad es un parámetro muy importante, porque de esta característica depende el movimiento temporal. Los productos con alta solubilidad en agua se desplazan a mayores profundidades en comparación con los poco solubles.

La solubilidad en agua es un requisito previo a las pruebas de degradación biológica y de bioacumulación; no obstante, la evaluación debe ser integral ya que, para obtener información sobre el ciclo de una sustancia en el ambiente se deben analizar también otros parámetros. Productos químicos con alta solubilidad en agua tienden a acumularse

en sistemas acuáticos. Los plaguicidas con solubilidad superior a 30 mg.L^{-1} pueden estar sujetos a la lixiviación y, por lo tanto, contaminar la capa freática. Sin embargo, esto puede ser modificado mediante procesos de sorción y volatilización.

Si se estudia, por ejemplo, la influencia de la solubilidad en la eficiencia de aplicación de fungicidas, es importante especificar la forma de aplicación del producto. En el caso de la quimigación, la solubilidad es un aspecto decisivo. Los fungicidas solubles en agua son lavados del follaje durante el riego, produciéndose pérdidas por escorrentía, que disminuyen su actividad protectora. Este efecto se minimiza en el caso de los fungicidas sistémicos, que presentan absorción por las hojas y/o por las raíces. Mientras que los fungicidas poco solubles en agua y solubles en aceite se mantienen en gotas encapsuladas, sin perder sus características en contacto con el agua.

En las aplicaciones convencionales, la solubilidad tiene menos importancia que en la quimigación, ya que se utilizan menores tasas de aplicación. Debido a esto la posibilidad de lavado se reduce significativamente.

Los fungicidas protectores son poco solubles en agua, de modo que presentan una mayor tenacidad. Por su parte, los fungicidas sistémicos son solubles en agua, lo que permite su penetración y/o translocación rápida en la planta hacia los órganos distantes del sitio de aplicación.

2.2.6. Hidrólisis

La hidrólisis es una reacción química en la que se introduce un grupo hidroxilo en la molécula inicial. El producto resultante es más susceptible a posibles ataques de procesos de biodegradación y fotólisis. Además, el grupo hidroxilo vuelve el compuesto más soluble en agua y, por consiguiente, reduce el potencial para su bioconcentración. En otras palabras, el producto resultante se degrada con más facilidad, es menos persistente y menos tóxico que el compuesto original.

2.2.7. Constante de disociación en medio acuoso

La disociación de un producto químico en agua es de gran importancia para la evaluación de su comportamiento en el ambiente. Puede afectar su adsorción en las células vegetales, en el suelo y en

los sedimentos. Es la descomposición reversible de un producto químico en dos o más compuestos.

El conocimiento de la constante de disociación de un producto químico, junto con el pH del sistema en el cual se encuentra, permite estimar las posibles formas disociadas. Esta constante suministra, además, información relativa al proceso de transferencia de la solución acuosa hacia la atmósfera o el suelo. Es probable que una sustancia que existe predominantemente en su forma disociada en el ambiente acuático no se transfiera al aire y quede fuertemente ligada al suelo.

2.2.8. pH

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución, expresado como el valor decimal, con signo contrario, de la concentración de iones hidrógeno. Esta propiedad se relaciona con el poder corrosivo del producto. Dichas características influyen a la hora de elegir el equipo de aplicación relacionado con el material de construcción de sus componentes (tanque, tuberías, filtros etc.). Por otra parte, el pH condiciona la compatibilidad con otras sustancias y la absorción del producto por las células.

2.2.9. Constantes de equilibrio de ionización ácido-base

Los plaguicidas ácidos y básicos son aquellos capaces de disociarse en iones en la solución acuosa del suelo, alterando su comportamiento con pH entre 5 y 8. Las constantes de disociación ácido-base, que representan la tendencia de los compuestos a ionizarse son importantes para entender estos procesos que pueden conducir a la alteración en el comportamiento de los productos.

Así, pueden definirse dos constantes de ionización: ácido y base. La constante de ionización ácida (pK_a) señala la tendencia de un agroquímico ácido no ionizado a disociarse en un compuesto ionizado en un ión hidrógeno.

Normalmente se usa el logaritmo de la constante a fin de facilitar la interpretación:

$$pK_a = -\log_{10} (K_a) \quad \text{Ecuación 2.2}$$

De esta forma, cuanto mayor es pKa, más débil es el ácido, es decir, es menor su tendencia a disociarse.

En general, la superficie de las hojas posee cargas predominantemente negativas y tiene propiedades de intercambio catiónico. Así, la permeabilidad de la cutícula a los cationes es mayor que a los aniones. Además, se sabe que los compuestos no disociados penetran más fácilmente a través de la cutícula. De esta forma, los productos con bajo pKa son más disociables (forman cargas negativas), y por eso tienen menor adherencia a la cutícula y se absorben con mayor lentitud.

La mayoría de los fungicidas e insecticidas comercializados en la actualidad son compuestos neutros y, por lo tanto, no se ionizan. Esto puede dificultar la translocación del producto por el floema

de las plantas, la cual se ve favorecida en los compuestos ionizados. Los fungicidas e insecticidas sistémicos se translocan sólo en la dirección ascendente de las plantas, a través de los vasos del xilema.

La constante de ionización básica (pKb) se puede definir en forma semejante, donde $pKb = \log_{10}(Kb)$.

Si se asocian las constantes de ionización con el pH del suelo y con la constante de disociación del agua, se obtiene una estimación de la proporción ionizada y no ionizada de los plaguicidas, en función del pH de la solución.

En la Tabla 2.1 se pueden observar algunas generalizaciones que ayudan en la interpretación de los valores de estas constantes para los diversos plaguicidas.

Tabla 2.1. Consecuencias ambientales de las constantes de ionización de los plaguicidas (Fuente: Hornsby et al.; 1996).

pKa o pKb	Plaguicida dominante	Consecuencia ambiental
pKa<3	Carga negativa	Alta movilidad en el suelo, excepto si se hubieran formado compuestos químicos complejos; menor movilidad en condiciones ácidas; muy soluble; poco volátil
pKa>10	Neutro	Se comporta como material no iónico, excepto en condiciones alcalinas; menor movilidad que en la condición aniónica; probablemente menor solubilidad que en la condición aniónica (carga negativa), posible volatilización
pKa 3-10	Calcular la prop. ionizada / prop. neutra	Si el valor del pH está próximo al pKa, la movilidad, la solubilidad y la volatilidad estarán influenciadas por el pH
pKb<4	Carga positiva	Baja movilidad; muy soluble; poco volátil; gran adsorción al suelo ocasionando vida media larga, pero con baja actividad biológica
pKb>11	Neutro	Se comporta como material no iónico, excepto en condiciones ácidas; más móvil y menos soluble que en la condición catiónica (carga positiva); posible volatilización
pKb 4-11	Calcular la prop. ionizada / prop. neutra	Si el valor del pH está próximo al pKb, la movilidad, la solubilidad y la volatilidad estarán influenciadas por el pH

2.2.10. Coeficiente de partición n-octanol/agua (K_{ow})

Es la relación, en el equilibrio, entre las concentraciones de una sustancia disuelta en un sistema de dos fases, de dos líquidos no miscibles: *n*-octanol y agua. El K_{ow} se da, usualmente, en la forma de su logaritmo en base 10, y varía entre -5 y 5. Los plaguicidas lipofílicos tienen altos valores de K_{ow} , y los hidrofílicos, bajos.

El K_{ow} de una sustancia entre el agua y la sustancia lipofílica (*n*-octanol) puede usarse para describir la transferencia de una sustancia desde el ambiente acuático hasta el interior de un organismo y el potencial de bioacumulación de la sustancia.

El K_{ow} es una medida de la distribución de la sustancia entre las fases lipofílica y acuosa del sistema probado. Esta propiedad es importante para el entendimiento de la dinámica de absorción a través de la cutícula, para el caso del control de enfermedades mediante fungicidas sistémicos. Los productos lipofílicos (alto K_{ow}) son capaces de penetrar en la cutícula por difusión simple, con tasas de movimiento superiores a los productos hidrofílicos.

Así mismo, se ha demostrado que la absorción de los agroquímicos por las raíces y la subsiguiente translocación hacia la parte aérea de las plantas se ven afectadas por las características lipofílicas de los compuestos. La translocación por el floema también depende de estas características.

La acumulación de compuestos lipofílicos en las raíces por vía de solución nutritiva puede atribuirse a la afinidad de estos con los componentes sólidos de las raíces, los cuales tienen naturaleza lipofílica. De la misma manera que estos compuestos se concentran más en el octanol que en el agua, se concentran más con los componentes sólidos de las raíces que con la solución del suelo. Los compuestos polares (hidrofílicos, con bajo K_{ow}) se restringen, en las raíces, a la fase acuosa intra o extra celular y muy poco alrededor de los componentes sólidos. En el caso de las aplicaciones al suelo se espera que la absorción de compuestos sea menos eficiente en comparación con aplicaciones en solución nutritiva, debido a la adsorción.

Algunos estudios han mostrado que los compuestos polares (bajo K_{ow}) o muy lipofílicos se translocan con baja eficiencia, a pesar de que la concentración de los compuestos lipofílicos en las raíces sea muy alta. La permeabilidad de las membranas celulares a los compuestos polares o muy lipofílicos es baja, por lo que resulta una baja eficiencia de translocación hacia las hojas. La característica lipofílica de un producto es una ventaja inicial para la absorción, pero su movimiento en la fase acuosa se hace necesario para una buena translocación.

2.2.11. Vida media en el suelo

La vida media de un agroquímico representa su persistencia en el suelo. Se trata de una propiedad muy importante para los productos que tienen como objetivo el suelo y también para prevenir una posible contaminación ambiental.

La vida media en el suelo se expresa en días y representa el tiempo en que la mitad del producto se degrada a nivel de CO_2 . Es un parámetro de difícil medición en laboratorio, que varía de un suelo a otro y en función de las condiciones climáticas. Por lo tanto, su valor suministra sólo una estimación, que debe usarse para la comparación de diferentes productos.

Para los plaguicidas, de forma general, una vida media larga permitirá un mayor tiempo de control, pero si es muy larga puede afectar los cultivos sucesivos.

2.2.12. Adsorción-desorción

La retención es uno de los procesos claves que afecta el destino de las moléculas orgánicas en el ambiente agua-suelo. Puede realizarse vía adsorción y absorción a la matriz y a los microorganismos del suelo. La adsorción se define como la acumulación del plaguicida en las interfases suelo-agua y suelo-aire y se usa, por lo general, para referirse a procesos reversibles, incluyendo la atracción de un químico a la superficie de la partícula sólida, quedando éste retenido por un tiempo dado, dependiendo de su afinidad con la superficie.

Los procesos de retención son complejos debido a la heterogeneidad del suelo y a su interacción con sistemas biológicos, atmosféricos y acuáticos.

La adsorción-desorción es un proceso dinámico en el que las moléculas se transfieren continuamente entre la solución acuosa y la superficie sólida. Para cualquier compuesto se tienen varios mecanismos responsables para su sorción en el suelo: fuerzas de Van Der Waals, puente de H, interacciones dipolo-dipolo, enlaces covalentes, entre otros.

La capacidad de cambio de cationes y la superficie específica de los coloides son dos parámetros que se han utilizado como medida de la capacidad de adsorción del suelo. La materia orgánica tiene alta superficie específica y alta capacidad de cambio de cationes, por lo que es de gran importancia en los procesos de sorción. Las características químicas y físicas del suelo se ven fuertemente influenciadas por sus constituyentes coloidales, que tienen elevada superficie específica.

En relación con el producto que será adsorbido, las principales propiedades de la molécula que determinan su adsorción son: solubilidad en agua, acidez-alkalinidad, polaridad, tamaño y configuración.

La medida de la adsorción de un compuesto al suelo puede efectuarse de formas diferentes:

- Relación entre la concentración del producto adsorbido en el suelo y la concentración del producto en el agua. Usualmente, esta medida se representa por el coeficiente de adsorción a los coloides del suelo (K_d).
- Relación entre la concentración del producto adsorbido al carbono orgánico del suelo y la concentración del producto en el agua. Esta medida se representa por el coeficiente de partición carbono orgánico-agua (K_{oc}).

Este último coeficiente, que expresa la tendencia del producto químico a salir del agua del suelo y migrar a su fase sólida (representada por la materia orgánica) tiene la ventaja de ser casi independiente del tipo de suelo. Se presume que la materia orgánica es enteramente responsable del proceso de adsorción. Sea cual fuere la medida adoptada, cuanto mayor es el valor de K_d o K_{oc} , tanto mayor será la adsorción del producto al suelo.

La relación entre K_d y K_{oc} puede expresarse como:

$$K_{oc} = \frac{K_d \cdot 100}{\% \text{ C orgánico}} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

En términos prácticos, un plaguicida debe adsorberse en el suelo para que no se pierda por lixiviación, pudiendo contaminar la capa freática. Sin embargo, esa adsorción no debe ser tan fuerte como para que no permita su absorción por parte de las raíces. El proceso de adsorción determina la concentración del producto químico en la solución del suelo, la cual, a su vez, afecta la cantidad absorbida por las plantas y la disponible para la degradación química y biológica, la volatilización y la lixiviación.

2.2.13. Foto-descomposición

Algunos productos pueden degradarse por fotólisis. Se trata de una reacción en la que ocurre el rompimiento de la molécula mediante la luz solar, o más precisamente, a través de la energía disponible en fotones de varias longitudes de onda (290 a 400 nm). La fotólisis puede ser un proceso directo en el que la sustancia que absorbe energía luminosa se transforma, o indirecto, en el que otras sustancias absorben la energía y después la transformación de éstas altera la sustancia primaria.

Los agroquímicos que sufren este tipo de degradación deben incorporarse al suelo, a fin de evitar las pérdidas y así aumentar la eficiencia de la aplicación. Además, queda la opción de utilizar adyuvantes para minimizar su pérdida.

Mediante la identificación molecular del compuesto se puede tener una indicación de la longitud de onda en la que la sustancia es susceptible a la degradación fotoquímica.

2.2.14. Tensión superficial

La tensión superficial, variable de líquido a líquido, es la fuerza que existe en la interfase de líquidos no miscibles, que impide que éstos se mezclen. Las moléculas de los elementos químicos se atraen o se repelen. En un líquido de moléculas polarizadas como el agua, la atracción es significativa y se ejerce igualmente en todas las direcciones. En la superficie, por la discontinuidad de la fase líquida, la atracción es mayor, lo que genera una tensión superficial.

En una planta, la “mojabilidad” de sus hojas, que es deseable en la aplicación de productos de contacto, depende de los constituyentes de la hoja y de las características del agroquímico. Se requiere que la atracción de la superficie por el agua sea mayor que la tensión superficial del líquido, a fin de obtener una buena “mojabilidad”. Para ello, la tensión superficial del producto no debe ser muy elevada. La calidad del agua usada en este caso también influye en forma significativa.

Actualmente existen en el mercado varios adyuvantes que bajan la tensión superficial. Con esta reducción se consigue que el ángulo de contacto de las gotas aisladas sobre la superficie disminuya y éstas dejen de ser esféricas. Esto aumenta el contacto del producto con la hoja y, por consiguiente, la probabilidad de absorción del producto.



Figura 2.1. Ángulo de contacto de la gota con la hoja

2.3. Formulaciones de agroquímicos

La formulación de un plaguicida agrícola es el resultado de una larga y costosa investigación. Se puede estimar que desde la fase inicial del desarrollo de una molécula, pasando por los estudios de desarrollo biológico, químico y físico hasta los estudios toxicológicos, se emplean en promedio diez años de trabajo y se invierten muchos recursos económicos.

Las empresas de agroquímicos, en algunos casos, presentan formulaciones diferentes para diversos mercados, en función de la disponibilidad y del costo de los componentes en los países donde se formulan. No obstante, la tendencia de las empresas es la de presentar formulaciones universales debido al alto costo de los estudios toxicológicos y de impacto ambiental que representan.

La formulación consiste en la mezcla de un producto concentrado, denominado Ingrediente Activo, con sustancias inertes y/o adyuvantes capaces de

conferirle al ingrediente activo una mejor eficacia biológica en el control de una determinada plaga.

Los ingredientes inertes son sustancias de origen vegetal, mineral o sintético. En el caso de los vegetales se pueden mencionar la harina de trigo o de yuca, pulpa y cáscaras de cítricos, salvado y paja de arroz, cáscara de café, mazorcas de maíz, etc. Dentro de los inertes minerales se utilizan el azufre, con propiedades fungicidas y acaricidas, algunos silicatos como las arcillas de tipo caolinítico y montmorillonitas, atapulgita, pirofillitas y talco. Los dos últimos ingredientes son los más usados, debido a que poseen estructura laminar y se adhieren bien al follaje. Los hidrofílicos como el caolín y la arcilla no se recomiendan para regiones de alta humedad ya que los inertes no deberían absorber más del 1% de agua.

Los inertes de origen sintético son el dióxido de sílice precipitado y el carbonato de calcio precipitado.

A pesar de que los minerales son inertes, la presencia de impurezas puede disminuir la estabilidad de las mezclas, sobre todo de aquellas que contengan ésteres de ácidos fosfóricos o derivados halogenados. Los ésteres pueden hidrolizarse también por la influencia de compuestos de un ácido natural.

La formulación de un ingrediente activo facilita la dosificación del agroquímico, ya que se utilizan cantidades fácilmente mensurables, haciendo el producto más seguro en su manejo. Dependiendo del tipo de formulación, existe la posibilidad de que el mismo producto sea clasificado en diferentes categorías toxicológicas. La formulación también permite la mezcla de dos ingredientes activos en una misma formulación, lo que disminuye el costo de la aplicación y también el de producción.

En la elección de la formulación, además del conocimiento del objetivo biológico que se desea alcanzar, deben tenerse en cuenta también otros factores, como: solubilidad, concentración del ingrediente activo, características físico-químicas de las formulaciones, selección adecuada de las boquillas de pulverización, equipo disponible para la aplicación, riesgo de deriva o de escurrimiento, costo y condiciones climáticas en el momento de la aplicación del agroquímico.

Las formulaciones pueden ser en pre-mezcla y de uso inmediato. Las primeras consisten en la transformación física del principio activo mediante la incorporación de ingredientes inertes, con o sin adyuvantes, sin aplicación directa, también llamada formulación comercial. En tanto que las formulaciones de uso inmediato son transformaciones físicas de principios activos o pre-mezclas, con la adición de ingredientes inertes, con o sin adyuvantes, para aplicación directa en el cultivo.

La elección del equipo de aplicación y la metodología de aplicación del producto también están influidas por la formulación.

En términos generales, estas deben ser:

- No fitotóxicas para el cultivo.
- Fáciles de manipular.
- Compatibles con la mayoría de los productos.
- Fáciles de aplicar.
- Aceptables por los organismos de control y registro de agroquímicos.
- Adecuadas para su producción comercial.

Los ingredientes activos pueden presentarse en forma de líquido viscoso o en cristales. Para formular los agroquímicos es necesario conocer sus características físico-químicas, ya que parte de los ingredientes activos puede ser soluble en agua, mientras que otra fracción puede tener solubilidad nula. Esta condición requiere que la formulación contenga solventes orgánicos biológicamente compatibles.

Un inerte puede ser adecuado para un tipo de formulación y no ajustarse para otros casos. Un inerte higroscópico será conveniente para polvo mojable e inapropiado para uno seco. Además, debe ser neutro para evitar la degradación del plaguicida.

En función de la armonización de la terminología internacional, y específicamente en el área MERCOSUR se adoptaron siglas internacionales (derivadas del inglés) para estas formulaciones.

2.3.1. Productos para aplicar sin dilución

- DP: Polvo seco
- GP: Polvillo fino
- ED: Líquido para pulverización electrostática

- MG: Micro granulado
- SO: Aceite para formar película
- SU: Solución para aplicar en UBV – ultra bajo volumen
- GR: Granulado
- CG: Granulado encapsulado
- FG: Granulado fino
- GG: Macro granulado
- TP: Polvo para tamizar
- UL: Producto para aplicar en UBV – ultra bajo volumen

2.3.2. Concentrados para diluir en agua

- BR: Bloque
- DC: Concentrado dispersable
- EC: Concentrado para emulsión
- EO: Emulsión-agua en aceite
- EW: Emulsión-aceite en agua
- PC: Concentrado en pasta
- SC: Suspensión concentrada
- CS: Suspensión de encapsulado
- SE: Emulsión heterogénea
- SG: Granulado soluble en agua
- SL: Concentrado soluble en agua
- SP: Polvo soluble
- TB: Tableta
- WG: Granulado para suspensión acuosa
- WP: Polvo mojable

2.3.3. Formulaciones para tratamiento de semillas

- DS: Polvo para tratamiento de semillas en seco
- ES: Emulsión para tratamiento de semillas
- FS: Concentrado fluido para tratamiento de semillas
- LS: Solución para tratamiento de semillas
- PS: Semilla peletizada
- SS: Polvo soluble para tratamiento de semillas
- WS: Polvo para preparación de “papillas”

2.3.4. Otras formulaciones de menor uso para finalidad específica

- AE: Bomba de aerosol
- CB: Cebo concentrado
- FU: Producto fumigante
- FD: Pastilla fumigante
- FK: Vela fumigante
- FP: Cartucho fumigante
- FR: Filamento fumigante
- FT: Tableta fumigante

- FW: Gránulo fumigante
- GA: Gas-empaque presurizado
- GE: Producto generador de gas
- GS: Pasta aceitosa
- HN: Concentrado para nebulización (*Fogging*) caliente
- KN: Concentrado para nebulización (*Fogging*) en frío
- LA: Laca
- PA: Pasta
- PR: Filamento vegetal
- RB: Cebo para uso inmediato
- ABI: Cebo para granos
- BB: Cebo en bloques
- GB: Cebo granulado
- PB: Cebo en platillo
- SB: Cebo en trozos irregulares
- VP: Producto formulado de vapor

2.3.5. Formulaciones más comunes

2.3.5.1. Polvo seco

La aplicación de polvo seco es una de las formas más antiguas de aplicación de agroquímicos. Es una formulación de uso inmediato, constituida por partículas finas en forma sólida y una parte mineral adsorbente impregnada por el ingrediente activo. La formulación del tipo polvo seco presenta una granulometría del orden de 10 a 30 μm . A esta mezcla puede agregarse un cierto volumen de talco para facilitar su dispersión en el campo. Para aplicar este tipo de formulaciones se utilizan máquinas espolvoreadoras. En general, los insecticidas y algunos fungicidas se formulan en forma de polvo, y presentan aproximadamente de 1 a 2% de ingrediente activo.

La ventaja de este tipo de formulación es que no requiere de mezclas con agua. Esta característica facilita su uso, ya que no se necesita disponer de agua en el sitio de aplicación. Como desventaja se señala el inconveniente de la falta de uniformidad en su distribución y problemas de transporte en condiciones ventosas, con el consecuente impacto negativo en el ambiente. El polvo seco requiere de mayor seguridad para el aplicador y los problemas de dosificación del producto en el campo necesitan de mayor cuidado que las formulaciones en medio líquido. Actualmente es poco utilizada.

2.3.5.2. Polvo mojable

Es una formulación sólida para ser diluida en agua y luego aplicarse por vía líquida. Está compuesta por partículas sólidas con base en arcilla (que absorbe el ingrediente activo) más adyuvantes tales como agentes mojables, dispersantes, antiespumantes y estabilizadores que permiten su rápido humedecimiento y la formación de una dispersión relativamente estable.

Algunos productos que no se adaptan a las formulaciones líquidas por falta de un solvente adecuado se preparan en polvos mojables para que puedan mezclarse con agua.

El polvo mojable, cuando se diluye en agua, forma una mezcla homogénea sólida en medio acuoso (suspensión). La suspensión no es estable, por lo que precisa de agitación constante para que la mezcla se mantenga homogénea y no decante hacia al fondo del tanque.

El contacto de las partículas sólidas en las conducciones estrechas de la máquina pulverizadora (válvulas, mangueras y boquillas) provoca desgastes prematuros en los equipos.

A pesar de sus limitaciones, el polvo mojable es una formulación más económica que otras equivalentes (concentrado emulsionable, suspensión concentrada, etc.). Es común que se utilice para formular fungicidas, herbicidas e insecticidas.

El polvo mojable presenta dificultades para su preparación en campo, ya que es necesario pesar el producto y hacer una pre-mezcla. Debido a estos inconvenientes, en la actualidad existe la tendencia de sustituirlo por la formulación suspensión concentrada. Presenta como ventaja un precio menor, estabilidad y fácil conservación.

El polvo mojable debe poseer buena suspensibilidad y dispersión en agua; buena granulación y partículas muy pequeñas. Debe mezclarse rápidamente con el agua y formar poca espuma.

2.3.5.3. Polvo soluble

Se trata de una formulación sólida destinada a dilución y aplicación posterior vía líquida, en la que el principio activo es soluble en agua. Después de la incorporación al medio líquido se presenta como una solución exenta de partículas en suspensión debido a su dilución completa.

El resultado de la dilución de un polvo soluble en el agua es una solución verdadera, lo que es interesante para la aplicación vía líquida, ya que, una vez disuelta, la mezcla se mantiene homogénea sin necesidad de agitación constante y sin obstrucción de boquillas.

2.3.5.4. Granulados

Son formulaciones de uso inmediato, generalmente con alta concentración de ingrediente activo y por tanto altamente tóxicas. Están constituidas por material sólido en forma de gránulos, impregnadas superficial o completamente por el ingrediente activo. Los sólidos están formados por diversos materiales como arcilla, yeso y residuos vegetales, algunas veces usados como atrayentes para algunas plagas, por ejemplo, hormigas.

Dentro de las formulaciones granuladas predominan los insecticidas sistémicos para usar en el suelo y en cebos tóxicos. Estas formulaciones raramente son utilizadas en fungicidas y herbicidas. Los granulados tienen como ventajas su facilidad de uso, el hecho de no requerir mezcla, la disminución de los efectos del viento sobre el producto aplicado y el riesgo menor de contaminación para el operario.

Como desventaja se destaca su costo elevado. Además, pueden dañarse por la humedad, son más persistentes en el suelo cuando se comparan con otras formulaciones y, dado que requieren incorporación en el suelo, sólo pueden aplicarse con equipos especiales.

Los granulados deben poseer buena fluidez, sin formación de polvo, liberación rápida del ingrediente activo en presencia de agua y uniformidad de las partículas.

Entre estos existen los micro granulados, con tamaños de 150-600 μm , y los granulados propiamente dichos, con tamaños entre 600-5.000 μm . En el primero de los casos presentan menos deriva que los polvos, una buena adherencia y una penetración razonable, mientras que en los granulados la deriva es casi nula y la adherencia y cobertura muy bajas.

2.3.5.5. Gránulos dispersables en agua

Es una formulación sólida constituida por gránulos y se aplica en forma de suspensión después de desintegrarse y dispersarse en agua. El ingrediente activo sólido está en forma de gránulos, y adicionado al agua se transforma en una suspensión. Posee la ventaja de tener, en el producto comercial, mayor concentración de principio activo, por lo que requiere un menor volumen de mezcla para su aplicación. Algunos de estos productos pueden embalsarse en bolsas hidrosolubles y así incorporarse en el tanque del equipo pulverizador sin causar riesgos para el operario. Además, el envase queda prácticamente libre de contaminación, lo que facilita su disposición final.

2.3.5.6. Concentrado emulsionable

Es una formulación líquida destinada a la dilución en agua, en la cual el ingrediente activo se incorpora a un solvente apropiado, lo que resulta en una solución concentrada. Por el hecho de que esta solución es inmisible en agua, es necesario añadirle algunos adyuvantes para mezclarlo y evitar que se separe en fases. El concentrado emulsionable diluido en agua forma una mezcla homogénea y acuosa (emulsión) que le da un aspecto lechoso.

Como ventaja presenta un costo bajo, pero más elevado que el polvo mojable por los adyuvantes que contiene la formulación. Es de fácil dosificación comparado con los polvos mojables, ya que sólo se requieren instrumentos para su dosificación volumétrica. De fácil manejo, transporte y almacenamiento, no produce obstrucciones en las boquillas.

Su desventaja reside en que se formula en concentraciones elevadas que hacen más frecuentes los errores en la dosificación. Los adyuvantes y los solventes pueden causar fitotoxicidad en determinados cultivos, además de dañar los empaques plásticos.

2.3.5.7. *Suspensión concentrada*

Es una formulación en la que los ingredientes activos, en forma de sólidos insolubles, se mezclan con líquidos (ingredientes inertes) en forma de suspensión. Surgió para sustituir la de polvo mojable, a fin de evitar dificultades en su uso.

Consiste en un polvo mojable suspendido en un volumen pequeño de agua al que se le adicionan adyuvantes para estabilizar la suspensión. Debido a este proceso de producción presenta inestabilidad durante su almacenamiento, ya que en el reposo las partículas sólidas se sedimentan y luego de algún tiempo se forma una cama de separación y no pueden volver a quedar en suspensión. Sin embargo, los productos más modernos formulados como suspensión concentrada ya han resuelto estos inconvenientes.

Al igual que el polvo mojable, como solución que forma una suspensión concentrada y debido a la presencia de partículas puede ocasionar el desgaste y la obstrucción de boquillas y filtros.

2.3.5.8. *Solución acuosa concentrada*

Es una formulación líquida para dilución en agua. El ingrediente activo (en la forma salina) se disuelve en agua cerca de su límite de saturación. Cuando queda diluido forma una solución verdadera y no necesita agitación en el tanque de pulverización. Esta no es abrasiva y no deja residuos en las superficies tratadas.

2.3.5.9. *Emulsión invertida*

Contiene un principio activo soluble en agua disperso en aceite. O sea, pequeñas gotas de agua, que contienen el ingrediente activo, suspendidas en aceite. Es la situación opuesta a las emulsiones regulares, en las cuales el agua contiene pequeñas gotas de aceite en suspensión. Las emulsiones invertidas poseen consistencia de ma-

yonesa y requieren un adyuvante (emulsificante) que permita al producto estar disperso en un gran volumen de aceite. Este tipo de formulaciones forma gotas que no se evaporan con facilidad. Se usan comúnmente en aplicaciones en las que se debe asegurar que no se producirá exoderriva, por ejemplo, en áreas cercanas a cultivos susceptibles a los productos utilizados.

2.3.5.10. *Ultra bajo volumen*

Es una formulación líquida de uso inmediato para aplicación en ultra bajo volumen (UBV), en que el ingrediente activo está disuelto en un solvente que debe tener volatilidad muy baja, alta capacidad de disolución, baja viscosidad, no fitotoxicidad, compatibilidad con el ingrediente activo y carecer de sustancias sólidas en suspensión.

Los volúmenes de pulverización usados en los tratamientos con UBV están por debajo de 5 L.ha⁻¹, de modo que la formulación debe ser lo suficientemente concentrada para que contenga la carga química necesaria de ingrediente activo. Para una dispersión adecuada de este producto en el aire se necesita usar gotas muy pequeñas, debajo de 100 µm, lo que puede aumentar el riesgo de deriva y volatilización del producto, ya que si la sustancia fuese volátil desaparecería en el trayecto entre la máquina y el objetivo.

2.4. Adyuvantes

Se puede definir a un adyuvante como una sustancia sin propiedades plaguicidas significativas, presente en una formulación, producto agroquímico o para agregar a mezclas en tanques de pulverización con el objeto de modificar las propiedades físico-químicas de los ingredientes activos y de esta forma mejorar o facilitar su eficacia biológica.

Los fabricantes seleccionan los materiales líquidos en los cuales se disuelven los plaguicidas y los materiales sólidos en los que son absorbidos para asegurar la estabilidad del ingrediente activo, y la conveniencia para su manejo y eficacia de aplicación. Es común que los solventes y los adyuvantes seleccionados sean los responsables del éxito de sus productos comerciales.

2.4.1. Clasificación de los adyuvantes

Los adyuvantes se pueden clasificar según los siguientes criterios:

1. Efecto que causan durante las diferentes fases del proceso de pulverización.
2. Funciones.
3. Grupo químico al que pertenecen.

2.4.1.1. Efecto durante las diferentes fases del proceso de pulverización

- Modificadores útiles: actúan como mejoradores de la formulación.
- Modificadores de la pulverización: son mejoradores del fraccionamiento de la vena líquida en gotas.
- Activadores: son mejoradores de la acción biológica.

2.4.1.2. Funciones

Los adyuvantes se utilizan en las formulaciones y en el proceso de pulverización con las siguientes funciones:

- Disolventes
- Dispersores
- Estabilizantes
- Antiespumantes
- Adherentes
- Emulsificantes
- Mojadores
- Esparcidores
- Penetradores
- Compatibilizantes
- Antideriva
- Espesantes

2.4.1.3. Grupo químico al que pertenecen

Esta clasificación enfrenta muchas dificultades, dado que la identidad química de los adyuvantes casi nunca es aclarada por los fabricantes, que la protegen como secreto comercial. Además, conviene tener en cuenta que, por lo general, los adyuvantes son mezclas de diferentes compuestos. En la Tabla 2.2 se presentan algunos adyuvantes por el grupo químico al cual pertenecen.

Tabla 2.2. Clasificación de los adyuvantes según la clase química (Fuente: Spanoghe et al.; 2007)

Clases	Subclases
Aceites	Aceites minerales o derivados del petróleo Vegetales (aceite de semillas o cultivos) Derivados (EO/PO*) triglicéridos Transesterificados de plantas
Tensioactivos (emulgente, mojador, esparcidor, penetrante, trisiloxanos)	Aniónicos Catiónicos No iónicos Anfotéricos
Ácidos grasos (origen vegetal)	Ácidos grasos esterificados Ácidos grasos esterificados alquilo-xilatos (EO/PO*)
Ceras	---
Polímeros	Polímeros naturales Polímeros sintéticos
Solventes	Cosolventes, agentes unificadores
Terpenos	---
Alcoholes	Mono, di o polialcoholes
Diluyentes	---
Amortiguadores de pH	Inorgánicos, orgánicos Ácidos o bases
Fosfolípidos	---
Sales inorgánicas	---
Urea	---
Proteínas	---
Rellenos inorgánicos	---

*Oxietilénico/Oxipropilénico

2.4.2. Adyuvantes más comunes

2.4.2.1. Tensioactivos

Son agentes que activan las propiedades de superficie del producto (tensión superficial) y que facilitan o mejoran las propiedades de la formulación o de la mezcla en el tanque de pulverización, en lo concerniente a la emulsificación, dispersión, esparcimiento, adherencia o mojado de las superficies a tratar. De hecho, reducen la tensión superficial de las gotas, lo que asegura que el producto se esparza totalmente y cubra las superficies con una fina película. En términos generales, los tensioactivos en bajas concentraciones se comportan como agentes de mojado, al tiempo que en concentraciones altas actúan como emulsificantes.

Todos los tensioactivos poseen componentes de un grupo soluble (hidrofílico) adherido a otros. Esto hace que dichas sustancias puedan orientarse por sí mismas en la superficie de un líquido. En soluciones acuosas, el extremo hidrofílico se orienta hacia la solución, al tiempo que el otro extremo (el lipofílico) se orienta hacia la superficie. En el caso de solventes no polares (lipofílicos) sucederá lo contrario.

Los tensioactivos son clasificados en cuatro grandes grupos, conforme se ionizan en el agua:

- Aniónicos
- Catiónicos
- No iónicos
- Anfotéricos

Los tensioactivos aniónicos y los catiónicos se ionizan cuando se mezclan con el agua, y su actividad superficial se debe a los aniones (carga negativa) y a los cationes (carga positiva), respectivamente. Los tensioactivos no iónicos no se ionizan en soluciones acuosas. Los anfotéricos actúan como aniónicos o catiónicos, dependiendo de la acidez de la solución. La actividad plaguicida de un producto con la adición de un tensioactivo de cada clase puede ser muy diferente. Además, la selección errónea del tensioactivo puede reducir la eficacia del producto y/o dañar el material vegetal objetivo.

Aniónicos

Los jabones son sales de sodio de cadenas de ácidos grasos con grupos de ácidos carboxílicos. Los detergentes son hidrocarburos de cadenas largas con un grupo sulfato o fosfato. Son buenos agentes de mojado.

Catiónicos

Derivan del amonio y son conocidos como sales de amonio cuaternario. No se usan mucho en las formulaciones herbicidas. Suelen ser fitotóxicos y bactericidas efectivos. Precipitan rápidamente en aguas duras y son pobres detergentes.

Anfotéricos

La porción polar (hidrofílica) puede ser un grupo ácido o básico, por lo general, un grupo amino y uno carboxílico o sulfónico. Un tensioactivo común de este tipo es la lecitina (fosfatidilcolina) derivada de la soja.

No iónicos

La porción lipofílica es una cadena larga hidrocarbonada del grupo alquilo o arilo. La porción hidrofílica está compuesta de grupos oxietilénicos con enlaces oxígeno. Son buenos emulgentes (que forman emulsiones estables) y agentes dispersantes, de bajas toxicidad, fitotoxicidad y costo. Los tensioactivos no iónicos pueden identificarse por la relación entre la longitud de sus cadenas hidrofílicas y lipofílicas, que se conoce como balance hidrofílico - lipofílico (HLB).

$$HLB = 20 MH / (MH + ML)$$

Ecuación 2.4

MH = peso molecular del segmento hidrofílico y ML = peso molecular del segmento lipofílico. A mayor HLB, el tensioactivo es más hidrofílico (escala de 1 a 20).

Los valores de HLB pueden usarse para la selección de los tensioactivos no iónicos, según la Tabla 2.3. Estos últimos se encuentran, en su mayoría, en el rango de 8-18. Actualmente constituyen la mayor parte de la producción total de tensioactivos.

Tabla 2.3. Relación entre el valor de HLB y las características del tensioactivo no iónico.

Rango HLB	Característica
3 – 6	Emulsificante agua en aceite (emulsión invertida)
7 -9	Agente para mojado
8 – 15	Emulsificante aceite en agua (emulsión normal)
13 – 15	Detergente
15 – 18	Solubilizante

Tensioactivos siliconados u organosiliconados
 Reducen drásticamente la tensión superficial del líquido pulverizado, hasta tal punto que las gotas se aplanan y se juntan para formar una capa delgada sobre las superficies aplicadas. Por ello se los conoce como “súper esparcidores”; incluso se disminuye tanto la tensión superficial que el producto es capaz de deslizarse por las aberturas microscópicas de las superficies de las hojas (cutículas). Los tensioactivos organosiliconados que más se comercializan en la actualidad son los trisiloxanos.

2.4.2.2. Aceites

Aceites minerales

Contienen un 95 a 98% de un aceite derivado del petróleo del tipo parafínico o nafténico con 1 ó 2% de un tensioactivo o emulsificante. Promueven la penetración del plaguicida por las cutículas de las plantas o a través de los cascarones de los insectos. Se usan comúnmente para el control de insectos y enfermedades.

Aceites concentrados

Contienen un 80 a 85% de un aceite derivado del petróleo y un 15 a 20% de tensioactivo no iónico. Brindan las propiedades penetrantes del aceite y las propiedades de esparcimiento del tensioactivo. Con frecuencia se usan con los herbicidas postemergentes.

Aceites vegetales concentrados

Contienen un 80 a 85% de un aceite derivado de semillas de cultivos (usualmente algodón, lino, soja o girasol) con un 15 a 20% de tensioactivo no iónico. Los aceites vegetales metilados son pro-

ducto de un proceso de esterificación de aceites vegetales, lo cual aumenta sus características lipofílicas y permite mejorar su comportamiento. Son comparables a los minerales concentrados en el incremento de la penetración del agroquímico en la plaga objetivo.

Fertilizantes nitrogenados

Agregando sulfato de amonio o nitrato de amonio (urea) a la mezcla de pulverización se ha mejorado su actividad herbicida. Si bien estos fertilizantes nitrogenados han reemplazado a algunos adyuvantes, suelen adicionarse en compañía de un tensioactivo y un aceite mineral concentrado para usar con plaguicidas sistémicos. Sólo deben emplearse cuando así lo indique la etiqueta del producto.

2.4.2.3. Destilados del petróleo

Son los solventes utilizados con más frecuencia en los plaguicidas lipofílicos. En ocasiones se añaden ciertos hidrocarburos específicos, tales como tolueno o xileno, para estabilizar la solución del plaguicida o hacerlos más emulsificantes. La mayoría de las veces, los plaguicidas de hidrocarburos se encuentran disueltos en cantidades medidas de agua para formar emulsiones. En algunas oportunidades, los ingredientes lipofílicos menos activos están disueltos en mezclas de alcoholes, glicoles, éteres o diferentes solventes clorinados.

2.4.2.4. Adyuvantes modificadores útiles

Agentes antiespumantes

Algunas formulaciones generan espuma en los tanques de mezcla, lo que puede deberse al tipo de tensioactivo usado en la formulación o al tipo de agitación utilizado. Esta espuma puede reducirse o eliminarse con la adición de una pequeña cantidad de inhibidor de espuma.

Agentes de compatibilidad

Con estos productos se eliminan problemas de compatibilidad entre productos químicos, ya que es común que los plaguicidas se combinen con fertilizantes líquidos u otros plaguicidas. Algunas de estas combinaciones son física o químicamente incompatibles, lo que puede causar distribuciones desuniformes en el tanque del pulverizador; además de la obstrucción de los diferentes componentes del equipo.

Agentes acondicionadores y amortiguadores de pH

Se utilizan para aumentar la dispersión y/o la solubilidad de un plaguicida. Tienden a estabilizar el pH del agua en el tanque de pulverización. Estos agentes son usados en áreas de aguas extremadamente ácidas o alcalinas.

2.4.2.5. Adyuvantes modificadores de la pulverización

Actúan en las propiedades físicas de la mezcla a pulverizar, con lo que se influye en el modo de formación de las gotas y conforme al dispositivo de rotura que se use. Entre otros se pueden mencionar:

Agentes reductores de deriva

Por lo general, cuando se aumentan la tensión superficial dinámica y la viscosidad extensional de los líquidos pulverizados se incrementan los tamaños de las gotas resultantes y se disminuye el porcentaje de gotas con tamaño menor a 150 μm (gotas susceptibles de derivar). Esto se debe a que las altas viscosidades y tensiones superficiales impiden el rompimiento de la lámina líquida que sale por las boquillas de pulverización, con el consecuente incremento del tamaño de las gotas. Para evitar este efecto se utilizan los adyuvantes que forman emulsión (aceites emulsificables, emulsiones, tensioactivos parcialmente insolubles en agua). También, polímeros para aumentar la viscosidad extensional. En estos casos se los denomina agentes espesantes.

Un aceite vegetal concentrado también puede aumentar los tamaños de las gotas en el supuesto de que las partículas lipofílicas generen sitios débiles en las láminas líquidas durante la pulverización y así la lámina se rompa rápidamente en gotas relativamente grandes.

Agentes supresores de evaporación

Estos adyuvantes pueden adicionarse para disminuir la presión de vapor del vehículo (agua en la mayoría de las aplicaciones), lo que disminuye la tasa de evaporación y minimiza la reducción del tamaño de gotas en vuelo. Están relacionados con los agentes reductores de deriva.

2.4.2.6. Adyuvantes adherentes y esparcidores

Son sustancias orgánicas que se agregan a las formulaciones de los agroquímicos para esparcirlos sobre la superficie del follaje tratado y aumentar la adhesión al blanco. Por ende, aumentan la persistencia y disponibilidad del residuo sobre la superficie de las hojas. Se usan sustancias que incluyen materiales proteicos, aceites, goma, resinas, arcillas, glicoles polioxietilenos, terpenos y otros productos orgánicos viscosos. Algunos incluyen también alcoholes sulfatados, ésteres ácido-grasos y sulfonatos de petróleo y de alquilo.

2.4.2.7. Adyuvantes emulsificantes

Se emplean para estabilizar las emulsiones de agua y aceite formadas cuando se le añade agua a los concentrados de hidrocarburo técnico. Químicamente son parecidos a los detergentes (una parte de la molécula es lipofílica y la otra hidrofílica). Son ejemplos de emulsificantes las cadenas largas de éteres de alquil sulfonato y el oleato de polioxi-etileno.

2.4.2.8. Adyuvantes penetrantes

Facilitan la transferencia del herbicida a partir de la superficie del follaje hacia los tejidos interiores. Las sustancias utilizadas incluyen, además, aceites y ésteres pesados de petróleo, ésteres grasos de polioles, ésteres polietoxilados de ácidos grasos, polioxi-etilenglicoles, acetato de alquilamina, sulfonatos de arilo y alquilo, alcoholes polihídricos y fosfatos de alquilo.

2.4.2.9. Adyuvantes protectores

Los protectores son sustancias que se añaden a las mezclas de fertilizantes con agroquímicos (comúnmente con herbicidas) para limitar la formación de productos de reacción indeseable. Algunas de las sustancias usadas son sulfatos de alcoholes, diamato de alquil-butan sodio, poliésteres del dioato de tiobutan sodio y derivados del acetoni-trilbenceno.

2.5. Referencias consultadas

- Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior. 1999. Controle químico de doenças de plantas. ABEAS: Brasília, Brasil.
- Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior. 2001. Avaliação toxicologia e ambiental. ABEAS: Brasília, Brasil.
- Azevedo, L. 2001. Proteção integrada de plantas com fungicidas. São Paulo, Brasil, 230 pp.
- Barlow, F. 1985. Chemistry and Formulation. En: Pesticide application: principles and practice. Haskell, P.T. (ed.). Claredon, Oxford, pp. 1-34.
- Blessing, A. 2002. Pesticide and water quality. Publicado en internet, disponible en: <http://persephone.agcom.purdue.edu/AgCom/Pubs/PPP/ppp-35/ppp35-index.html>. Activo, abril 2002.
- Carvalho, R. 2000. Sorção e degradação do fungicida triadimenol em solos representativos do município de Lavras-MG. Tesis Magister. Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil, 54 pp.
- Castellan, G. 1986. Fundamentos de físico-química. LTC, Rio de Janeiro, Brasil, 529 pp.
- De Ruiter, H.; Holterman, H.J.; Kempenaar, C.; Mol, H.G.J.; de Vlieger, J.J.; van de Zande, J.C. 2003. Influence of adjuvants and formulations on the emission of pesticides to the atmosphere. Report 59. Plant Research International B.V., Wageningen.
- Gallo, D., Nakano, O.; Silveira Neto, S.; Carvalho, R.P.; Baptista, G.C. de Berti Filho, E. Garcia, B.E.; Bortolussi, O.A.; Blatner, L. 2003. Formulaciones y adyuvantes. EEA. Anguil INTA. Disponible en: http://www.produccionbobina.com/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_combate_de_plagas_y_malezas/66herbicidad_formulaciones_y_adyuvantes.pdf
- Gallo, D., Nakano, O., Silveira, S., Carvalho, R., Baptista, G., Berti Filho, E., Parra, J., Zicchi, R., Alves, S., Vendramim, J., Marchini, L., Lopes, J. y Omoto, C. 2002. Entomologia Agrícola. 1. ed. FEALQ, Piracicaba, Brasil, 920 pp.
- Giek, V. 2001. Manual de fórmulas técnicas. Hemus, Curitiba, Brasil, 280 pp.
- Hock, W. K. 1998. Horticultural spray adjuvants. Agrichemical Fact Sheet 10. The Pennsylvania State University. Disponible en: <http://pubs.cas.psu.edu/FreePubs/pdf/uo202.pdf>
- Hock, W. K. 2004. Spray adjuvants. Pesticide Safety Fact Sheet. The Pennsylvania State University. Disponible en: <http://pubs.cas.psu.edu/freepubs/pdf/uo221.pdf>
- Hornsby, A.G., Wauchope, R.D. y Herner, A.E. 1996. Pesticide properties in the environment. Springer, New York, 227 pp.
- Kissmann, K.G. 1997. Adyuvantes para caldas de produtos fitossanitários. BASF, São Paulo, Brasil, 24 pp.
- Kerle, E.A., Jenkins, J.J. y Vogue, P.A. 1996. Understanding pesticide persistence and mobility for groundwater and surface water protection. Oregon State University, Corvallis, Estados Unidos, 8 pp.
- Landon, M., Jacobsen, J. y Johnson, G. 1994. Pesticide management for water quality protection. Montana State University, Bozeman, USA, 23 pp.
- Linde, C.D. 1994. Physico-chemical properties and environmental fate of pesticides. Department of Pesticide Regulation, California, 53 pp.
- Lopes, N.P. 1999. Adsorção do triadimenol por frações de solo associadas a um composto de lixo urbano. Tesis Magister. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, 118 pp.
- Matolcsy, G., Nádasy, M. y Andriská, V. 1988. Pesticide chemistry. Elsevier, Budapest, 808 pp.

- Mesquita Filho, A. 2002. Introdução a físico-química das soluções. Publicado en internet, disponible en: <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/9378/BFQ/solu08.htm>. Activo, abril 2002.
- Rigitano, R.L.O. 1989. Translocação de inseticidas em plantas. ESAL, Lavras, Brasil, 16 pp.
- Santos, J.M.F. 2002. Tecnologia da aplicação de defensivos agrícolas. Instituto Biológico, São Paulo, Brasil, 62 pp.
- Silva, J.B., Karam, D. y Costa, E.F. 1994. Herbificação. En: Quimificação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Costa, E.F., Vieira, R.F. and Viana, P.A., (ed.). Embrapa, Brasília, Brasil, pp. 281-307.
- Silveira, R.C., Hills, D.J. y Yates, W.E. 1987. Insecticide oil distribution pattern from a linear move spray head. Transactions of the ASAE 30(2): 438-441.
- Spanoghe, P., de Schampheleire, M., Vander Meeren, P. y Steurbaut, W. 2007. Review. Influence of agricultural adjuvants on droplet spectra. Pest Management Science 63: 4-16.
- Tu, M. y Randall, J. M. 2003. Adjuvants. Chapter 8. En: Weed Control Methods Handbook. The Nature Conservancy. Publicado en internet, disponible en: <http://www.tu-cinvasives.ucdavis.edu/products/handbook/21.Adjuvants.pdf>. Activo
- Universidad de Puerto Rico. 2006. Pesticidas diversos, solventes y adyuvantes. U. de Puerto Rico. Mayaguez. Asunto Ambiental. Disponible en: <http://www.eea.uprm.edu/formularios/pesticidas/Spch18.pdf>
- Vásquez, J. 2003. Aplicación de productos fitosanitarios: técnicas y equipos. Ediciones Agrotécnicas, Madrid, España. 389 pp.
- Vieira, R.F. y Silva, A.A. Aplicação de defensivos agrícolas via água de irrigação por aspersão. En: Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas. Vieira, C., Paula Júnior, T.J. y Borém, A. (ed.). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, pp. 267-323.

Capítulo 3

Deriva de productos agroquímicos - Efecto de las condiciones ambientales

Villalba, J.; Hetz, E.

- 3.1. INTRODUCCIÓN
- 3.2. CONDICIONES AMBIENTALES QUE AFECTAN A LAS APLICACIONES DE AGROQUÍMICOS
 - 3.2.1. POTENCIAL DE EVAPORACIÓN
 - 3.2.1.1. CAPACIDAD DE EVAPORACIÓN DE LA ATMÓSFERA
 - 3.2.1.2. TAMAÑO DE LAS GOTAS PULVERIZADAS
 - 3.2.1.3. TIEMPO QUE TARDAN LAS GOTAS EN IMPACTAR EN EL BLANCO
 - 3.2.2. VIENTO
 - 3.2.3. RAZÓN DE ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA
 - 3.2.4. LLUVIA
- 3.3. EL CONCEPTO DE VENTANA DE APLICACIÓN DE AGROQUÍMICOS
- 3.4. MEDIDAS PARA MITIGAR LAS PÉRDIDAS POR DERIVA
- 3.5. USO DE MODELOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DERIVA
- 3.6. REFERENCIAS CONSULTADAS

3.1. Introducción

El movimiento de los productos agroquímicos en el ambiente es muy complejo, e implica procesos de pérdida continuos. La ocurrencia de volatilización y deriva en la actividad agrícola determina en gran medida estas pérdidas.

La preocupación por los riesgos de los productos agroquímicos en el ambiente comenzó cuando se registraron los primeros casos de contaminación de aguas potables. Estas contaminaciones pueden ser generadas a partir del movimiento en distintos niveles del ciclo hidrológico. Un producto que deriva o volatiliza al ambiente puede quedar en el área de aplicación o migrar fuera del área de tratamiento, contaminando cursos de agua a través de la lluvia.

La deriva es definida como el movimiento del producto en el aire durante y después de la aplicación, dentro y fuera del lugar de aplicación, sin implicar necesariamente cambios de estado. En consecuencia, el agroquímico no alcanza el objetivo y contamina el ambiente.

El proceso de deriva es diferenciado de la volatilización por ser un fenómeno meramente físico, aunque en condiciones de campo es difícil distinguirlos ya que ocurren en forma simultánea. La volatilización es también considerada un parámetro muy importante en la generación de deriva, particularmente en caso de pulverización con gotas finas y muy finas. Las pérdidas al ambiente pueden continuar desde la superficie de las hojas de los cultivos por el proceso de volatilización. Por lo tanto, es erróneo considerar como deriva la cantidad de producto que se pierde sólo al momento de la aplicación. En evaluaciones de campo se observó una mayor cantidad de deriva en herbicidas con mayor presión de vapor.

Las pérdidas de productos agroquímicos por deriva al ambiente y su intensidad dependen de las condiciones al momento de la aplicación. El viento es uno de los principales factores en este proceso, porque interactúa en forma significativa con la tecnología utilizada y con las características del agroquímico.

Los factores relacionados con la ocurrencia de deriva son:

- Características de la pulverización, equipos y técnicas de pulverización, boquillas, presión y volumen.
- Condiciones ambientales.
- Cuidados en la operativa de la pulverización.

La deriva puede ser diferenciada en exoderiva, aquella que sale del área objetivo, y endoderiva, la que no alcanza el objetivo, pero permanece en el lugar de aplicación. En este último caso el producto no alcanza el blanco y cae al suelo.

La endoderiva se produce como consecuencia de lluvias inmediatamente después de la aplicación, por el uso de altos volúmenes de agua, caldos de aplicación con alta o muy baja tensión superficial y superficies foliares cerosas. Las pérdidas al suelo pueden determinar que el producto sea adsorbido a las partículas del suelo y sufrir algún tipo de degradación o percolar, lo que provocará la contaminación de capas de aguas subterráneas y acuíferos. El tipo de boquillas utilizadas afecta significativamente la endoderiva, siendo más importante para aquellas que generan gotas de mayor tamaño.

Si bien cada tipo de producto requiere de una determinada tecnología de aplicación para lograr el mayor contacto posible con el objetivo, existe escasa información de las interacciones que ocurren en campo con las condiciones de aplicación y la ocurrencia de deriva.

El estado de desarrollo del cultivo y el estado fenológico son variables importantes. La deposición y la uniformidad de las aplicaciones de productos agroquímicos están directamente relacionadas con las características de las plantas, tanto de las hojas como de sus formas. Existe una importante interacción con el nivel de desarrollo y la arquitectura de la planta y las pérdidas por endoderiva. Cuanto mayor sea el índice de área foliar, menor será la cantidad de pérdidas. En varias investigaciones se observó que la endoderiva fue mayor en estadios de desarrollo menos avanzados de los cultivos.

La deriva en campo presenta inconvenientes para su cuantificación; las limitantes están relacionadas con la forma de captura y la interacción con el tipo de producto. Las nuevas tecnologías usadas para medir deriva son sofisticadas e incluyen balance de masas, detección de metabolitos o el empleo de trazadores para cuantificación de los depósitos en cromatógrafo, espectrofotómetro o fluorímetro, dependiendo del trazador usado. Si bien hay quienes argumentan que los trazadores podrían alterar las propiedades físicas de la formulación y, en consecuencia, el espectro de gotas emitido, los trazadores fluorescentes y en particular colorantes foto-estables son ampliamente usados, debido a que pueden agregarse a la mezcla de pulverización, ser lavados desde los sustratos y luego analizados con celeridad y a un bajo costo.

La presencia del ácido siquímico (metabolito del herbicida glifosato) en plantas de áreas adyacentes se ha utilizado como estimador de la deriva de este herbicida.

Existe una dificultad de diferenciar a la deriva de la volatilización en las evaluaciones de pérdida. Esto hace necesario encontrar métodos para independizar la detección de los productos usados y las condiciones microclimáticas.

Es importante, además de elegir la metodología con trazadores de bajo costo y de fácil manipulación, escoger bien los colectores ya que la captación puede realizarse en colectores artificiales o directamente en suelo y/o planta.

3.2. Condiciones ambientales que afectan a las aplicaciones de agroquímicos

Los principales factores ambientales que afectan las aplicaciones de agroquímicos son la temperatura, la humedad relativa y el viento. Los dos primeros tienen un marcado efecto sobre la evaporación de las gotas asperjadas, mientras que la velocidad y la dirección del viento afectan sobre todo a la deriva aerotransportada. Por otra parte, la lluvia puede producir el lavado de los agroquímicos y favorecer la endoderiva.

3.2.1. Potencial de evaporación

Una combinación de alta temperatura (>30 °C) y baja humedad relativa (<40%) puede tener una fuerte influencia directa sobre la evaporación de las gotas pulverizadas, en especial cuando éstas son finas. Los factores más importantes que afectan las pérdidas por evaporación en la aplicación de agroquímicos son los siguientes:

3.2.1.1. Capacidad de evaporación de la atmósfera

Esta capacidad es expresada por la diferencia de temperatura o depresión del termómetro entre el bulbo seco y el bulbo húmedo. Una variación amplia entre estas temperaturas señala la presencia de una atmósfera muy seca con gran potencial de evaporación.

3.2.1.2. Tamaño de las gotas pulverizadas

Un aspecto de importancia relacionado con la deriva es el tamaño de las gotas. Las gotas inferiores a 50 µm, aún en condiciones ambientales favorables, por su breve tiempo de vida se evaporarán totalmente antes de llegar al blanco. Por otro lado, las gotas mayores a 200 µm aún en condiciones desfavorables llegarán en mayor número a destino.

Debe tenerse presente que ciertos agroquímicos se evaporan con mayor facilidad que otros; así, los ésteres del 2,4-D o del MCPA son muy volátiles, mientras que sus respectivas aminas son más estables. También se sabe que con una mayor viscosidad del producto se logran gotas de mayor tamaño que no se evaporan tan rápido.

3.2.1.3. Tiempo que tardan las gotas en impactar en el blanco

Puede expresarse en función de la distancia que deben recorrer las gotas desde la boquilla hasta el blanco. Por ejemplo, en aplicaciones en árboles frutales, el tiempo que tardan las gotas en llegar a la parte superior de los árboles es mayor y consecuentemente lo será el volumen evaporado.

Las relaciones existentes entre los factores mencionados y su efecto sobre la evaporación de las gotas del agroquímico se muestran en detalle en

la Figura 3.1. Allí se puede ver que a mayor depresión del bulbo húmedo, mayor distancia al blanco y menor tamaño de las gotas, mayor es el porcentaje del volumen aplicado que se evapora.

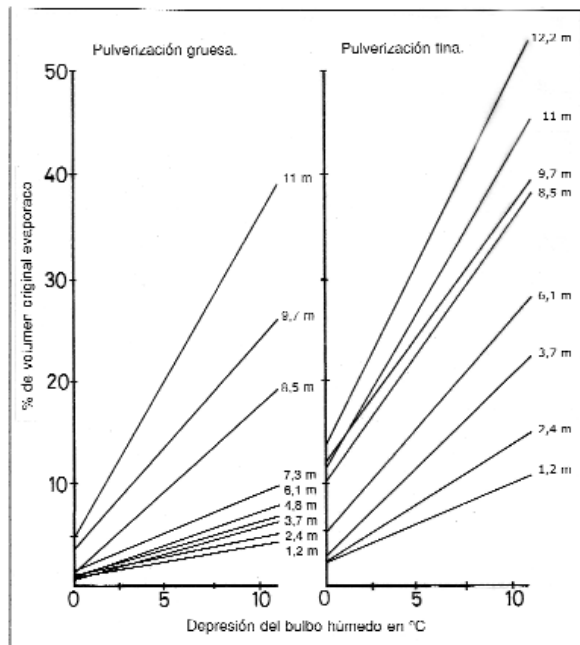


Figura 3.1. Relaciones entre la depresión del bulbo húmedo, la distancia al blanco, el tamaño de las gotas y las pérdidas por evaporación (Fuente: Cunningham et al., 1962)

3.2.2. Viento

La brisa fuerte y el viento favorecen el transporte de las gotas de pulverización fuera del blanco de aplicación. La velocidad del viento es el factor meteorológico que más afecta a la deriva. Ensayos realizados en condiciones de laboratorio muestran que a 24 °C las gotas de 100 μm sometidas a una corriente de aire de 5,18 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ son trasladadas 10 m, mientras que a una corriente de 25,8 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ son trasladadas 35 m.

Los problemas causados por el viento son mayores en las aplicaciones en huertos frutales que en las de cultivos bajos, principalmente por la distancia que debe recorrer la gota antes de llegar al blanco. En estas aplicaciones, el flujo de aire que genera el ventilador de la máquina pulverizadora debe transportar las gotas hasta las partes del árbol más alejadas de las boquillas. En general, no existen problemas de transporte en los sectores bajos y externos del árbol debido a que las ve-

locidades del flujo de aire son relativamente altas en comparación con la velocidad del viento. En las partes más alejadas del árbol la pulverización está más expuesta a los efectos del viento y, en consecuencia, a la exoderiva. También debe tenerse en cuenta que la velocidad del viento aumenta logarítmicamente con la altura, lo cual puede ser importante en aplicaciones en huertos con árboles de gran porte.

En la Tabla 3.1 se pueden observar los rangos de valores de viento que permiten o impiden las aplicaciones de agroquímicos en huertos frutales y su interacción con la temperatura.

También es muy importante estar alerta a los cambios de dirección del viento durante la aplicación, porque se puede generar deriva hacia campos circundantes y daños a los cultivos sensibles y al operario.

Tabla 3.1. Velocidad del viento, signos observables y aplicación de agroquímicos (Fuente: Hardi 2003)

Velocidad del viento a la altura del tractor	Escala Beaufort A 10 m altura	Descripción	Signos observables	Aplicación de agroquímicos
<2 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (0,56 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Fuerza 0	Calma	Humo asciende verticalmente	No tratar en horas de mayor temperatura
2-3,2 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (0,56-0,89 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Fuerza 1	Leve brisa	Humo sigue dirección del viento	No tratar en horas de mayor temperatura
3,2-6,5 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (0,89-1,81 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Fuerza 2	Brisa ligera	Se mueven las hojas	Tiempo ideal para aplicar
6,5-9,6 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (1,81-2,67 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Fuerza 3	Brisa fuerte	Hojas y ramitas en movimiento	No aplicar
9,6-14,5 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (2,67-4,03 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Fuerza 4	Viento moderado	Ramas en movimiento	No aplicar

3.2.3. Razón de estabilidad atmosférica (REA)

La temperatura del aire es afectada por la presión atmosférica, la cual disminuye a medida que aumenta la altura sobre el suelo, de tal manera que cuando una masa de aire se eleva sin ganar o perder calor, se expande y se enfría. Ocurre una disminución de la temperatura de aproximadamente 1 °C por cada 100 m en aire seco, lo cual es conocido como tasa adiabática de descenso de la temperatura con la altitud. Un descenso de la temperatura

menor que la tasa adiabática inhibe el movimiento del aire hacia arriba y se está en presencia de una atmósfera estable.

Si la temperatura disminuye más rápido, existe una tasa superadiabática de descenso. Bajo estas condiciones, una masa de aire cercana al suelo calentada por la radiación solar empezará a subir y continuará haciéndolo mientras permanezca más caliente y liviana que el aire que la rodea. Estos movimientos convectivos del aire resultan en una atmósfera inestable y turbulenta que puede afectar en forma negativa la aplicación.

Cuando se analizan las condiciones atmosféricas que afectan a la aplicación de agroquímicos, con frecuencia se recurre a la razón de estabilidad atmosférica (REA), que combina la velocidad del viento y la temperatura a dos alturas, según la ecuación 3.1:

$$REA = \frac{T_{10m} - T_{2,5m} \times 10^3}{V_{5m}} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

donde:

T_{10m} y T_{2,5m} son la temperatura (°C) del aire a 10 m y 2,5 m de altura, respectivamente; y V_{5m} es la velocidad del viento (m.s⁻¹) a 5 m de altura.

Un valor positivo de REA indica temperatura de inversión y, por lo tanto, condiciones favorables para la aplicación de agroquímicos.

3.2.4. Lluvia

Este fenómeno meteorológico diluye y lava el agroquímico aplicado al follaje, lo que reduce la eficacia del tratamiento, contamina el suelo y aumenta los costos. Los niveles de precipitación generan efectos negativos sobre la aplicación de agroquímicos, dependiendo de la intensidad de la precipitación, del producto y del tiempo transcurrido entre la aplicación y la lluvia. También debe tenerse presente la ocurrencia de rocío sobre el follaje, que puede causar coalescencia de las gotas y pérdidas por goteo.

3.3. El concepto de ventana de aplicación de agroquímicos

Sólo deberán realizarse las aplicaciones cuando las condiciones ambientales se encuentren dentro de ciertos límites, ya que la efectividad y la seguridad del tratamiento se verían comprometidas. El período durante el cual se dan las condiciones adecuadas se denomina “ventana de aplicación” (Figura 3.2). Para determinar el tamaño de esta ventana también se deben considerar el equipo utilizado, el tipo de cultivo, su estado fenológico y las condiciones operativas.

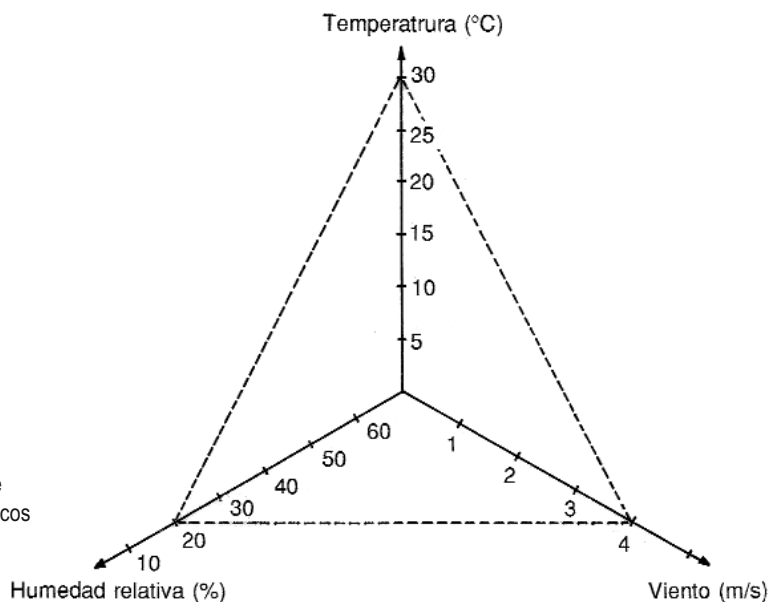


Figura 3.2. Ejemplo del concepto de ventana de aplicación de agroquímicos

3.4. Medidas para mitigar las pérdidas por deriva

La tecnología ha cooperado para disminuir este tipo de pérdidas, con la creación de nuevos diseños de boquillas antideriva. De esta forma aumenta el diámetro de las gotas y disminuye la proporción de aquellas más propensas a la deriva. Las boquillas y la presión de aplicación determinan el tamaño y la homogeneidad del espectro de gotas. Los productos de contacto necesitan una buena cobertura y penetración de las gotas en el follaje, lo que no puede lograrse con gotas gruesas como las que se generan con boquillas antideriva. Por este motivo, no son recomendadas para todos los tipos de aplicación. En los casos en que se considere necesario el uso de gotas finas, la solución puede ser el uso de boquillas convencionales, observando el momento de aplicación y evi-

tando condiciones de alta temperatura y baja humedad relativa.

Algunos investigadores sostienen que el espectro de gotas con un diámetro de la mediana volumétrica (DMV) menor a 250 μm determina aplicaciones con elevado riesgo. Otros consideran que la fracción de gotas menores a 100 μm no debe superar el 10%, siendo las boquillas de cono hueco las que presentan porcentajes más elevados de este tamaño de gotas.

En estudios comparativos, el uso de boquillas antideriva de abanico con inducción de aire permitió disminuciones de la deriva del orden del 90%, comparadas con boquillas convencionales de abanico y cono hueco. Es indiscutido el comportamiento de las boquillas antideriva cuando se evalúa este aspecto, pero no necesariamente implica



Figura 3.3. Deriva en cultivos extensivos

mayor deposición en el follaje. Por ello, no siempre son recomendadas para situaciones donde se necesita una buena cobertura para alcanzar el objetivo.

Otro de los recursos para atenuar la deriva es el uso de barras con túnel de viento, que mejoran el transporte. A esto se suma la menor distancia que debe recorrer la gota antes de llegar al blanco, comparada con las aplicaciones en huertos frutales.

La disminución de deriva, volatilización y evaporación también pueden lograrse a través de modificaciones de las características de las gotas de pulverización. Como fue mencionado, la incorporación de adyuvantes a las preparaciones para pulverizar tiene la finalidad de modificar sus propiedades físico-químicas, y por lo tanto modifica la actividad de los productos agroquímicos.

En aplicaciones de post-emergencia, un recurso muy usado para mejorar la deposición de los agroquímicos y disminuir las pérdidas son los humectantes, que aumentan el tiempo de permanencia de la gota en la superficie foliar y disminuyen así la probabilidad de ocurrencia de deriva. Estos adyuvantes promueven la mayor permanencia de la solución en contacto con la cutícula y aumentan la absorción, aunque no siempre existe una relación directa entre el mayor tiempo de contacto y los padrones de absorción y transporte. El fenómeno ocurre porque las gotas de agua emulsionadas con aceite se evaporan más lento, lo que permite que alcancen el blanco y también que permanezcan más tiempo en la superficie de la hoja.



Figura 3.4. Deriva en cultivos de frutales

Este efecto anti-evaporante de los aceites es muy requerido en condiciones de baja humedad relativa del aire y alta temperatura. Algunas de las restricciones pueden ser eventuales problemas de fitotoxicidad, ya que aumentan demasiado la permeabilidad de las membranas y determinan pérdida de selectividad. También hay ejemplos de menor retención al aumentar la concentración de los adyuvantes (por la ocurrencia de escurrimiento). No obstante, vale recordar que la eficiencia de los productos no depende sólo de la retención sino también de la distribución de los depósitos.

Otra técnica para disminuir la potencialidad de la volatilización de productos agroquímicos es el uso de formulaciones encapsuladas. Esto modifica la actividad al reducir los daños causados por la volatilidad, y a veces puede implicar mayor tiempo de control por la menor pérdida al ambiente.

Además de emplear tecnología para mitigar la deriva es necesario mantener áreas *buffer* libres de siembra, con el fin de alcanzar niveles aceptables de riesgo eco-toxicológico en los cursos de agua.

Para minimizar los problemas de deriva no solo es importante generar conocimientos, sino aplicarlos y entrenar a los productores, lo que redundará en mejoras de calidad en las aplicaciones y, consecuentemente, en una disminución de la contaminación del ambiente.

3.5. Uso de modelos para la estimación de la deriva

Entre los factores considerados con frecuencia en los modelos para la estimación de la deriva se encuentran la técnica de pulverización, el cultivo, las condiciones climáticas y los efectos sobre el proceso de pulverización. La integración de los conocimientos se traduce en los modelos que describen los componentes del proceso desde la salida de la gota a la llegada al blanco, además del desarrollo de mejoras de las técnicas de pulverización. Se consideran además, aquellos modelos que buscan parametrizar las variables que afectan la retención de la pulverización en los cultivos, porque indirectamente disminuyen la endoderiva, ya que están influidos por los mismos factores. La retención de la pulverización es consecuencia de muchas causas, incluyendo las interacciones dinámicas entre formulación, tamaño de gotas y su comportamiento durante el proceso y hasta su impacto al vegetal, las propiedades físicas de la gota, la morfología de la superficie de la hoja y la arquitectura de la planta en relación a la orientación de las hojas. Todos estos aspectos, si bien pueden ser estudiados y modelados en una planta, en condiciones de campo son más complejos debido a las interacciones que ocurren en la dinámica de la pulverización.

Existen modelos que consideran los patrones verticales de distribución y la influencia del tamaño de las gotas, la velocidad del viento y el área foliar. Otros modelos más simples han sido elaborados para los depósitos de los productos agroquímicos en cereales de invierno, con pocos parámetros. Estos permiten el cálculo de la captura por el follaje del cereal como una simple expresión exponencial, incluyendo un coeficiente del agroquímico, el índice del área foliar y la altura de las plantas.

En Estados Unidos se han desarrollado modelos matemáticos como AgDRIFT y AgDISP que estiman el riesgo potencial de deriva de agroquímicos normalizando los equipos de aplicación. Sin embargo, también deberían considerar la existencia de áreas *buffer*, normativas de seguridad y tecnologías de reducción de deriva, para ampliar tanto su aplicabilidad como su nivel de predicción, y así reflejar la realidad a campo.

3.6. Referencias consultadas

- Baldoin, C. 2001. Guida all'impiego delle macchine per i trattamenti antiparassitari. 126 pp. Università di Padova, Italia.
- Barber, J.A.S.; Parkin, C.S. 2003. Fluorescent tracer technique for measuring the quantity of pesticide deposited to soil following spray applications. *Crop Protection*, v. 22, pp. 15-21.
- Barber, J.A.S.; Parkin, C.S.; Chowdhury, A.B. 2003. Effect of application method on the control of powdery mildew (*Bulmeria graminis*) on spring barley. *Crop Protection*, v. 22, pp. 949-957.
- Bayat, A.; Bozdogan, N.Y. 2005. An air-assisted spinning disc nozzle and its performance on spray deposition and reduction of drift potential. *Crop Protection*, v. 24, pp. 951-960.
- Briand, O.; Bertrand, F.; Seux, R.; Millet, M. 2002. Comparison of different sampling techniques for the evaluation of pesticide spray drift in apple orchards. *The Science of the Total Environment*, v. 288, pp. 199-213.
- Campbell, G. S. 1995. Introducción a la biofísica ambiental.. EUB, Barcelona, España. pp.11-55
- Cross, J.V.; Walklate, P.J.; Murray, R.A.; Richardson, G.M. 2001. Spray deposits and losses in different sized apple trees from (an) axial fan orchard sprayer: 1. Effects of spray liquid flow rate. *Crop Protection*, v. 20, pp. 13-30.
- Cunningham, R.T.; Brann J.L.; Fleming G.A. 1962. Factors affecting the evaporation of water from droplets in airblast sprayers. *Journal of Economic Entomology* 55(2):192-199.
- Etiennot, A.; Jalil Maluf, E.; Mazza Rossi, S.; Parato, A. 1998. Introduction to the study of spray penetration from hydraulic nozzles and CDA system in cultivated pastures: *Lotus tenuis*. *Malezas*, v.16, n.1, pp. 63-65.
- Fiorini, M.V.; Velini, E.D.; Adegas, F.S. 2006. Averiguação das perdas por deriva nas pulverizações de agrotóxicos no norte do Paraná. En: Congresso Brasileiro Da Ciência das Plantas Daninhas, 25, Brasília. Resumos. SBPCPD, 581 p.
- Fishel, F. 1997. Pesticides and the Environment. University Extension, University of Missouri- Columbia, 6 pp.
- Foy, C.L.; Pritchard, D.W. 1996. Pesticide formulation and adjuvant technology. 1ª ed. Editado por Foy, C.L.; Pritchard, D.W., 363 p.
- Furlanetti, A.C.; Matuo, T.; Barbosa, J.C. 2001. Uniformidade de deposição da calda de pulverização de herbicidas em barra lateral protegida com diferentes combinações de pontas de pulverização. *Planta Daninha*, v. 19, n. 3, p. 445-455.
- Gyldenkaerne, S.; Secher, B.J.M.; Nordbo, E. 1999. Ground deposit of pesticides in relation to the cereal canopy density. *Pesticide Science*, v. 55, pp.1210- 1216.
- Hardi. 2003. Técnicas de atomización. Publicación Hardi 673705-E/4. Santiago de Chile, 40 p.
- Hansson, D.; Mattsson, J.E. 2002 Effect of drop size, water flow, wetting agent and water temperature on hot-water weed control. *Crop Protection*, v. 21, pp. 773-781.
- Hetz, E., Venegas, A.; López, M. 2006. Non-polluting pesticide application windows for fruit orchards in south central Chile, *AMA* 35(4):52-59. Tokyo, Japan.
- Holloway, P.J. 1970. Surface factors affecting the wetting of leaves. *Pesticide Science*, v.1, n.1, pp. 56-63.
- Holloway, P.; Butler Ellis, M.; Webb, D.; Western, N.; Tuck, C.; Hayes, A.; Miller, P. 2000. Effects of some agricultural tank-mix adjuvants on the deposition efficiency of aqueous sprays on foliage. *Crop Protection*. 19:27-37.

- Jensen, P.K.; Jorgensen, L.N.; Kirknel, E. 2001. Biological efficacy of herbicides and fungicides applied with low-drift and twin-fluid nozzles. *Crop Protection*, v. 20, pp. 57-64.
- Jensen, P.K.; Splid, N.H. 2003. Deposition of spray liquid on the soil below cereal crops after applications during the growing season. *Weed Research*, v. 43, pp. 362-370.
- Lesnik, M.; Pintar, C.; Lobnik, A.; Kolar M. 2005. Comparison of the effectiveness of Standard and drift-reducing nozzles for control of some pests of apple. *Crop Protection*. 24: 93-100.
- Lessi, S., Barbi, A.; Longobucco, A.; Varagnolo D. 2001. Análisis climática del comprensorio. pp. 23-47. En: La distribución de los fitofarmacios en la agricultura del melo. ARPAV del Veneto. Italia.
- Luchini, L.C.; Andréa, M.M. 2002. Dinámica de Agrotóxicos no ambiente. En: Ambiente, Ministério do Meio; Agricultura, Forum Nacional de Secretários de (Org.). Programa de Defesa Ambiental Rural- Textos Orientadores. Brasília, pp. 27-44.
- Magdalena, C.; Di Prinzi, A.; Behmer S. 2008. Factores que afectan la aplicación de agroquímicos en montes frutales. Documento presentado en la 3ª reunión de la Red CYTED "Técnicas sostenibles de distribución de agroquímicos". Cauquenes, Chile, 21 p.
- Matthews, G.A. 2000. Pesticide application methods. Blackwell Science. London, England. 432 p.
- Matthews, G.A.; Hislop, E.C. Application technology for Crop Protection. 1993. 1ª ed. Editado por Matthews, G. A.; Hislop, E. C. 359 p.
- Matuo, T.; Nakamura, S.H.; Almeida, A. 1989 Efeitos de alguns adjuvantes da pulverização nas propriedades físicas do líquido. *Summa Phytopathologica* 15: 162-173.
- Mc Whorter, C.G. 1985. The physiological effects of adjuvants on plants. En: Duke. S. *Weed physiology: Herbicide physiology*. Florida. Ed Duke. S. Chapter 6, pp. 141-158.
- Onorato, A.A.; Tesouro, M.O. 2004. Desempeño antideriva de una boquilla de pulverización agrícola de cono hueco inducida por aire. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, v. 33, n. 3.
- Ozkan, E. 2001. Reducing Spray Drift. En: Ohio State Univ., Ext. Bull. Disponible en: <http://ohioline.osu.edu/b816/index.html>.
- Ravier, I.; Haouisee, E.; Clement, M.; Seux, R.; Briand, O. 2005. Field experiments for the evaluation of pesticide spray-drift on arable crops. *Pesticide Management Science*, v. 61, pp. 728-736.
- Rodrigues da Cunha, J.P.A. y col. 2004 Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v 39, n 10, pp. 977- 985.
- Scramin, S.; Chaim, A.; Pessoa, M.; Ferracini, V.; Pavan, L.; Alvarenga, N. 2002. Avaliação de bicos de pulverização de agrotóxicos na cultura do algodão. *Pesticidas: R. Ecotoxicología e Meio Ambiente*, v. 12, pp. 43-50.
- Sharma, S.D.; Singh, M. 2000. Optimizing foliar activity of glyphosate on *Bidens frondosa* and *Panicum maximum* with different adjuvant types. *Weed Research*, v. 40, n. 6, pp. 523-533.
- Thomas, W.; Burke, I.; Robinson, B.; Pline Smi, W.; Edmisten, K.; Wells, R.; Wilcut J. 2005. Yield and Physiological Response of Nontransgenic Cotton to Simulated Glyphosate Drift. *Weed Technology*, v. 19, pp. 35-42.
- Werf, van Der, H.M.G. 1996. Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. v 60, pp. 81-96.

Capítulo 4

Formación de gotas en la aplicación de plaguicidas

Castillo, B.

- 4.1. INTRODUCCIÓN
- 4.2. ENERGÍA HIDRÁULICA
 - 4.2.1. DESINTEGRACIÓN DE CHORROS
 - 4.2.2. DESINTEGRACIÓN DE LÁMINAS LÍQUIDAS
- 4.3. ENERGÍA NEUMÁTICA
- 4.4. ENERGÍA CENTRÍFUGA
- 4.5. ENERGÍA TÉRMICA
 - 4.5.1. TERMONEBULIZACIÓN
- 4.6. ENERGÍA ELECTRODINÁMICA
- 4.7. ENERGÍA ULTRASÓNICA
- 4.8. REFERENCIAS CONSULTADAS

4.1. Introducción

En la mayoría de los casos, la cantidad de sustancia activa requerida por unidad de superficie es muy pequeña. Así, en la práctica, es muy difícil conseguir una distribución adecuada sin recurrir a algún método de dilución. El medio más usado es el agua, si bien pueden emplearse otros líquidos. Las gotas se constituyen en el vehículo más común para llevar la sustancia activa diluida en un líquido hasta el objetivo deseado. De ahí que sea de gran importancia conocer las técnicas que pueden utilizarse para la subdivisión de los líquidos en gotas, proceso conocido como pulverización.

Las pulverizaciones se componen de una gran cantidad de gotas de líquido de diferentes tamaños y velocidades según las condiciones de operación. Para cada aplicación es importante conocer la distribución de diámetros de las gotas, puesto que determinan las características de operación y la eficiencia de los dispositivos de pulverización involucrados. Muchos autores advierten que en las pulverizaciones agrícolas no solo se producen gotas del tamaño correcto para obtener el control deseado, sino que se originan otras de tamaño muy variado que pueden traer impactos adversos para el ambiente y la salud humana.

El proceso de pulverización puede considerarse como la interrupción de la influencia estabilizadora de la tensión superficial por la acción de fuerzas internas y externas. Muchas de las grandes gotas producidas en el proceso de desintegración inicial son inestables y sufren un nuevo proceso de rompimiento para generar gotas más pequeñas. Así, el tamaño final de las gotas dependerá del alcance de los dos procesos, pulverización primaria y pulverización secundaria.

Si se tiene en cuenta que se necesita energía para romper el líquido en gotas, los métodos de subdivisión o pulverización pueden clasificarse conforme a la energía usada: presión de un líquido (hidráulica), presión de aire (neumática), rotación de dispositivos (centrífuga), evaporación de líquidos (térmica), campos eléctricos (electrodinámica) y vibración mecánica de superficies (ultrasónica). Es válida la obtención de nuevos mecanismos de pulverización, al combinar dos o más de los métodos enunciados.

Las fuerzas actuantes (sin incluir las electromagnéticas que actúan en los líquidos cargados) sobre un líquido a pulverizar, atendiendo a las propiedades más importantes de éste, son: densidad ρ , coeficiente de tensión superficial σ y viscosidad dinámica μ . Para líquidos comunes la densidad es del orden de $1.000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. El coeficiente de tensión superficial es del orden de $10^{-2} \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ para muchos líquidos. La viscosidad dinámica varía alrededor de 10^{-4} hasta $1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. La densidad del líquido se ve levemente afectada por la presión y la temperatura. La tensión superficial y la viscosidad son poco dependientes de la presión y disminuyen con los aumentos de temperatura.

Las fuerzas que actúan sobre un líquido y que son particularmente importantes en la pulverización son:

- Fuerza de gravedad: $\rho L_O^3 g$
- Inercia: $\rho L_O^2 V^2$
- Fuerza de tensión superficial: σL_O
- Fuerza viscosa: $\mu L_O V$

Donde L_O y V son longitud característica y velocidad respectivamente, y g aceleración debida a la gravedad. A partir de estas fuerzas resultan tres números adimensionales bien conocidos:

- Número de Reynolds: $Re = \rho L_O V / \mu$ (relación entre las fuerzas inerciales y las viscosas).
- Número de Weber: $We = \rho L_O V^2 / \sigma$ (relación entre las fuerzas de inercia y las capilares o de tensión superficial).
- Número de Froude: $Fr = V^2 / g L_O$ (relación entre las fuerzas inerciales y las gravitatorias).

Es decir, las fuerzas inerciales están en competencia con la disipación viscosa, la deformación de la gota y la acción de la gravedad.

Otro número común es:

- Número de Ohnesorge: $Oh = We^{0.5} / Re = \mu / (\rho \sigma L_O)^{0.5}$ (relación entre las fuerzas capilares y las viscosas).

La velocidad y la longitud características dependen del fenómeno observado. Para chorros en descarga se usan típicamente la velocidad promedio de la

corriente y el diámetro (chorro cilíndrico redondo) o el espesor (para flujo líquido en forma de lámina).

También hay fuerzas viscosas, de gravedad y de inercia para el gas circundante (en general, aire), lo que dará origen a otros cuatro parámetros adimensionales: número de Weber para la fase gas (We_g), número de Reynolds para la fase gas (Re_g) y las relaciones de las densidades y viscosidades gas-líquido.

La energía de superficie por unidad de longitud para un chorro redondo de radio r es $2\pi r\sigma$, mientras que la energía cinética por unidad de longitud es $\rho\pi r^2 V^2/2$. A fin de que ocurra el rompimiento, la energía cinética debe exceder la de superficie, lo que implica que $We = \rho L_0 V^2/\sigma > 4$. Para una lámina de líquido fluyendo el rompimiento conforme a este concepto simplista se requiere de nuevo que $We > 4$, pero ahora basado en el espesor de la lámina. Este mismo concepto aplicado a gotas esféricas daría que $We > 6$ con el radio de la gota como la longitud característica.

Cuando se produce la pulverización como resultado de la interacción entre el líquido y el gas circundante (que puede estar quieto o en movimiento), todo el proceso incluye muchos mecanismos de interacción, entre los cuales siempre se dará la subdivisión de gotas grandes en gotas de menor tamaño. Consecuentemente, conviene examinar la forma general como una gota puede romperse bajo la acción de fuerzas aerodinámicas que, en condiciones de equilibrio, la presión interna en cualquier punto de la superficie de la gota de líquido p_l , es apenas suficiente para balancear la presión aerodinámica externa del gas p_g y la presión de la tensión superficial, tal que:

$$p_l = p_g + p_\sigma = \text{const} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Además, si para la gota esférica de diámetro, D la presión de la tensión superficial fuera $p_\sigma = 4\sigma/D$, es claro que una gota permanecerá estable sólo si cuando hay un cambio en la presión del gas en cualquier punto de su superficie puede compensarlo con un correspondiente cambio en p_σ , de tal manera que p_l pueda seguir constante. No obstante, si p_g es grande comparado con p_σ , cualquier

cambio apreciable en p_g no puede compensarse por el correspondiente cambio en p_σ , a fin de mantener p_l constante. En tal caso, la presión externa p_g puede deformar la gota hasta ocurrir la subdivisión en gotas de menor diámetro, en las cuales las presiones derivadas de la tensión superficial sean mayores (debido a los menores radios de curvatura) para acomodarse a las variaciones en p_g . Entonces, habrá subdivisión hasta que el diámetro de las gotas sea lo suficientemente pequeño para mantener el equilibrio. Cabe añadir que el efecto de la viscosidad del líquido es oponerse a la deformación de la gota y demorar el proceso de subdivisión.

4.2. Energía hidráulica (presión)

Mediante este método, el líquido (en forma de chorro o corriente) se introduce bajo presión en un orificio calibrado (boquilla) de una línea o tubería hidráulica (Figura 4.1). El rompimiento ocurre cuando el líquido sale de la boquilla a un medio gaseoso en reposo (aire de la atmósfera). El líquido fraccionado puede emerger aún en forma de corriente o "chorritos" desintegrándose en gotas o en forma de lámina o película, que luego continuará desintegrándose en gotas. Incluso el líquido puede desintegrarse inmediatamente en gotas a la salida del orificio. La forma de rotura dependerá del balance de las fuerzas mencionadas, conforme a las magnitudes de los números adimensionales referidos de la geometría del orificio o de las componentes de velocidad (tangenciales y axiales) de la corriente antes de pasar por el orificio.



Figura 4.1. Formación de gotas mediante energía de presión hidráulica

Cuando una corriente o chorro de líquido emerge de una boquilla resulta un rompimiento a partir de la inestabilidad hidrodinámica, una competencia entre fuerzas cohesivas y disruptivas en la superficie del chorro que producen oscilaciones y perturbaciones, que en condiciones favorables se amplifican hasta desintegrarse en gotas. Ello constituye la pulverización primaria. Luego, si estas gotas exceden un tamaño crítico ocurre una desintegración posterior en gotas de menor tamaño y se produce la pulverización secundaria (Figura 4.2).

4.2.1. Desintegración de chorros

Con bajo número de Reynolds se da un rompimiento con oscilaciones axisimétricas inducidas por la tensión superficial. La viscosidad del líquido tiene un efecto estabilizador que disminuye la tasa de rompimiento y aumenta el tamaño de las gotas producidas, bien distanciadas del orificio como muestra la Figura 4.3.A. Con mayor número de Reynolds el chorro se hace más sinuoso debido a los efectos aerodinámicos, y se reduce el tamaño de las gotas (Figuras 4.3.B y 4.3.C). Con un número aún mayor (del orden de 105) la formación de gotas se produce muy cerca del orificio y con un tamaño mucho menor (Figura 4.3.D).

4.2.2. Desintegración de láminas líquidas

Existen varios tipos de boquillas en las que no se forman chorros sino láminas de líquido planas o cónicas. En el primer caso, con orificios elípticos o rectangulares o con el choque del chorro contra una pantalla deflectora. En el segundo, con

orificios anulares o mediante la circulación de líquido a través de pasajes o muescas tangenciales o helicoidales que le impartan a la corriente una componente de velocidad tangencial. Se definen tres modos de desintegración en las láminas: borde, ondulación y perforación (Figura 4.4). En el modo de borde, las fuerzas generadas por la tensión superficial causan que el extremo libre de la lámina de líquido se contraiga y forme un borde grueso, que luego se rompe mediante el mecanismo de desintegración de un chorro. Cuando esto ocurre, las gotas resultantes continúan moviéndose en su dirección original, pero permanecen unidas a la superficie que se desintegra por unos hilos delgados que también se rompen rápidamente en hileras de gotas. Este modo de desintegración es el más importante en casos de viscosidad y tensión superficial del líquido altas, y tiende a producir gotas gruesas, en conjunto con numerosas gotas satélites. En el modo de perforación aparecen agujeros en la lámina que, alineados con los bordes formados a partir del líquido, crecen rápidamente hasta que los bordes de los agujeros adyacentes se juntan para producir ligamentos de forma irregular que después se rompen en gotas de tamaño variado. La desintegración también puede ocurrir en ausencia de perforaciones, mediante la generación de un movimiento ondulado de la lámina en algunas de sus zonas, las cuales son arrancadas antes de que se alcance el extremo de avance; estas áreas se contraen rápidamente con la acción de la tensión superficial, pero pueden sufrir la desintegración por la acción del aire o de la turbulencia del líquido antes de formar una malla regular de hilos.

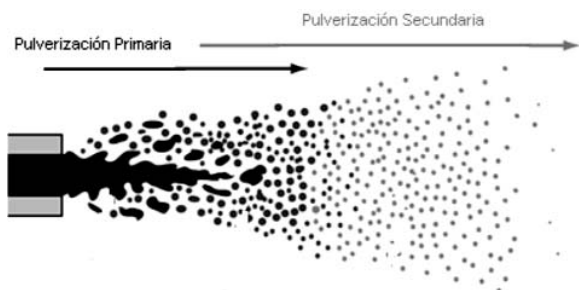


Figura 4.2. Rompimiento típico de una corriente o chorro líquido a partir de una boquilla (Fuente: Adaptado de Herrmann, 2003)

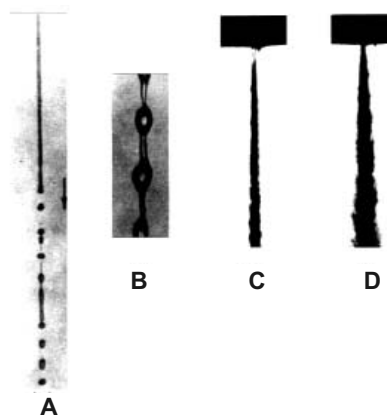


Figura 4.3. Diferentes maneras de formación de gotas a partir del rompimiento de chorros líquidos (Fuente Lin y Reitz, 1998)

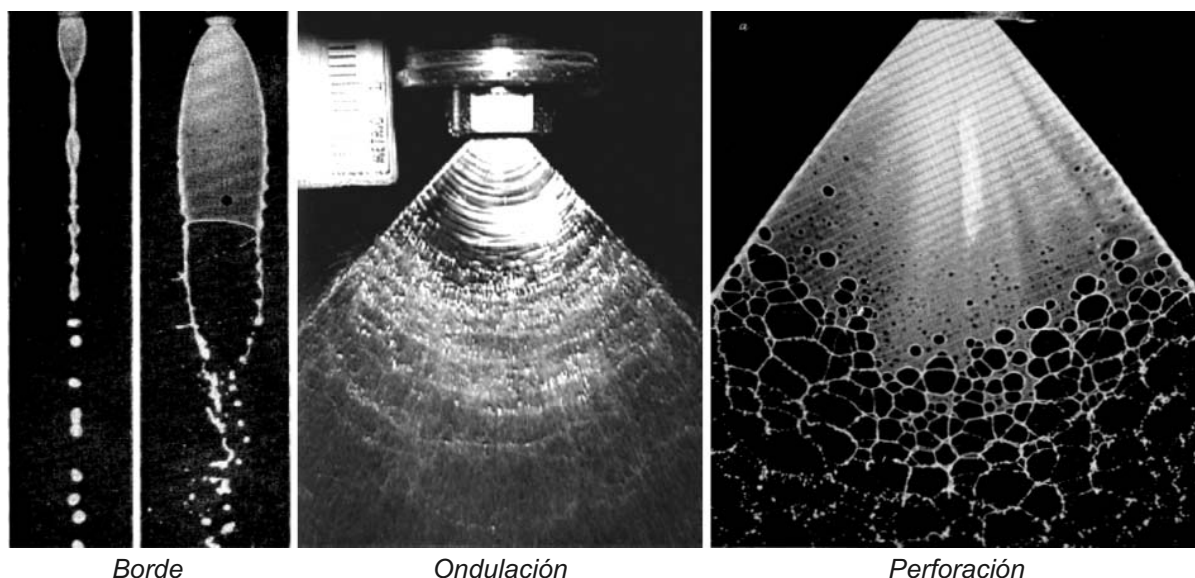


Figura 4.4. Modos de desintegración de una lámina líquida (Fuente: Dombrowski y Fraser, 1954; Hartranft y Settles, 1999)

Para evaluar la calidad de una pulverización, en general se recurre a algún tipo de tamaño “promedio” de gota, aunque, sin duda, es necesario tener una idea de todos los tamaños producidos mediante alguna descripción de su distribución.

En el caso del rompimiento en gotas a través de energía hidráulica, este tamaño promedio depende de una intrincada interrelación entre las propiedades del líquido y las dimensiones de la boquilla. En el recuento de expresiones recopiladas por Lefebvre (1989), para boquillas de láminas cónicas se puede concluir en una relación funcional del tipo:

$$\text{tamaño "promedio" gota} = f(\dot{m}_L^a \cdot P^b \cdot \sigma^c \cdot \mu^d \cdot \rho^e)$$

Ecuación 4.2

En que, además de los símbolos descritos para las propiedades del líquido se tiene \dot{m}_L : flujo o caudal de la boquilla; P : presión en la boquilla y a , b , c , d y e : coeficientes de regresión experimental. Conviene recordar que el flujo contiene el efecto de las dimensiones de la boquilla.

4.3. Energía neumática

En este proceso el rompimiento del líquido en gotas se produce por el impacto de una corriente

de aire con alta velocidad contra una capa o hilo de líquido que llega al dispositivo a una relativa baja presión (Figura 4.5).

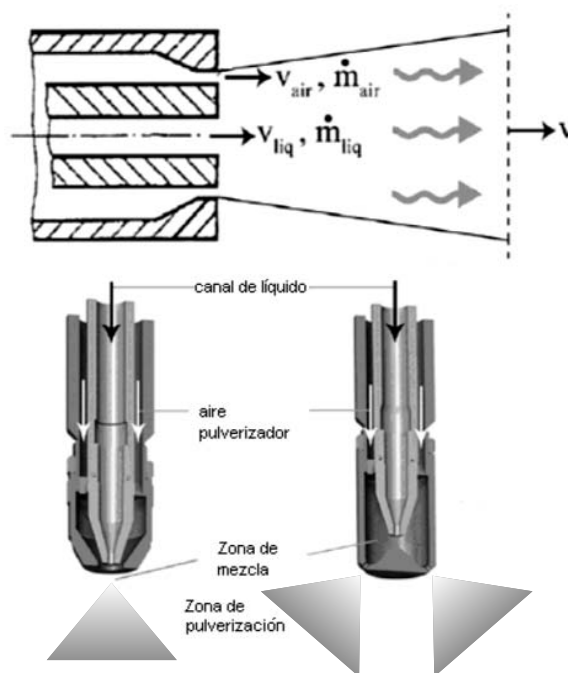


Figura 4.5. Formación de gotas a partir de energía neumática. A) La velocidad v_L en el orificio de la boquilla es significativamente menor que la velocidad del aire v_g ; el aire y el líquido luego tienen la misma velocidad promedio V . B) A la izquierda, boquilla neumática de mezcla externa y, a la derecha, boquilla neumática de mezcla interna (Fuente: Adaptado de Hede et al., 2008).

El rompimiento y pulverización de la corriente de líquido en presencia de una corriente gaseosa (aire) coaxial de alta velocidad es totalmente diferente a cuando el gas está en reposo. Cuando el gas circundante tiene una cantidad de movimiento mayor que la del líquido, este rompimiento se da por la transferencia de energía cinética desde el gas con alta velocidad al líquido. Se recuerda que aquí entran características del flujo del gas mediante los números (We_g), y (Re_g) y las relaciones de las densidades y velocidades gas-líquido (Figura 4.6).

Nuevamente, para el caso del rompimiento en gotas mediante energía neumática el tamaño promedio de gotas producidas depende de una compleja interrelación entre las propiedades del líquido, las propiedades del gas y las dimensiones

de la boquilla. En el recuento de expresiones recopiladas por Lefebvre (1989) se puede generalizar una relación funcional del tipo:

$$\text{tamaño "promedio" gota} = f(\dot{m}_L^a \cdot \dot{m}_g^b \cdot v_L^c \cdot v_g^d \cdot \sigma^e \cdot \mu^f \cdot \rho^g \cdot \rho_g^h \cdot D_o^i)$$

Ecuación 4.3

Donde se usa el subíndice L para las propiedades del líquido y el subíndice g para las propiedades del gas o aire. Se tiene además: \dot{m}_L : flujo o caudal de líquido, \dot{m}_g : flujo o caudal de gas, v_L : velocidad de la corriente de líquido, v_g : velocidad de la corriente de gas, D_o : diámetro de descarga del orificio y $a, b, c, d, e, f, g, h, e, i$: coeficientes de regresión experimental.

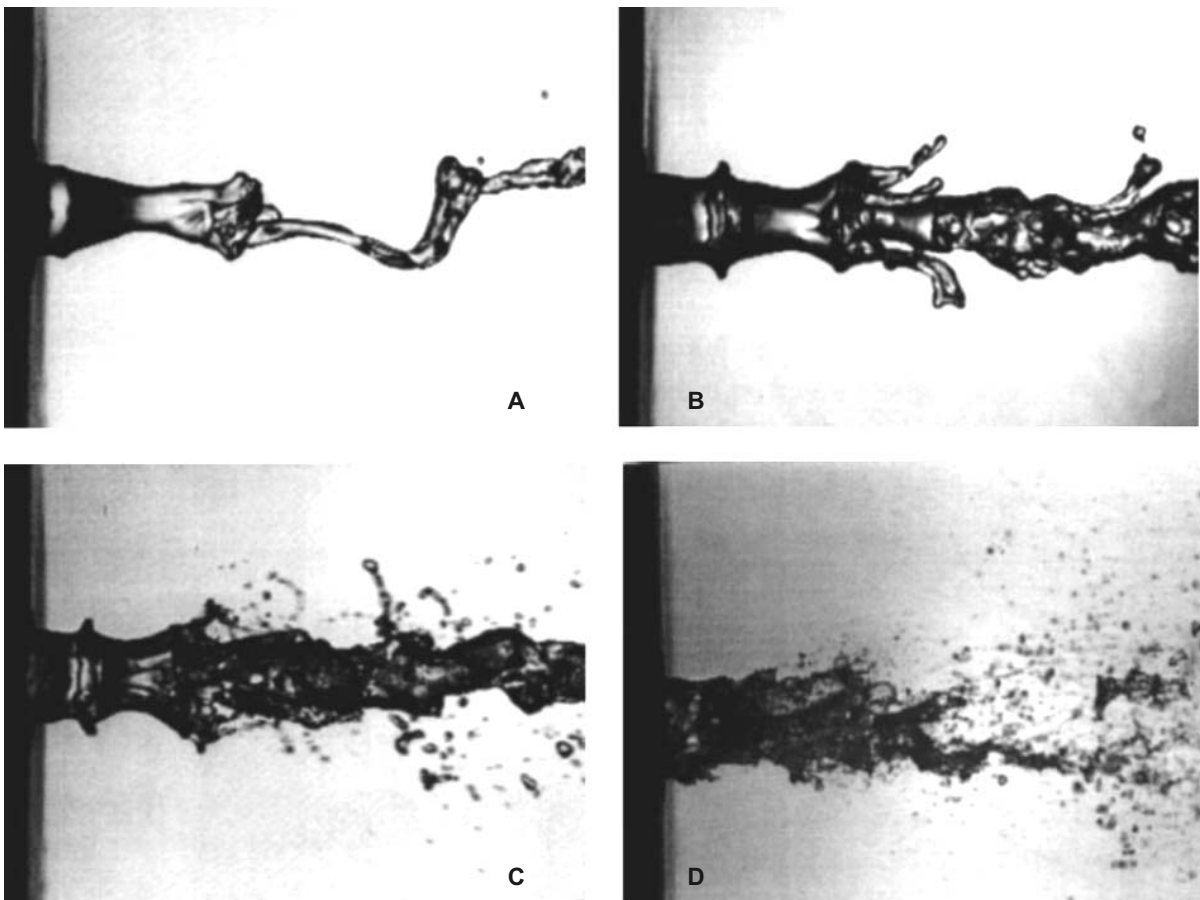


Figura 4.6. Rompimiento de un chorro líquido mediante una corriente gaseosa (aire) coaxial. Las velocidades del gas son: en A) 19 m.s⁻¹; en B) 21 m.s⁻¹; en C) 30 m.s⁻¹ y en D) 50 m.s⁻¹, al tiempo que las velocidades del líquido son menores a 1 m.s⁻¹ (Fuente: Lasheras y Hopfinger, 2000)

4.4. Energía centrífuga

Ya se ha visto que a fin de obtener gotas pequeñas en el caso de la subdivisión de un líquido por energía neumática se necesita un aumento considerable de la velocidad de la corriente de aire y, por tanto, un incremento en la potencia necesaria. En el proceso de rompimiento por presión hidráulica, esta disminución en el tamaño de las gotas puede conseguirse con un aumento en la presión del líquido o con el uso de orificios diminutos, condiciones desfavorables desde el punto de vista del diseño.

En este sentido, cuando se desea obtener gotas entre 50 y 100 μm , o un espectro de gotas estrecho (es decir, uniformidad en el tamaño de las gotas) la subdivisión se hace de manera más eficaz por el proceso de pulverización centrífuga. En este proceso, el rompimiento se alcanza mediante la introducción de un líquido a baja presión en el interior de un mecanismo giratorio, que puede ser un disco, un cilindro de malla, un cepillo circular o un rotor ranurado. El líquido se dispone cerca del centro de la superficie giratoria, de tal forma que la fuerza centrífuga esparce el líquido hasta el borde de esta superficie o muy cerca, donde se forman las gotas (Figura 4.7).

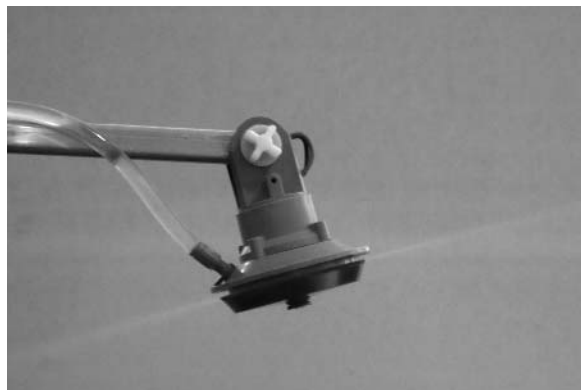


Figura 4.7. Formación de gotas a partir de energía centrífuga.

La manera como se desintegra el líquido en gotas dependerá del diámetro y diseño del dispositivo rotativo, de su velocidad de rotación, del flujo de líquido y de sus propiedades físicas. Se han identificado tres tipos de formación de gotas (Figura 4.8).

- *Formación directa* a partir del borde del disco o de la malla rotativa, con bajo flujo y baja velocidad rotativa. Las gotas son de un tamaño notablemente uniforme.

- *Formación de ligamentos (hilos curvos y largos)* a partir del borde del dispositivo rotativo, los que luego se desintegran en gotas. Se generan aumentando el flujo y la velocidad de rotación. El número de ligamentos se incrementa con el flujo hasta un valor máximo, más allá del cual permanece constante e independiente del flujo. El espesor de los ligamentos también aumenta con el incremento del flujo.

- *Formación de láminas o películas* alrededor de la periferia del dispositivo rotatorio, las cuales se desintegran en ligamentos y luego en gotas y se producen con altos flujos de líquido a baja presión. Esta formación de gotas se da en una amplia gama de tamaños y es similar a la que ocurre con las boquillas hidráulicas.

Entre las tres maneras de formación descritas se presentan distintas fases de transición.

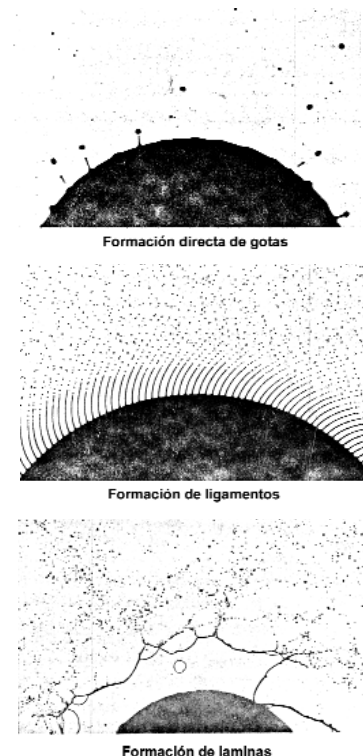


Figura 4.8. Tipos de formación de gotas en un dispositivo rotativo (Fuente: Frost, 1981)

Como se mencionó, la distribución de tamaños de gotas dependerá de los siguientes parámetros: velocidad angular ω y diámetro de rotor D_r , flujo total q_t , viscosidad dinámica del líquido μ_L , densidad del líquido ρ_L y tensión superficial del líquido σ .

Frost (1981) llegó a las siguientes expresiones empíricas:

Criterio para la *formación directa de gotas*

$$\frac{\left(\frac{q_t \rho_L}{\mu_L D_r}\right) \cdot \left(\frac{\omega \rho_L D_r^2}{\mu_L}\right)^{0,95}}{\left(\frac{\sigma D_r \rho_L}{\mu_L^2}\right)} < 1,52$$

Ecuación 4.4

Criterio para la *formación total de ligamentos*

$$\frac{\left(\frac{q_t \rho_L}{\mu_L D_r}\right) \cdot \left(\frac{\omega \rho_L D_r^2}{\mu_L}\right)^{0,63}}{\left(\frac{\sigma D_r \rho_L}{\mu_L^2}\right)^{0,90}} > 0,46$$

Ecuación 4.5

Criterio para la *primera formación de láminas o películas*

$$\frac{\left(\frac{q_t \rho_L}{\mu_L D_r}\right) \cdot \left(\frac{\omega \rho_L D_r^2}{\mu_L}\right)^{0,84}}{\left(\frac{\sigma D_r \rho_L}{\mu_L^2}\right)^{0,90}} < 19,8$$

Ecuación 4.6

Se comprobó que hacer muescas o canales en las paredes del dispositivo rotativo puede ayudar a guiar y regular el flujo hacia el exterior. Del mismo modo, si se colocan dientes en el borde exterior del dispositivo, estos pueden ayudar a mantener la formación de ligamentos y evitar la de películas.

Un modelo general que explica la creación de gotas con este tipo de dispositivos se presenta en la siguiente expresión:

$$d = \frac{k}{\omega} \times \sqrt{\frac{\sigma}{D \times \rho_L}}$$

Ecuación 4.7

Donde:

k : constante de ajuste

En ésta se observa que para disminuir el tamaño de las gotas resulta más conveniente aumentar el régimen de giro que el diámetro del rotor.

4.5. Energía térmica

En la bibliografía se presenta a estos procesos como “tratamientos de pulverización en el aire”. Otros términos usados son “nebulizadores”, “foggers” o aerosoles.

Son procesos de rompimiento en los que un plaguicida líquido se dispersa en el aire en forma de cientos de millones de gotitas diminutas de menos de 50 μm de diámetro, y sólo son eficaces en tanto las gotas se mantengan suspendidas en el aire. Puede haber termonebulización o nebulización en frío, pero este último método en realidad es el ya visto como rompimiento por energía neumática o su combinación con energía centrífuga.

4.5.1. Termonebulización

El plaguicida se diluye en un vehículo, usualmente aceite. Para calentarlo se emplea gas caliente de manera que se reduce la viscosidad del vehículo oleoso y se vaporiza. Al salir de la boquilla, el vapor choca con el aire más frío y se condensa para formar una nube densa de niebla (de ahí el término “foggers”). La mayoría de las gotas tiene diámetros menores de 20 μm y su tamaño depende de la interacción entre las propiedades de la formulación, el flujo y la temperatura de la boquilla (por lo general, más de 500°C). El gas caliente de la emisión se obtiene a partir de los gases de escape de un motor de combustión interna, como se muestra en la Figura 4.9.

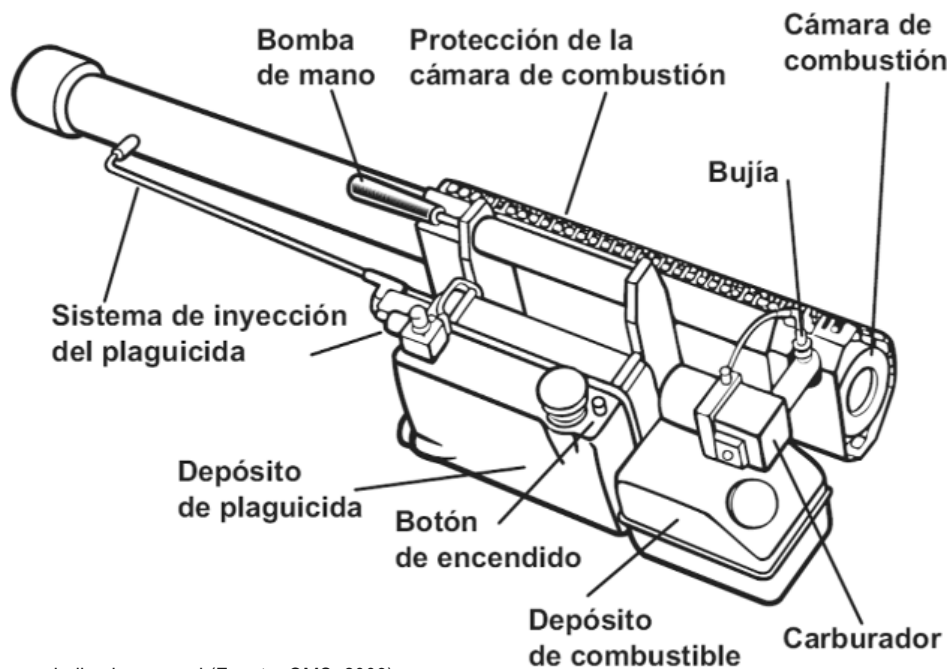


Figura 4.9. Termonebulizador manual (Fuente: OMS, 2003).

4.6. Energía electrodinámica

En este proceso, un líquido de baja conductividad eléctrica escurre por un estrecho anillo. En ese punto se aplica una corriente continua de alto voltaje, cercana a 20.000 Volts. Por la alta tensión y el intenso campo eléctrico generado, el líquido forma ligamentos que se rompen en pequeñas gotas cargadas electrostáticamente, lo que favorece su adhesión al blanco.

El tamaño de las gotas queda definido por tres factores principales:

1. Campo eléctrico
2. Flujo de líquido
3. Propiedades del líquido (incluyendo las eléctricas).

Es importante distinguir entre el método de formación de gotas electrodinámico y la pulverización electrostática, en la cual la formación de gotas se realiza mediante un sistema de pulverización hidráulico, neumático, centrífugo y luego las gotas son cargadas eléctricamente.

4.7. Energía ultrasónica

Se usa un dispositivo electromecánico que vibra a una alta frecuencia. El líquido pasa por la superficie vibrante, y esto causa que se rompa en gotas (Figura 4.10).

Este método fue probado sólo con líquidos newtonianos de baja viscosidad.

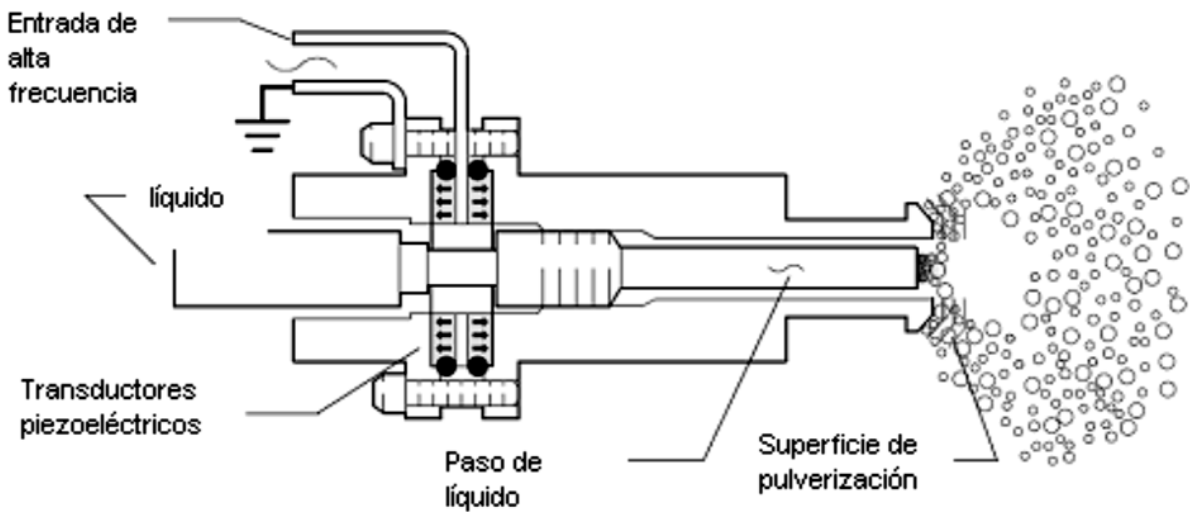


Figura 4.10. Dispositivo para pulverizar líquido mediante energía ultrasónica (Fuente: Graco Inc., 1995)

Estos dispositivos ultrasónicos producen pulverizaciones muy finas (nieblas) y obtienen DMV del orden de $20\ \mu\text{m}$, con un espectro de gotas bastante estrecho y baja velocidad de pulverización (velocidades típicas de $1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). Su bajo consumo de energía ($4\ \text{W}$) junto con la ausencia de taponamientos lo han hecho muy popular en las llamadas “nebulizaciones” médicas.

La distribución de tamaños de gota depende de la frecuencia de resonancia del pulverizador y de las propiedades del fluido. Aunque el tamaño de gota no se afecta por el flujo del líquido, sí existe un flujo máximo sobre el cual ya no se produce la pulverización.

En la pulverización ultrasónica, lo que determina el tamaño de gota es la frecuencia de vibración. A través de este método se generan gotas muy finas (de 1 a $5\ \mu\text{m}$) con el uso de frecuencias muy altas. El espesor de la película formada sobre la superficie vibrante también tiene efecto sobre el tamaño de la gota producida y puede ajustarse con el flujo de líquido, pero se ve afectado por las propiedades físico-químicas de éste, principalmente tensión superficial y viscosidad.

4.8. Referencias consultadas

- Bernacki, H.; Haman, J.; Kanafojski, Cz. 1972. Agricultural Machines, Theory and Construction. Vol.1 Published for the U.S. Department of Agriculture. Warsaw, Poland.
- Boize, L.M.; Dombrowski, N. 1976. The Atomization Characteristics of a Spinning Disc Ultra – low Volume Applicator. J. agric. Engng. Res. 21: 87 – 99.
- Dobre, M.; Bolle, L. 2002. Practical design of ultrasonic spray devices: experimental testing of several atomizer geometries. Experimental Thermal and Fluid Science 26: 205 – 211.
- Dombrowski, N.; Fraser, R.P. 1954. A Photographic Investigation into the Desintegration of Liquid Sheets. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences, 247: 101 – 130.
- Frost, A.R. 1981. Rotary Atomization in the Ligament Formation Mode. J. agric. Engng. Res. 26, 63 – 78.
- Graco, Inc. 1995. Atomization. Form No. 321-027 8/95. Minneapolis. 13 p. http://elliott-equipment.com/ask/ATOMIZ_1.PDF
- Hartranft, T.J.; Settles, G.S. 1999. High – Pressure Sheet of Non – Newtonian Fluids. ILASS – Americas 12 Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, May 16 – 19, 1999, Indianapolis.
- Hede, P.D.; Bach, P.; Jensen, A.D. 2008. Two – fluid spray atomization and pneumatic nozzles for fluid bed coating/agglomeration purposes: A review. Chemical Engineering Science 63: 3821 – 3842.
- Herrmann, M. 2003. Modeling primary breakup: A three – dimensional Eulerian level set/vortex sheet method for two – phase interface dynamics. Center for Turbulence Research Annual Research Briefs 2003. pp.185 – 196,
- Lasheras, J.C.; Hopfinger, E.J. 2000. Liquid Jet Instability and Atomization in a Coaxial Gas Stream. Annu. Rev. Fluid. Mech. 32: 275 – 308.
- Lefebvre, A.H. 1989. Atomization and Sprays. Hemisphere Publishing Corporation, New York.
- Lin, S.P.; Reitz, R.D. 1998. Drop and Spray Formation from a Liquid Jet. Annu. Rev. Fluid Mech. 30: 85 – 105.
- Organización Mundial de la Salud. 2003. Pulverización de insecticidas en el aire para la lucha contra los vectores y las plagas de la salud pública. Guía Práctica. Ginebra. 44p.
- Rajan, R.; Pandit, A.B. 2001. Correlations to predict droplet size in ultrasonic atomization. Ultrasonics 39: 235 – 255.
- Sirignano, W.A.; Mehring, C. 2000. Review of theory of distortion and disintegration of liquid streams. Progress in Energy Combustion Science 26: 609 – 655.
- Teunou, E.; Poncelet, D. 2005. Rotary disc atomization for microencapsulation applications – prediction of the particle trajectories. Journal of Food Engineering 71: 345 – 353.

Capítulo 5

Estudio de la población de gotas de pulverización

Teixeira; M. M.

- 5.1. INTRODUCCIÓN
- 5.2. NÚMERO DE GOTAS POR APLICAR
- 5.3. CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN DE GOTAS
 - 5.3.1. VIDA MEDIA DE LAS GOTAS
 - 5.3.2. DISTANCIA ALCANZADA POR LAS GOTAS
- 5.4. FORMAS DE EXPRESAR EL TAMAÑO DE LAS GOTAS
 - 5.4.1. DIÁMETRO MEDIO DE LAS GOTAS
 - 5.4.2. VOLUMEN MEDIO DE LAS GOTAS
 - 5.4.3. DIÁMETRO VOLUMÉTRICO MEDIO
 - 5.4.3.1. NÚMERO DE GOTAS APLICADAS POR UNIDAD DE ÁREA
 - 5.4.4. DIÁMETRO MEDIO VOLUMEN /SUPERFICIE O DIÁMETRO DE SAUTTER
 - 5.4.4.1. APLICACIÓN DEL DIÁMETRO DE SAUTTER
 - 5.4.5. OTRAS FORMAS DE EXPRESAR EL TAMAÑO DE LAS GOTAS
 - 5.4.6. DIÁMETRO DE LA MEDIANA VOLUMÉTRICA
 - 5.4.7. DIÁMETRO DE LA MEDIANA NUMÉRICA
 - 5.4.8. COEFICIENTE DE HOMOGENEIDAD
 - 5.4.9. AMPLITUD RELATIVA DEL ESPECTRO DE GOTAS
- 5.5. REFERENCIAS CONSULTADAS

5.1. Introducción

Durante la aplicación de agroquímicos, el equipo pulverizador debe favorecer la división del líquido en gotas homogéneas y garantizar su transporte y distribución uniforme sobre el blanco.

Con una aplicación de bajo volumen se espera utilizar menos cantidad de líquido, lo que permitirá un menor número de abastecimientos, un aumento de la capacidad operativa y la disminución de los costos de aplicación.

La reducción del volumen de líquido aplicado se puede lograr a través de las siguientes acciones:

- a) Disminución del tamaño de las gotas aumentando su número, con el consecuente incremento de la superficie cubierta a igual volumen de líquido. Vale destacar que utilizando gotas finas se obtiene mayor adherencia, lo que se traduce en una disminución de pérdidas por goteo. Además, cuantitativamente, las gotas gruesas que se escurren significan mayores pérdidas.

En la Figura 5.1 se puede observar una gota de 400 μm de diámetro. Cuando se la divide por la mitad se obtienen, con el mismo volumen de líquido, 8 gotas de 200 μm de diámetro. Del mismo modo, cuando se divide esa gota de 400 μm en gotas de 50 μm es posible obtener 512 gotas, lo que permite alcanzar una

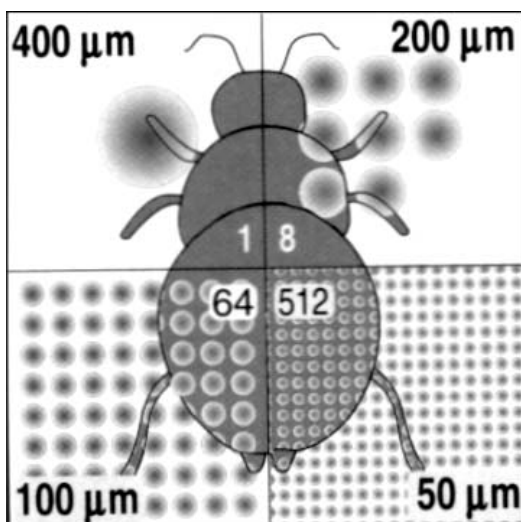


Figura 5.1. Equivalencia entre los tamaños de gotas (Fuente: Hardi, 2010)

mayor cobertura del objetivo.

- b) Mejora en la técnica de transporte de las gotas. De esta manera se puede obtener una mayor capacidad de alcance del follaje de las plantas y uniformidad de distribución en el interior de la vegetación.
- c) Control de la homogeneidad de la población de gotas.

5.2. Número de gotas por aplicar

La población de gotas producidas durante la pulverización determina la eficiencia de aplicación de un agroquímico. Del espectro de gotas es posible definir el tamaño y la homogeneidad dimensional.

Uno de los métodos para el estudio de la población de gotas consiste en el uso de papeles hidrosensibles, cuya superficie amarilla se vuelve azulada cuando reacciona con éstas. Dicho cambio de color se debe a la reacción ocurrida por la ionización del bromophenol. Esta propiedad permite un registro de las gotas, que posteriormente puede ser procesado con la ayuda de un programa informático para el análisis de imagen.

De acuerdo con el tipo de tratamiento es posible definir un número mínimo de gotas por unidad de superficie (Tabla 5.1).

Tabla 5.1. Recomendaciones mínimas de densidades de gotas para diferentes tipos de tratamiento en cultivos bajos.

Producto	Cobertura (gotas.cm ⁻²)
Herbicida	
Preemergencia	20 – 30
Plántula	30 – 40
Planta (contacto)	50 – 70
Planta (sistémico)	30 – 40
Insecticida	
Contacto	40 – 50
Sistémico	20 – 30
Fungicida	
Contacto	50 – 70
Sistémico	30 – 40

Como fue mencionado, para que la aplicación de agroquímicos sea adecuada es necesario seleccionar el tamaño de gotas conforme a las condiciones climáticas imperantes durante el momento de la aplicación.

5.3. Caracterización de la población de gotas

Las poblaciones de gotas producidas por las boquillas de un equipo pulverizador presentan en general las siguientes características:

- Gran variación del diámetro.
- Las distribuciones no se ajustan a los modelos estadísticos clásicos.
- La estabilidad de su tamaño y el alcance del blanco de aplicación depende de las condiciones climáticas.
- La caracterización de su tamaño requiere la utilización de diferentes parámetros.

5.3.1. Vida media de las gotas

La vida media de una gota de agua pulverizada estará en función de su diámetro y de las condiciones ambientales, y puede ser determinada con la siguiente ecuación:

$$v = \frac{d^2}{80 \cdot \Delta T} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Donde:

v = vida media de la gota, s

d = diámetro de la gota, μm

ΔT = depresión psicrométrica, $^{\circ}\text{C}$

5.3.2. Distancia alcanzada por las gotas

La distancia teórica alcanzada por las gotas de agua bajo la acción de la gravedad antes de que ocurra su total evaporación es determinada en función de su diámetro y de la humedad relativa del aire.

$$Dt = \frac{1,5 \cdot d^4}{10^3 \cdot .80 \cdot \Delta T} \quad \text{Ecuación 5.2}$$

Donde:

Dt = distancia recorrida por la gota, cm.

5.4. Formas de expresar el tamaño de las gotas

Lo importante al expresar el tamaño de las gotas destinadas a pulverizaciones de agroquímicos es utilizar la forma que mejor relacione el volumen de líquido de cada gota. A partir de esta información es posible correlacionar la eficiencia de la aplicación y la eficacia de los tratamientos con la población de gotas.

Las formas de caracterizar una población de gotas son:

- Diámetro medio (d_m)
- Volumen medio (V_m)
- Diámetro volumétrico medio (d_v)
- Diámetro medio volumen/superficie, o diámetro de Sautter ($d_{v/s}$).

Otros parámetros que definen mejor las características de las poblaciones de gotas desde el punto de vista de su eficacia en la aplicación de agroquímicos son:

- Diámetro de la mediana volumétrica (DMV)
- Diámetro de la mediana numérica (DMN)
- Coeficiente de homogeneidad (CH)
- Amplitud relativa del diámetro de gotas (AR).

5.4.1. Diámetro medio de las gotas (d_m)

El diámetro medio (d_m) es la suma del diámetro de toda la población dividido por el número total de gotas:

$$d_m = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n} \quad \text{Ecuación 5.3}$$

Donde:

d_m : diámetro medio de las gotas, μm

d : diámetro de cada gota de la población, μm

n : número de gotas muestreadas.

El diámetro medio de las gotas no es una expresión muy usada para identificar el espectro de pulverización debido a su escaso significado práctico.

5.4.2. Volumen medio de las gotas (Vm)

El volumen medio se define como la suma de los volúmenes de las gotas de una población, dividida por el número total de éstas, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$V_m = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n} \quad \text{Ecuación 5.4}$$

Donde:

V_m : volumen medio de las gotas, μm^3

v_i : volumen de cada gota de la población, μm^3 .

5.4.3. Diámetro volumétrico medio (d_v)

El diámetro volumétrico medio se define como la raíz cúbica de la sumatoria de los diámetros de las gotas de una muestra, en relación al número total de gotas presentes en la población. En síntesis, es el diámetro correspondiente al volumen medio de la población.

A partir de la ecuación 5.4 se deduce:

$$V_m = \frac{\sum v_i}{n} = \frac{\pi \cdot d_v^3}{6} \quad \text{Ecuación 5.5}$$

Donde:

V_m : volumen medio de las gotas, μm^3

v_i : volumen de cada gota de la población, μm^3

d_v : diámetro volumétrico medio de las gotas, μm

n : número de gotas de la muestra.

Este volumen medio presupone la presencia de un diámetro volumétrico medio, d_v .

Entonces:

$$\frac{\sum_i^n v_i}{n} = \frac{\sum \frac{\pi}{6} d_i^3}{n} \quad \text{Ecuación 5.6}$$

Donde:

d_i : diámetro de cada gota, μm

Comparando la ecuación 5.5 con la 5.6 se obtiene

$$\frac{\pi d_v^3}{6} = \frac{\sum \frac{\pi}{6} d_i^3}{n} \quad \text{Ecuación 5.7}$$

Simplificando y extrayendo el valor de d_v :

$$d_v = \sqrt[3]{\frac{\sum d_i^3}{n}} \quad \text{Ecuación 5.8}$$

De esta forma se puede afirmar que el diámetro volumétrico medio de una población de gotas d_v es lo mismo que decir que todas las gotas obtenidas en la pulverización son iguales y de diámetro d_v .

5.4.3.1. Número de gotas aplicadas por unidad de área

Aplicando la definición de diámetro volumétrico medio se puede determinar el número probable de gotas aplicadas por unidad de área pulverizada a partir de la aplicación de un litro de producto.

$$1L = 1 \text{ dm}^3 = 10^{15} \mu\text{m}^3$$

Con un litro distribuido en gotas idénticas de diámetro d_v , se obtiene

$$n \cdot \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d_v^3 = 10^{15} \quad \text{Ecuación 5.9}$$

Extrayendo el valor n se deduce

$$n = \frac{1,9098 \times 10^{15}}{d_v^3} \quad \text{Ecuación 5.10}$$

Considerando una tasa de aplicación igual a Q ($\text{L} \cdot \text{ha}^{-1}$) se puede definir el número de gotas por unidad de superficie:

$$n_s = \frac{1,9098 * 10^7}{d_v^3} Q \quad \text{Ecuación 5.11}$$

Donde:

n_s : Número de gotas por unidad de superficie, gotas.cm⁻²

d_v : Diámetro volumétrico medio de las gotas, μm

Q : Tasa de aplicación, L.ha⁻¹

Como ejemplo, utilizando la ecuación 5.11 se puede determinar el número de gotas por unidad de área obtenido a partir de la utilización de una boquilla de pulverización que produzca gotas de un diámetro medio de 100 μm durante una aplicación de un fitosanitario, con una tasa de aplicación de 200 L.ha⁻¹, o sea:

$$n_s = \frac{1,9098 \times 10^7}{100^3} \times 200 = 3819,6 \text{ gotas.cm}^{-2}$$

Ecuación 5.12

De esta forma se puede elaborar una tabla de densidad poblacional o de número de gotas por unidad de superficie, que podrá ser estimada con la utilización de un determinado diámetro de gota y una determinada tasa de aplicación. Los valores son aproximados, debido a que el diámetro estimado no representa con fidelidad la variabilidad de diámetros de gotas producidas durante una aplicación de agroquímicos (Tabla 5.2).

Tabla 5.2. Densidad de gotas (gotas.cm⁻²) obtenidas en función del diámetro de gotas (μm) y de la tasa de aplicación (L.ha⁻¹).

Diámetro	Tasa de aplicación (L.ha ⁻¹)						
	25	40	60	80	100	150	200
Gota (μm)	25	40	60	80	100	150	200
100	480	765	1150	1530	1910	2870	3820
150	140	225	340	450	565	830	1130
200	60	100	150	200	240	360	480
250	30	48	72	96	120	180	240
300	18	28	42	56	71	106	140
400	8	12	18	24	30	45	60
500	4	6	9	12	15	23	30

5.4.4. Diámetro medio volumen/superficie o diámetro de Sautter ($d_{v/s}$)

Este parámetro fue uno de los primeros recomendados para la caracterización del espectro de poblaciones de gotas. Se define como el diámetro de esfera con igual relación volumen/superficie de las gotas muestreadas.

Considerando la relación volumen/superficie de todas las gotas de una muestra, se obtiene:

$$R_{v/s} = \frac{\sum_i^n v_i}{\sum_i^n s_i} = \frac{4}{6} \frac{\sum_i^n d_i^3}{\sum_i^n d_i^2} \quad \text{Ecuación 5.13}$$

Donde:

$R_{v/s}$: Relación volumen/superficie de las gotas de una muestra, μm

v_i : Volumen de cada gota de la muestra, μm³

s_i : Superficie de cada gota de la muestra, μm²

d_i : Diámetro de cada gota de la muestra, μm

El diámetro de las gotas con la misma relación volumen/superficie que la población de la muestra será:

$$R_{v/s} = \frac{\pi/6 d_{v/s}^3}{\pi/4 d_{v/s}^2} = \frac{4}{6} d_{v/s} \quad \text{Ecuación 5.14}$$

Donde:

$d_{v/s}$ - diámetro medio volumen/superficie de la muestra, μm

Igualando la ecuación 5.13 con la 5.14:

$$d_{v/s} = \frac{\sum_i^n d_i^3}{\sum_i^n d_i^2} \quad \text{Ecuación 5.15}$$

En la medida que se puede admitir que la superficie cubierta por una gota es proporcional a la superficie de esa gota, el diámetro medio $d_{v/s}$ tendrá en cuenta la superficie efectivamente cubierta por la población de gotas producidas con un determinado volumen de líquido.

En este caso, admitiendo que la superficie cubierta por una gota sea igual a la de un círculo máximo cuyo diámetro es el $d_{v/s}$, la superficie cubierta por un litro de líquido pulverizado será:

$$1L = n \cdot \frac{\pi}{6} \cdot d_{v/s}^3 \quad \text{Ecuación 5.16}$$

Un litro de producto tendrá un número de gotas igual a:

$$n = \frac{6}{\pi \cdot d_{v/s}^3} \quad \text{Ecuación 5.17}$$

La superficie cubierta será:

$$S_c = n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{v/s}^2 \quad \text{Ecuación 5.18}$$

Donde:

S_c : Superficie cubierta por las gotas, μm^2

Sustituyendo el valor n correspondiente a un número de gotas de la población se obtiene:

$$S_c = \frac{6}{\pi \cdot d_{v/s}^3} \cdot \frac{\pi \cdot d_{v/s}^2}{4} \quad \text{Ecuación 5.19}$$

Simplificando y transformando las unidades de las variables de la ecuación 5.19, la superficie cubierta por las gotas se podrá expresar por la ecuación:

$$S_c = \frac{1500}{d_{v/s}} \quad \text{Ecuación 5.20}$$

El valor de S_c será la superficie cubierta por un litro de producto para un determinado $d_{v/s}$ (μm). En este caso, un $d_{v/s}$ igual a 150 μm implicará la obtención de una superficie cubierta por gotas igual a 10 m^2 .

5.4.4.1. Aplicación del diámetro de Sautter

Considerando una pulverización muy fina que presente los valores característicos de los diámetros de las gotas $d_m = 48 \mu\text{m}$, $d_v = 70 \mu\text{m}$ y $d_{v/s} = 100 \mu\text{m}$, con un litro de producto aplicado se podrán producir:

$$n = \frac{1,9098 \times 10^{15}}{d_v^3} = \frac{1,9098 \times 10^{15}}{70^3} = 5,54 \times 10^9 \text{ de gotas}$$

Ecuación 5.21

Consecuentemente, se cubrirá una superficie igual a:

$$S = \frac{1500}{d_{v/s}} = \frac{1500}{100} = 15 \text{ m}^2 \quad \text{Ecuación 5.22}$$

Distribuidas sobre una superficie igual a 1 hectárea cubrirán una superficie correspondiente a:

$$\frac{15}{10.000} \times 100 = 0,15\% \quad \text{Ecuación 5.23}$$

Que corresponderá a una cantidad de gotas por cm^2 de:

$$n_s = \frac{5539358601}{10^8} = 55,39 \text{ (gotas.cm}^{-2}\text{)} \quad \text{Ecuación 5.24}$$

De esta forma se demuestra que con una pequeña cantidad de líquido es posible obtener una mayor densidad de gotas sobre una gran superficie.

A pesar de lo mencionado, para pulverizaciones finas no se puede lograr un porcentaje importante de superficie cubierta si no se aumenta considerablemente el número de impactos, Multiplicando por 10 el volumen pulverizado, la superficie cubierta será igual a 1,5% y la densidad poblacional será igual a 550 gotas.

En este caso es posible afirmar que una cobertura homogénea con varias gotas por cm^2 es interesante, aún cuando represente un pequeño porcentaje de la superficie cubierta.

Si la pulverización fuese cinco veces mayor para obtener el mismo número de impactos, sería necesario 53 veces más líquido (125) y cada gota dejaría una impronta 52 veces mayor. Para una misma densidad de gotas la superficie cubierta sería 25 veces mayor.

El razonamiento puede complementarse diciendo que con pulverizaciones con gotas gruesas el diámetro volumétrico medio determina la densidad de población de las gotas, y el diámetro medio volumen/superficie define el porcentaje de superficie cubierta. Tanto uno como otro parámetro pueden servir para caracterizar una población de gotas, pero no para el caso de pulverizaciones finas donde no interesa cubrir una gran superficie. En este supuesto el diámetro volumétrico medio tiene mayor sentido. No obstante lo mencionado, vale recordar que estas conclusiones serían válidas si todas las gotas producidas por los pulverizadores fuesen iguales.

Es importante observar que las gotas más finas no se depositan y las más gruesas tienen una tendencia mayor a las pérdidas por escurrimiento. El espectro de las gotas de pulverización debe estar definido por una magnitud que permita una apreciación válida de conjunto.

5.4.5. Otras formas de expresar el tamaño de las gotas

Existen otras maneras de caracterizar las poblaciones de gotas mediante diámetros característicos.

A partir de una población de gotas suficientemente representativa y ordenada de menor a mayor se tienen los siguientes diámetros característicos:

$D_{0.1}$: Diámetro de gota por debajo del cual se encuentra el 10% del volumen total de líquido pulverizado.

$D_{0.5}$: Diámetro de gota que separa la población de gotas ordenadas de menor a mayor en dos mitades de igual volumen de líquido. Es también llamado diámetro de la mediana volumétrica DMV.

$D_{0.632}$: Diámetro de gota por debajo del cual se encuentra el 63.2% del volumen total de líquido. Este diámetro es utilizado por Rosin-Rammler como el valor X, para definir la

función matemática de distribución de tamaños de gotas.

$D_{0.9}$: Diámetro de gota por encima del cual se encuentra el 10% del volumen total del líquido pulverizado.

$D_{0.999}$: Diámetro de gota por debajo del cual se encuentra el 99.9% del volumen total del líquido pulverizado.

D_{max} : Valor correspondiente al diámetro que representa el pico de la curva de distribución de frecuencia de tamaños de gotas.

A partir de la función de distribución de Rosin-Rammler es posible establecer los demás diámetros característicos de una manera simple.

La identificación de los diámetros característicos en la curva de distribución de los tamaños de gotas asumiendo la ecuación de Rosin-Rammler se representa en la Figura 5.2.

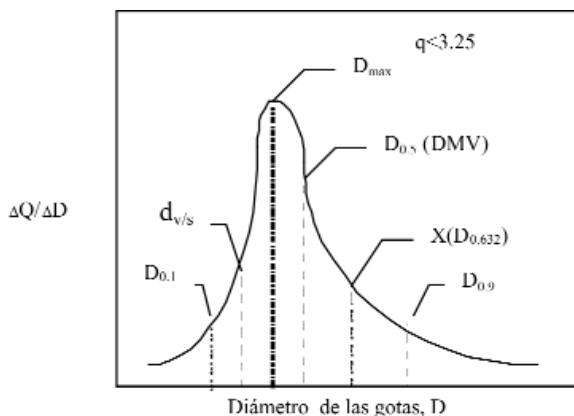


Figura 5.2. Distribución de algunos diámetros representativos (Fuente: Chin y Lefebvre, 1985).

La ecuación de Rosin-Rammler es la siguiente:

$$1 - Q_f = \exp\left(-\left(\frac{D}{X}\right)^k\right) \quad \text{Ecuación 5.25}$$

Donde:

Q_f : Fracción del volumen total constituido de gotas de diámetro menor que D:

k ; X: constantes.

El exponente suministra una idea de homogeneidad del tamaño de las gotas. Cuanto mayor es el valor de la constante k, más uniforme es el espectro de gotas.

Para la mayoría de las poblaciones de gotas el valor de k está entre 1,5 a 4,0, mientras que para pulverizadores rotativos el valor de k es mayor a 7.

5.4.6. Diámetro de la mediana volumétrica (DMV)

Corresponde al diámetro de gota que separa la población en dos mitades con el mismo volumen. Como se puede inferir, la mitad superior estará compuesta por un menor número de gotas de mayor tamaño y la mitad inferior la conformarán un gran número de gotas de menor tamaño. Este valor se ubicará cercano a los diámetros de clases superiores de las gotas muestreadas, en razón de que pocas gotas grandes tienen una gran influencia en el total del volumen colectado. El tipo de boquilla y la presión de trabajo influenciarán directamente a este valor.

La caracterización de las poblaciones de gotas producidas por una boquilla específica a una determinada presión permite evaluar la posibilidad de deriva durante una aplicación (en el caso de que las gotas fueran de diámetro muy reducido), o escurrimiento (si las gotas fueran de un diámetro muy grande). Por tal motivo, para elegir las boquillas y la presión adecuada de trabajo se deben utilizar gráficos como el de la Figura 5.3.

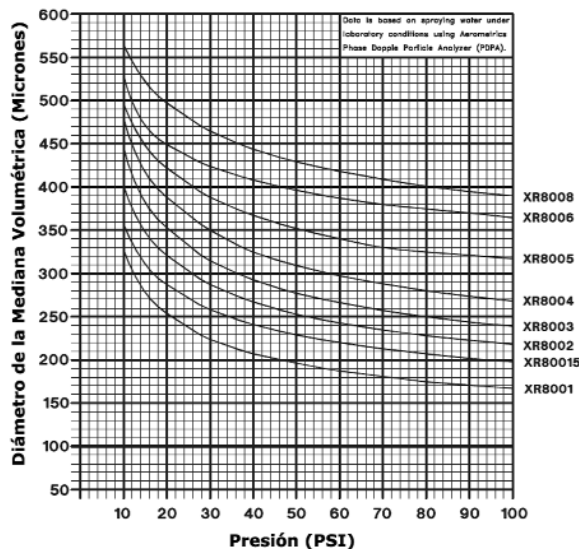


Figura 5.3. Curvas del diámetro de la mediana volumétrica (DMV) (Fuente: Teejet, 2010)

5.4.7. Diámetro de la mediana numérica (DMN)

Es aquel que divide la población de gotas en dos mitades con cantidades numéricamente iguales. Por lógica, ambas mitades tendrán un volumen de líquido diferente. Este valor se ubicará cercano a los diámetros de clases inferiores de las gotas muestreadas. En razón de que muchas gotas pequeñas no constituyen un volumen colectado significativo, este parámetro no tiene mucha importancia práctica. No obstante, analizado en conjunto con el diámetro de la mediana volumétrica (DMV) permite la mejor evaluación de la homogeneidad del tamaño de gotas de pulverización.

5.4.8. Coeficiente de homogeneidad (CH)

Se define como la relación entre el diámetro de la mediana volumétrica (DMV) y el diámetro de la mediana numérica (DMN). Cuanto más próximo a 1 estuviere el valor de CH significa que el espectro de gotas pulverizadas será más homogéneo.

$$CH = \frac{DMV}{DMN} \quad \text{Ecuación 5.26}$$

El CH varía con el tipo de sistema de formación de gotas o la boquilla. En la Tabla 5.3 se presentan valores de CH para diferentes boquillas.

Tabla 5.3. Coeficientes de homogeneidad para distintas boquillas (Fuente: Marques, 1994)

Tipo de boquilla	Coefficiente de homogeneidad (CH)
Boquilla de Cono	1,8 a 5,0
Boquilla de Abanico	2,0 a 8,0
Boquilla de Espejo	5,0 a 10
Centrífugo	1,2 a 1,6

5.4.9. Amplitud relativa del espectro de gotas (AR)

La amplitud relativa expresa la variación del tamaño de gotas. Se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$AR = \frac{D_{0,9} - D_{0,1}}{D_{0,5}} \quad \text{Ecuación 5.27}$$

La Figura 5.4 ilustra tres pulverizaciones con el mismo DMV pero con diferentes valores de CH y amplitudes relativas. Se puede observar que la aplicación (A) tiene el valor de CH próximo a 1, lo que indica que los tamaños de las gotas producidas son muy semejantes (menor variación de tamaño de las gotas). En este caso puede afirmarse que la aplicación será más eficiente que en el caso de la aplicación (C), donde se observan gotas muy finas y gotas muy gruesas que pueden interferir en la calidad de la aplicación.

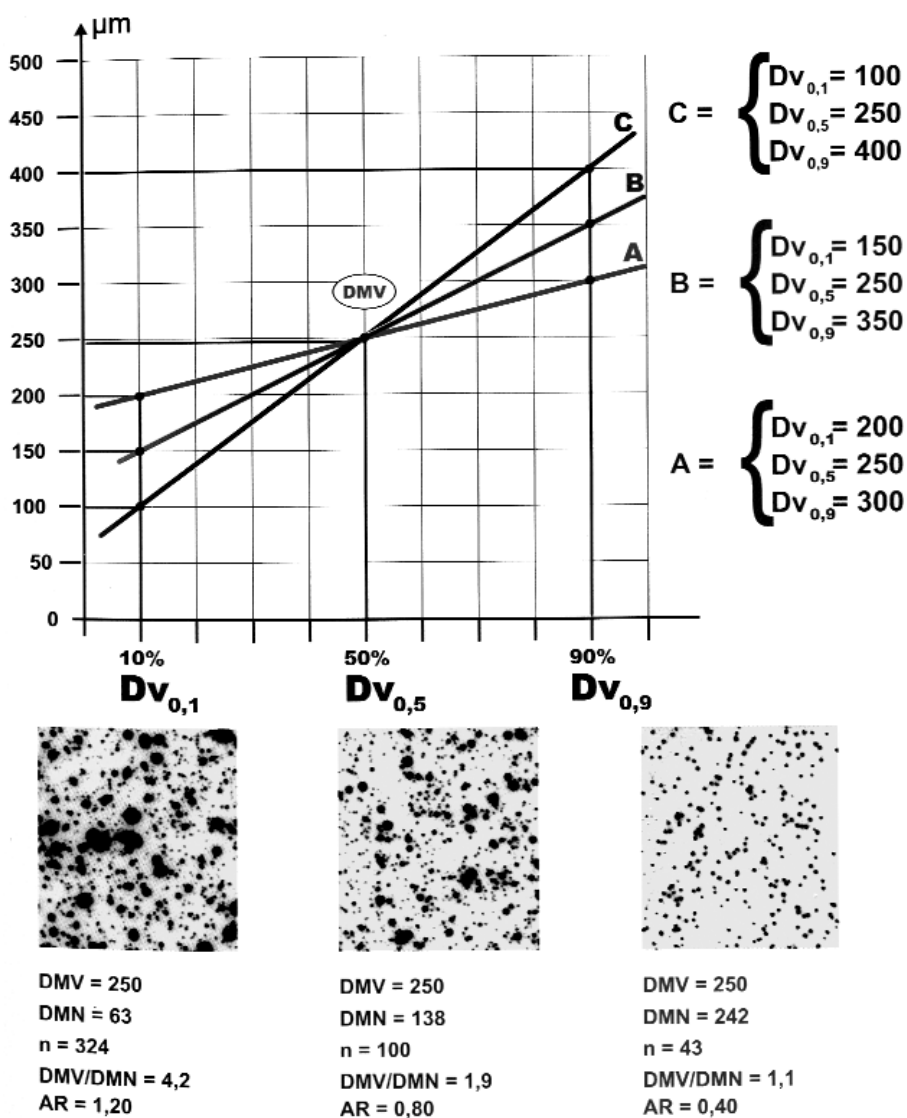


Figura 5.4. Efecto de la amplitud relativa en la eficiencia de distribución de gotas (Fuente: Ozeki, 2006)

5.5. Referencias consultadas

- Amsden, R. C 1962. Reducing the evaporation of sprays, *Agricultural aviation*, 4, 88-93 p.
- Arthelemy, P.; Boisgontier, D.; Jouy, L.; Lajoux, P 1990. Choisir les outils de pulverisation. Institut Technique des Céréales et des Fourrages -ITCF. Paris, FR. 160 p.
- Lefebvre, A. H 1989. Atomization and sprays. International Series: Combustion. Hemisphere Publishing Corporation. West Lafayette, EUA. 421 p.
- Márquez, L. 1994 Aplicaciones en cultivos bajos y hortícolas: problemática y soluciones: Curso de Aplicación Ecompatible de Productos Fitosanitarios. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid, ES. 28 p.
- Márquez, L. 1996. Maquinaria para la aplicación de fitosanitarios. Plan para la Tecnificación del Cultivo de Remolacha. Madrid, ES. 33 p.
- Matthews, G. A. 1993 Application technology for crop protection. Cab International. Wallingford, UK. 1993. 359p.
- Matthews, G. A 2000 Pesticide application methods. Blackwell Science. Oxford, UK. 432p.
- Minguela, J. V. 2003 Aplicación de productos fitosanitarios. Técnicas y equipos. Ediciones Aerotécnicas. Madrid. España. 389p.
- Ozeki, Y. 2006 Manual de aplicação aérea. São Paulo, SP, Neiva,. 101p
- Sirignano, W. A. 1999. Fluid dynamics and transport of droplets and sprays. Cambridge University Press. UK. 311p.
- Srivastava, A. K. ; Goering, C. E. ; Rohrbach, R. P. 1993 Engineering principles of agricultural machines. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, Michigan. 601 p.

Capítulo 6

Las boquillas de pulverización

Masiá, G.; Cid R.

- 6.1. INTRODUCCIÓN
- 6.2. PATRONES DE DISTRIBUCIÓN
- 6.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS BOQUILLAS
- 6.4. MATERIALES Y VIDA ÚTIL
- 6.5. CLASIFICACIÓN DE LAS BOQUILLAS POR EL TAMAÑO DE GOTAS QUE PRODUCEN
- 6.6. BOQUILLAS DE ABANICO PLANO
 - 6.6.1. BOQUILLAS DE ABANICO PLANO ESTÁNDAR
 - 6.6.2. BOQUILLAS DE ABANICO PLANO UNIFORME
 - 6.6.3. BOQUILLAS DE RANGO EXTENDIDO
 - 6.6.4. BOQUILLAS DE ESPEJO
 - 6.6.5. BOQUILLAS "TIPO TURBO"
 - 6.6.6. BOQUILLAS DE BAJA DERIVA CON PREORIFICIO
 - 6.6.7. BOQUILLAS INDUCIDAS POR AIRE
 - 6.6.8. BOQUILLAS DE DOBLE ABANICO PLANO
 - 6.6.9. BOQUILLAS DE ABANICO PLANO EXCÉNTRICO
 - 6.6.10. OTROS TIPOS DE BOQUILLAS DE ABANICO PLANO
- 6.7. BOQUILLAS DE CONO
 - 6.7.1. BOQUILLAS DE CONO HUECO
 - 6.7.2. BOQUILLAS DE CONO LLENO
- 6.8. DESGASTE Y REEMPLAZO DE BOQUILLAS
- 6.9. REFERENCIAS CONSULTADAS

6.1. Introducción

Las boquillas son, sin lugar a dudas, la parte más importante de todo el equipo pulverizador. El mejor equipo, el más completo o el más moderno, será absolutamente ineficaz si éstas no se encuentran en buen estado o no se utilizan en forma adecuada.

Las boquillas tienen la función de:

- Determinar el caudal aplicado por hectárea (cantidad);
- Producir gotas de un tamaño determinado (calidad);
- Proporcionar una adecuada distribución del líquido en toda la superficie bajo tratamiento (uniformidad).

En este capítulo se describen las características de las boquillas más comunes en el mercado.

6.2. Patrones de distribución

Así se denomina a la distribución característica de las gotas producidas por las boquillas.

Tal como se observa en la Figura 6.1 se pueden identificar tres patrones: cono hueco, cono lleno y abanico plano. Las boquillas con patrón de abanico plano son las que presentan mayor cantidad de modelos y rangos de variación en el tamaño de las gotas producidas.

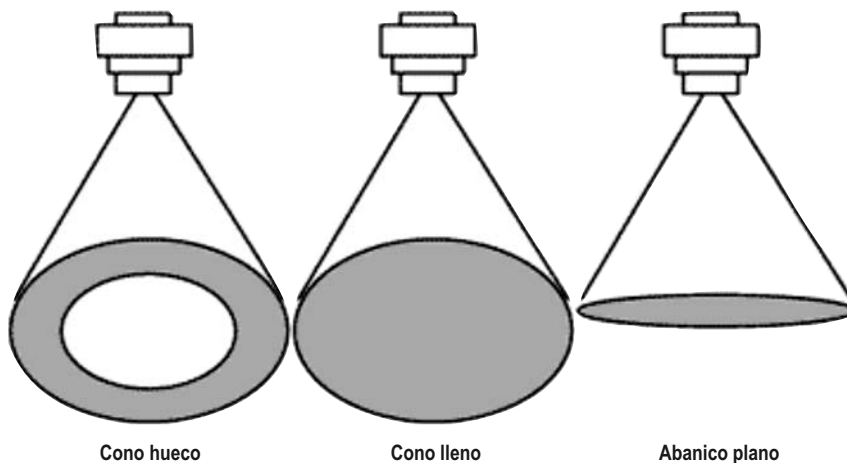


Figura 6.1. Patrones de distribución de las boquillas de cono hueco, cono lleno y abanico plano.

6.3. Características generales de las boquillas

Tradicionalmente, las boquillas pulverizadoras se fabricaron con cobre estañado, bronce o latón, mediante el proceso de mecanizado (aserrado, agujereado y fresado). Las exigencias no eran demasiadas, ya que sólo se requería que este elemento produjera gotas (pulverización de la vena líquida). Con la generalización del uso del plástico para la fabricación de boquillas, en un primer momento se utilizaron compuestos inadecuados y este material sufrió descrédito, hasta que surgieron nuevos desarrollos de polímeros, los llamados plásticos de ingeniería, que superaron ampliamente las exigencias y aplicaciones de los compuestos anteriores. En la actualidad los catálogos de boquillas de pulverización ofrecen una gran variedad de productos; existen no menos de cuatro materiales de fabricación, con presencia cada vez más fuerte del plástico y la cerámica (Tabla 6.1).

6.4. Materiales y vida útil

El material de fabricación condiciona la calidad y el costo del producto. Un factor de importancia es la duración o vida útil de la boquilla. En cuanto a su costo real, se puede determinar sobre la base de sus horas de uso.

Tabla 6.1. Principales características de los materiales de las boquillas de pulverización.

Materiales		Ventajas	Desventajas	Proceso de fabricación	Vida útil relativa
Bronce	Cobre, Estaño + Zinc, Aluminio, Antimonio o Fósforo	Facilidad en el mecanizado. Resistencia a la corrosión	Vulnerabilidad al ataque químico y desgaste prematuro por abrasión	Mecanizado	1
Plásticos	Polioximetileno, Poliformaldehído o P.O.M	Alta precisión. Resistencia a la fatiga mecánica, rigidez y tenacidad. Buena relación precio/rendimiento	Baja resistencia a los rayos UV. Orificio susceptible a la deformación por limpieza	Inyección	4-6
Acero inoxidable	Hierro, Carbono Níquel, Cromo, Aluminio, etc.	Alta vida útil frente al desgaste y esfuerzos mecánicos	Costo relativo elevado	Mecanizado	3-10
Cerámica	Alúmina (Al ₂ O ₃) o Corindón	Muy alta resistencia al desgaste y con buena estabilidad química	Difícil de mecanizar. Alto costo	Inyección como un termoplástico. Horneado- Mecanizado	20-700

Las boquillas de abanico se identifican normalmente mediante un código específico para cada fabricante. Por ejemplo, en el caso de TeeJet primero se indica su característica, en segunda instancia el ángulo de la boquilla (a una presión de 3 bar), su caudal en galones por minuto (a una presión de 3 bar) y, finalmente, el material con el que está construida. De esa forma, en la boquilla TeeJet XR11003VK® se indica que es de rango extendido (XR), que su ángulo de pulverización es de 110°, que su caudal es de 0,3 galones. min⁻¹, que responde al código de colores (V) y que tiene un inserto de cerámica (K).

Las boquillas de cono suelen tener una identificación de que corresponden al código de colores en el caso de ser de una sola pieza, o bien se identifican por el diámetro de la placa (en mm o pulgadas) y por el número y diámetro de los canales del núcleo de rotación.

El hecho de que casi la totalidad de las boquillas se fabriquen en polímero permitió la aparición del

“código de colores para el caudal” (Norma ISO-10625) (Tabla 6.2). El caudal, en este caso, es el que corresponde a una presión de 3 bar.

Como puede apreciarse, los caudales están expresados en galones por minuto, dado que el código se originó en Estados Unidos (un galón equivale a 3,785 L).

Tabla 6.2. Código de colores para las boquillas en función del caudal entregado a 300 kPa (3 bar) (Fuente: Norma ISO 10625)

Código de Color	Caudal (L.min ⁻¹)
Naranja	0,4
Verde	0,6
Amarillo	0,8
Azul	1,2
Rojo	1,6
Marrón	2
Gris	2,4
Blanco	3,2

Debe tenerse en cuenta que el caudal de cada boquilla, en función de la presión de trabajo, varía de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{\sqrt{P_1}}{\sqrt{P_2}} \quad \text{Ecuación 6.1}$$

Esta fórmula permite estimar en cuánto se debe variar la presión para llegar a un caudal deseado. Además, pone de manifiesto que para duplicar el caudal hay que multiplicar por 4 la presión, lo que no es posible en una gran cantidad de boquillas.

La presión también tiene influencia sobre el ángulo de distribución de cada boquilla, tal como puede observarse en la Figura 6.2. A medida que la presión aumenta, también lo hace el ángulo de pulverización y viceversa.

Se debe tener en cuenta que los caudales de las boquillas consignados en los catálogos corresponden al agua (densidad 1 kg.L⁻¹). Cuando se usan líquidos diferentes debe efectuarse una corrección en el caudal de las boquillas según el factor de conversión de la Tabla 6.3.

Además, habrá que considerar que los líquidos de mayor densidad no solo generan menor caudal en una misma boquilla, sino que también provocan una reducción en el ángulo de distribución. En la práctica, ello puede significar que se deba trabajar con las boquillas algo más elevadas para lograr una adecuada uniformidad.

Tabla 6.3. Factores de conversión para soluciones con densidades distintas a la del agua (Spraying Systems Co, 2004)

Densidad – kg/L	Factores de conversión
0.84	0.92
0.96	0.98
1.00 – AGUA	1.00
1.08	1.04
1.20	1.10
1.28-28% nitrógeno	1.13
1.32	1.15
1.44	1.20
1.68	1.30

6.5. Clasificación de las boquillas por el tamaño de gotas que producen

El tamaño de las gotas es un importante criterio para la selección de boquillas. La norma ASAE S572 define los criterios para la clasificación del espectro por el tamaño de gotas que produce una boquilla a diferentes presiones (Tabla 6.4).

Tabla 6.4. Clasificación del espectro de gotas por tamaño (Fuente: ASAE S572)

Clasificación	Símbolo	Código de Color
Muy fina	VF	Rojo
Fina	F	Naranja
Media	M	Amarillo
Gruesa	C	Azul
Muy gruesa	VC	Verde
Extremadamente gruesa	XC	Negro

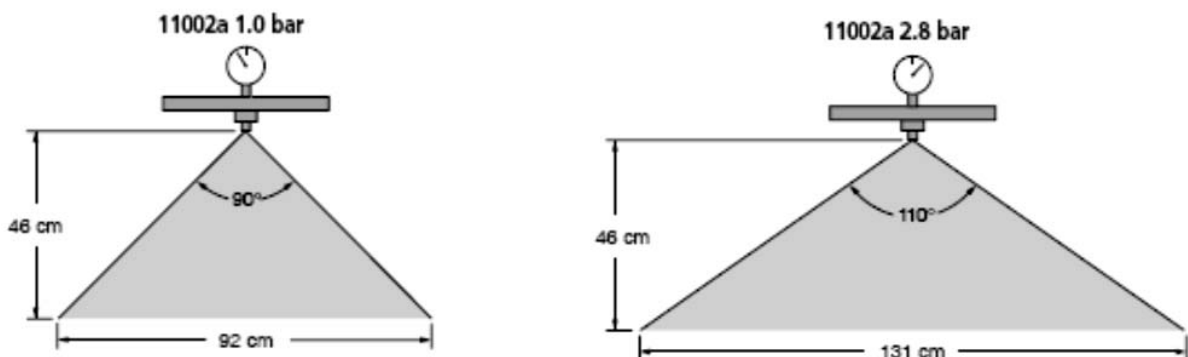


Figura 6.2. Influencia de la presión de trabajo sobre el ángulo de pulverización de una boquilla 11002.

6.6. Boquillas de abanico plano

Dentro de este grupo se incluirán las boquillas de abanico plano estándar, rango extendido, antide-riva, tipo turbo, inducidas por aire, doble abanico plano, espejo, excéntricas, y también las combinaciones existentes entre ellas.

Las de abanico plano tienen una distribución de tipo normal, tal como puede apreciarse en la Figura 6.3. Producen una mayor concentración de líquido en la parte central, disminuyendo en forma más o menos simétrica hacia ambos laterales. La distribución es más amplia en la medida en que se incrementa el ángulo.

Las boquillas deben ubicarse sobre la barra en forma tal que, dependiendo de la altura de trabajo, haya una superposición de al menos un 30% entre las distribuciones de cada una de ellas. Esto permite realizar una distribución uniforme del líquido pulverizado (Figura 6.4). A su vez, las boquillas deben tener un ángulo de cruzamiento en relación al eje de la barra, a fin de evitar que los abanicos planos adyacentes “choquen” produciendo alteraciones en el patrón de distribución.

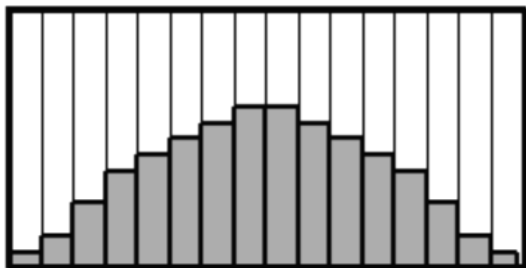


Figura 6.3. Diagrama de distribución de una boquilla de abanico plano

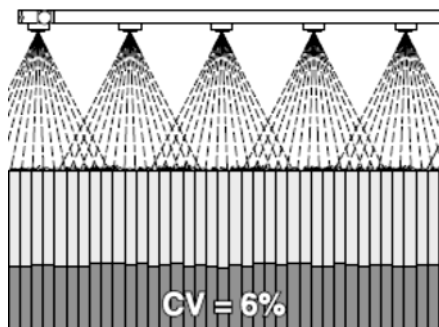


Figura 6.4. Diagrama de distribución de un conjunto de boquillas de abanico plano superpuestas en una barra (Spraying Systems Co, 2004)

6.6.1. Boquillas de abanico plano estándar

Son las más antiguas de las que se comercializan actualmente, y también las más económicas. Se fabrican con ángulos de pulverización de 80° y 110° y totalmente en polímero o con insertos de acero inoxidable o cerámica.

Su rango de trabajo varía desde los 2 hasta los 4 bar y, según caudales y presiones, produce desde gotas muy finas hasta gruesas.

6.6.2. Boquillas de abanico plano uniforme

Se utilizan para pulverizar en bandas cuando se desea aplicar sobre la línea o entrelínea de un cultivo, es decir que no hay superposición entre boquillas. Suelen tener distintos ángulos de pulverización. Los más comunes son 40°, 65°, 80°, 95° y 110°. Como puede verse en la Figura 6.5, la distribución del líquido en este tipo de boquillas es mucho más uniforme que en las de abanico plano estándar.

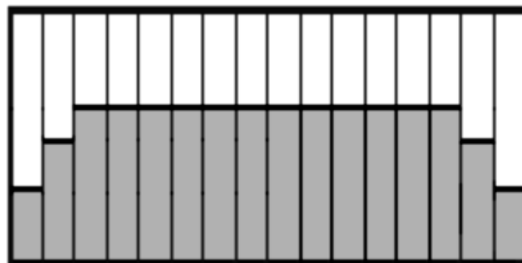


Figura 6.5. Diagrama de distribución de una boquilla de abanico plano uniforme.

6.6.3. Boquillas de rango extendido

Si bien son muy parecidas en aspecto a las boquillas de abanico plano estándar, tienen dos características de diseño que las diferencian:

- Su rango de presión de trabajo varía desde 1 hasta 5 bar, y permite duplicar su caudal aumentando la presión.
- Este rango extendido posibilita el uso de la boquilla como “multifunción”, ya que a bajas presiones produce gotas gruesas y a presiones más altas, gotas más finas.



Figura 6.6. Distintos modelos de boquilla de pulverización de espejo (Spraying Systems Co, 2004)

6.6.4. Boquillas de espejo

En este tipo de boquillas el concepto de funcionamiento es que el líquido salga del orificio calibrado en forma de “chorro” que golpea sobre una superficie cóncava, lo que produce el efecto de fraccionamiento y distribución del líquido.

Existen muchos modelos de este tipo de boquillas; todos producen gotas gruesas a muy gruesas (Figura 6.6).

Otra característica de estas boquillas es que a medida que la presión aumenta, también lo hace el ángulo de distribución, en mayor magnitud que en otras. Por este motivo se las suele denominar “gran angular”.

Tal como se indica en la Figura 6.7, pueden colocarse de diferentes formas en la barra. Las opciones

A y B de la figura brindan un buen patrón de distribución con niveles aceptables de deriva. La opción C presenta la mejor distribución, aunque con el mayor riesgo de deriva. Finalmente, la opción D presenta la peor distribución, con el mínimo riesgo de deriva. Estas boquillas operan a baja presión de servicio ya que normalmente se utilizan entre 1 y 3 bar.

6.6.5. Boquillas “tipo turbo”

Se trata de boquillas concebidas para producir gotas gruesas, con un diseño que combina las características de las de baja deriva con preorificio y las de espejo (Figura 6.8). Su rango de trabajo adecuado es de 1 a 6 bar, lo que brinda una gran versatilidad en cuanto a variar los caudales. Un aspecto desfavorable es que son muy difíciles de destapar en caso de obturaciones. Ello implica cuidados especiales al trabajar con polvos mojables.

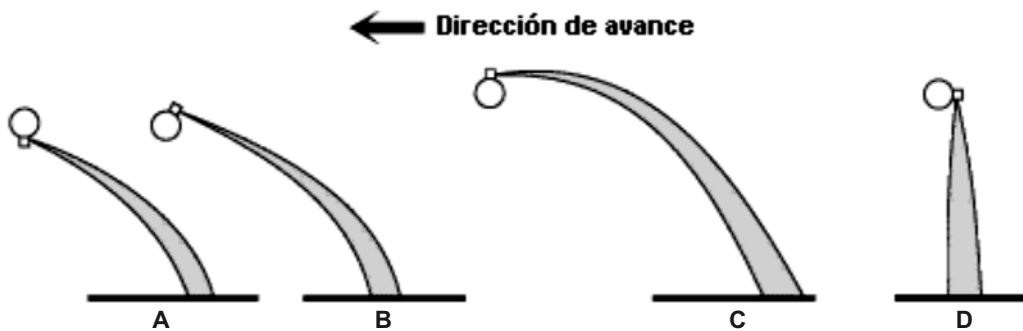


Figura 6.7. Distintas alternativas de posicionamiento sobre el botafón de las boquillas de pulverización tipo espejo.

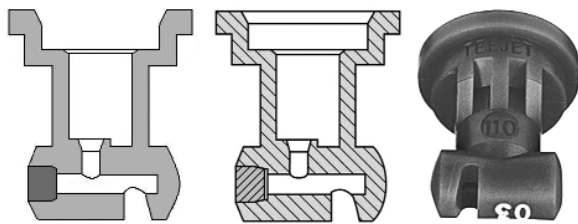


Figura 6.8. Boquillas tipo turbo (Spraying Systems Co, 2004)

6.6.6. Boquillas de baja deriva con preorificio

Fueron el primer desarrollo de boquillas antideriva. Se diferencian de las estándar o de las de rango extendido por una pequeña precámara anterior al orificio de salida, donde las gotas más finas se unen entre sí, con lo cual el porcentaje de gotas sujetas a la deriva disminuye. El resultado es una boquilla cuyos valores de diámetros volumétricos son algo mayores (Figura 6.9).

Normalmente, la tapa de la precámara es extraíble a los efectos de limpiar la boquilla si fuera necesario. El rango de trabajo adecuado de estas boquillas va de 2 a 5 bar.

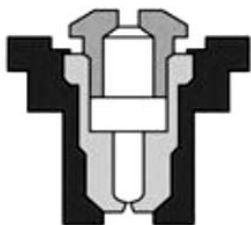


Figura 6.9. Esquema de una boquilla de baja deriva

6.6.7. Boquillas inducidas por aire

Estas boquillas poseen un conducto estrecho por donde fluye el líquido. Conectados a éste hay dos pequeños orificios que comunican con el exterior (Figura 6.10). A través de "efecto Venturi", este sistema genera una succión de aire que se hace más

notable cuanto mayor es la velocidad del líquido dentro de la boquilla. Las gotas producidas contienen pequeñas burbujas de aire en su interior, lo que permite aumentar su tamaño entre gruesas a muy gruesas. Esta particularidad las identifica como boquillas antideriva. Otra de sus características es el muy amplio rango de presiones de trabajo, que se extiende de 2 a 8 bar.

Las gotas producidas por estas boquillas "estallan" al llegar a destino e impactar, y de esta manera logran una mejor cobertura.

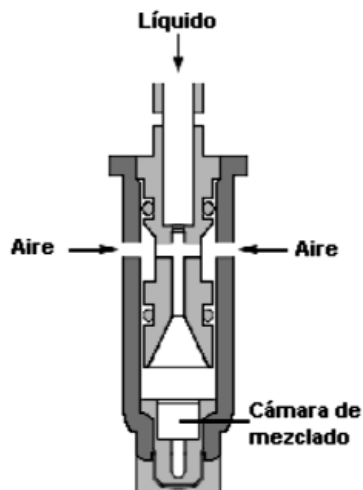


Figura 6.10. Esquema de una boquilla de pulverización inducida por aire

6.6.8. Boquillas de doble abanico plano

El doble abanico, uno hacia adelante y otro hacia atrás permite lograr una mayor penetración en cultivos densos. El caudal de la boquilla corresponde a la suma del caudal de los dos abanicos y, normalmente, el ángulo entre los dos abanicos es de 60°.

El tamaño de las gotas es menor que el de las boquillas equivalentes de abanico simple, debido a que el caudal está dividido en dos abanicos (Figura 6.11).



Figura 6.11. Diferentes modelos de boquillas de pulverización de doble abanico plano.

El mismo efecto de doble abanico puede lograrse con boquillas de abanico simple, ya sea mediante un dispositivo en forma de "Y" invertida (Figura 6.12.A), o bien mediante los denominados "cabezales dobles" (Figura 6.12.B).

6.6.9. Boquillas de abanico plano excéntrico

Tienen la característica de que el abanico plano se extiende sólo hacia uno de los lados. No están muy difundidas y se usan principalmente para aplicaciones de tipo subfoliar, o bien para ser colocadas en el extremo del botalón cubriendo las zonas laterales (Figura 6.13).

6.6.10. Otros tipos de boquilla de abanico plano

Existen otros tipos de boquillas que en algunos casos pueden surgir de la combinación de dos modelos diferentes:

- a) Turbo con aire inducido: produce gotas muy gruesas, inclusive mayores que las de los modelos de aire inducido simple y turbo simple.
- b) Doble abanico plano con inducción de aire.
- c) Doble abanico plano con pre-orificio.
- d) Turbo con doble abanico.
- e) Abanico plano excéntrico con inducción de aire.
- f) Boquillas que forman una única pieza con la tapa.

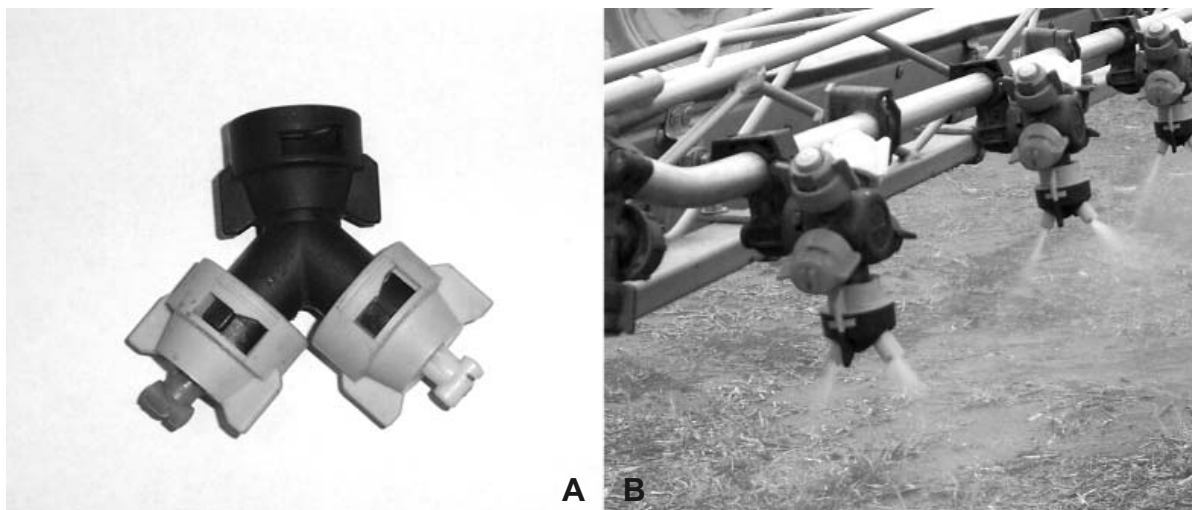


Figura 6.12. Alternativas para conseguir el doble abanico en la pulverización.

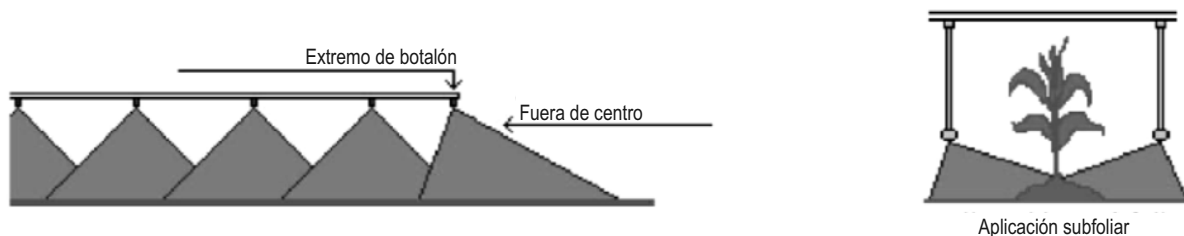


Figura 6.13. Ilustraciones sobre la aplicación con boquillas de abanico plano excéntrico (Fuente: Onorato, 2006)

6.7. Boquillas de cono

Se presentan en un solo cuerpo, o bien constituidas por elementos independientes: cuerpo de la boquilla, núcleo de rotación, cámara de turbulencia, placa y tapa.

La placa consta de un orificio calibrado y es uno de los elementos que determina el caudal erogado. El núcleo de rotación es el principal dispositivo de este tipo de boquillas que actúa en la determinación del caudal y le da características geométricas particulares a la formación del cono. Este aspecto determinará si es de cono hueco o de cono lleno.

El patrón de distribución se puede modificar cambiando las boquillas de una sola pieza, o bien con la combinación de placa y núcleos de rotación. Actualmente también se dispone de diseños de

boquillas de cono con inducción de aire, como estrategia para minimizar la deriva.

6.7.1. Boquillas de cono hueco

Es el tipo de boquillas que producen el espectro de gotas más fino. Se utilizan cuando se requiere una excelente cobertura, como es el caso de la aplicación de fungicidas. Por estas características el riesgo de deriva es alto. Su rango de trabajo es normalmente de 5 a 20 bar (Figura 6.14).

6.7.2. Boquillas de cono lleno

Las boquillas de cono lleno funcionan sobre la base del mismo principio que las de cono hueco y producen gotas gruesas a muy gruesas. En este caso, el núcleo tiene un diseño diferente, ya que el líquido ingresa por la parte central y superior de una pieza con forma aproximada de cilindro invertido, y sale mediante unos pequeños conductos laterales, con lo que se origina el movimiento rotativo (Figura 6.15).



Figura 6.14. Boquilla de cono hueco (Spraying Systems Co, 2004)



Figura 6.15. Boquillas de pulverización de cono lleno (Spraying Systems Co, 2004)

6.8. Desgaste y reemplazo de boquillas

Las boquillas deberían reemplazarse cuando incrementen un 10% el caudal con respecto a una boquilla nueva de igual tipo. El tiempo que demanden en llegar a ese 10% dependerá del material de la boquilla, su mantenimiento y limpieza, de los plaguicidas aplicados y su potencial abrasivo, además de las presiones de trabajo.

En la Tabla 6.5 se comparan los precios de boquillas de abanico de distintos materiales, tomando como valor de referencia 1 para los polímeros de una marca determinada representativa en el mercado.

Tabla 6.5. Valores de las boquillas de pulverización de abanico plano de distintos materiales. Valor de referencia del polímero = 1

Material	Valor de referencia
Polímero	1
Con inserto de bronce	4,50
Con inserto de acero inoxidable	6
Con inserto de cerámica	6,90

Teniendo en cuenta estos valores, es interesante complementarlos con un ensayo de desgaste de boquillas (Figura 6.16).

Como conclusión se puede afirmar que, a largo plazo, las boquillas de cerámica son las de menor costo por unidad de desgaste, en tanto que las de bronce son las de mayor costo relativo. No obstante, debe tenerse en cuenta que la cerámica es un material sumamente quebradizo y que se rompe con facilidad en caso de caídas o limpiezas inadecuadas. En este sentido, tanto los polímeros como el acero inoxidable son de mayor resistencia a los impactos.

En la Figura 6.17 se observan los efectos del desgaste o daño en las boquillas sobre la distribución de las pulverizaciones. Esta alteración de los patrones de distribución es un inconveniente adicional al aumento del caudal y a las consecuentes pérdidas provocadas por el desgaste.

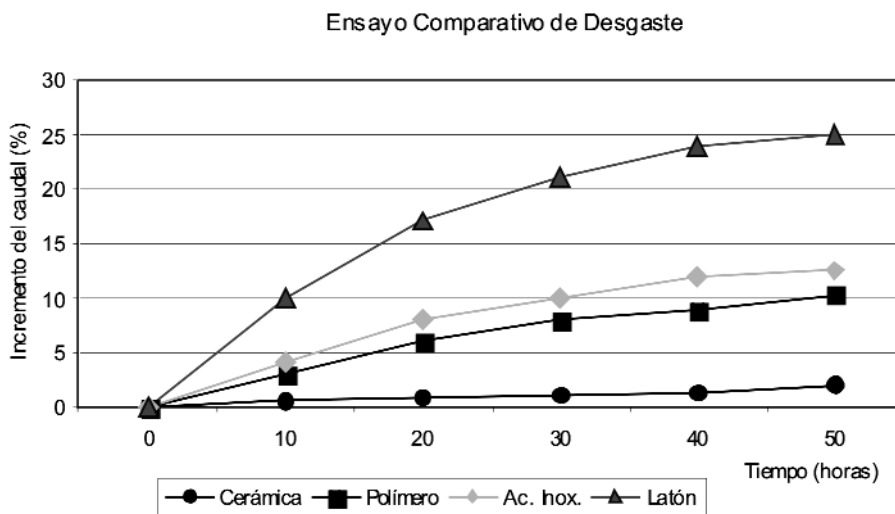


Figura 6.16. Gráfico de un ensayo comparativo de desgaste de boquillas con diferentes materiales de construcción (Bogliani, 1996).

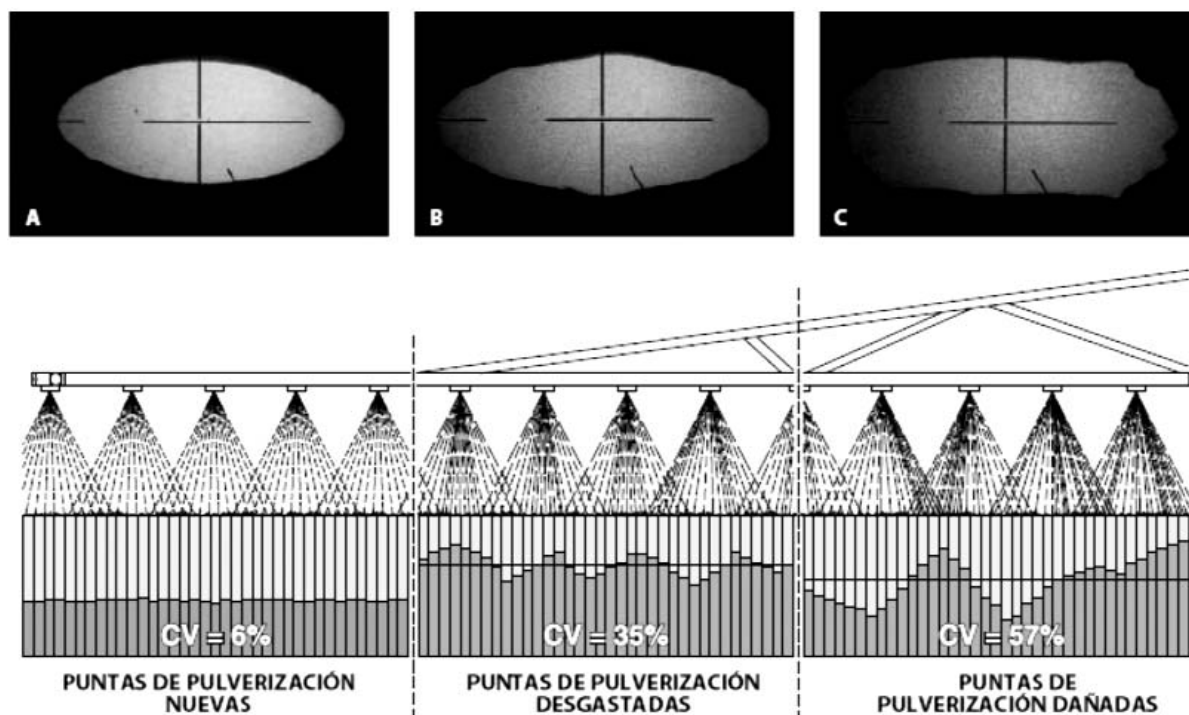


Figura 6.17. Diagramas de distribución obtenidos con boquillas de pulverización con distinto grado de desgaste con su respectivo coeficiente de variación (CV) (Spraying Systems Co, 2004)

6.9. Referencias consultadas

- ASAE Standards. 1999. S-572 Spray nozzle classification by droplet spectra. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Bogliani, M.; Masiá, G. 1996. Desgaste en pastillas pulverizadoras. Su acción sobre el caudal y la distribución. IV Congreso Argentino y II Internacional de Ingeniería Rural. Neuquén, Argentina. Tomo I: 203-207.
- International Standard ISO 10625. 1996. Equipment for crop protection - Sprayer nozzles - Colour coding for identification. ISO 10625:1996 (E).
- Onorato, A; Tesouro, O. 2006. Pulverizaciones agrícolas terrestres. Edit. INTA. 157 p.
- Spraying Systems Co. 2004. Catálogo 49A-E. Productos de sistemas móviles. 176 páginas. Wheaton, Illinois.

Capítulo 7

Consideraciones operativas de las boquillas pulverizadoras

Boller, W.; Schlosser, J. F.

- 7.1. INTRODUCCIÓN
- 7.2. INFLUENCIA DEL ÁNGULO DE LA BOQUILLA Y LA PRESIÓN DE SERVICIO SOBRE EL TAMAÑO DE LAS GOTAS
- 7.3. ALTURA DE LA BARRA Y DISTANCIAMIENTO ENTRE BOQUILLAS
- 7.4. CONSIDERACIONES SOBRE EL COMPORTAMIENTO A CAMPO DE LAS BOQUILLAS CON INDUCCIÓN DE AIRE
- 7.5. ASPECTOS DE LA DINÁMICA DE LAS GOTAS DE PULVERIZACIÓN EN MÁQUINAS PULVERIZADORAS TERRESTRES
- 7.6. CRITERIOS PARA UNA ADECUADA SELECCIÓN DE BOQUILLAS PULVERIZADORAS
- 7.7. CALIDAD DE LA PULVERIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL BLANCO BIOLÓGICO
- 7.8. TASA DE APLICACIÓN
- 7.9. REFERENCIAS CONSULTADAS

7.1. Introducción

Las boquillas pulverizadoras definen la calidad de la pulverización y la cantidad de agroquímico a distribuir sobre el blanco. El comportamiento de las boquillas resulta de sus características constitutivas, como fue presentado en capítulos anteriores, y de la interacción dentro de un complejo sistema dinámico. La distancia, la altura de trabajo y el ángulo de las boquillas en una barra en movimiento, la presión de servicio, las características del blanco biológico son algunas de las variables de cuya articulación adecuada depende la prestación de las boquillas y, por ende, el éxito de la aplicación.

7.2. Influencia del ángulo de la boquilla y la presión de servicio sobre el tamaño de las gotas

Se deben mencionar dos aspectos de interés práctico relacionados con el ángulo de las boquillas de abanico y su efecto sobre el tamaño de gotas generadas y la altura de trabajo de la barra de pulverización. Una boquilla de abanico de igual caudal que posee un menor ángulo de

apertura del abanico producirá gotas de mayor tamaño y, consecuentemente, una de ángulo superior generará un importante porcentaje de gotas finas. Por ejemplo, en el caso de dos boquillas de igual caudal y operando a la misma presión, la que posee un ángulo de 80° producirá una cantidad inferior de gotas con tamaños menores de 200 µm, comparada con la de ángulo de 110° (Tabla 7.1).

7.3. Altura de la barra y distanciamiento entre boquillas

Para definir la altura de la barra sobre el cultivo al utilizarse boquillas de abanico plano, es necesario que exista una superposición mínima del 30% de sus patrones de distribución (Figura 7.1.A), pudiendo llegar al 100%, lo que se denomina doble cobertura. Además, se debe respetar un ángulo aproximado de 9° entre el plano abanico de distribución y la barra (Figura 7.1.B), de modo que los abanicos produzcan la deseada superposición sin interferencia. Si ocurrieran choques entre abanicos, resultarán mayores deposiciones en algunos puntos a lo largo de la barra y desuniformidad de distribución de la pulverización.

Tabla 7.1. Porcentaje del volumen pulverizado en gotas menores de 200 µm en función del ángulo de la boquilla y de la presión de servicio, para diferentes modelos de boquillas de abanico plano del mismo caudal (Fuente: Spraying Systems Co, 2007).

Modelo de boquilla Caudal 1,16 L min ⁻¹	Porcentaje de volumen pulverizado en gotas < 200 µm	
	1,5 bar	3,0 bar
XR Teejet® 110°	14 %	34 %
XR Teejet® 80°	2 %	23 %
DG Teejet® 110°	< 1 %	20 %
DG Teejet® 80°	< 1 %	16 %
TT Teejet® 110°	< 1 %	12 %

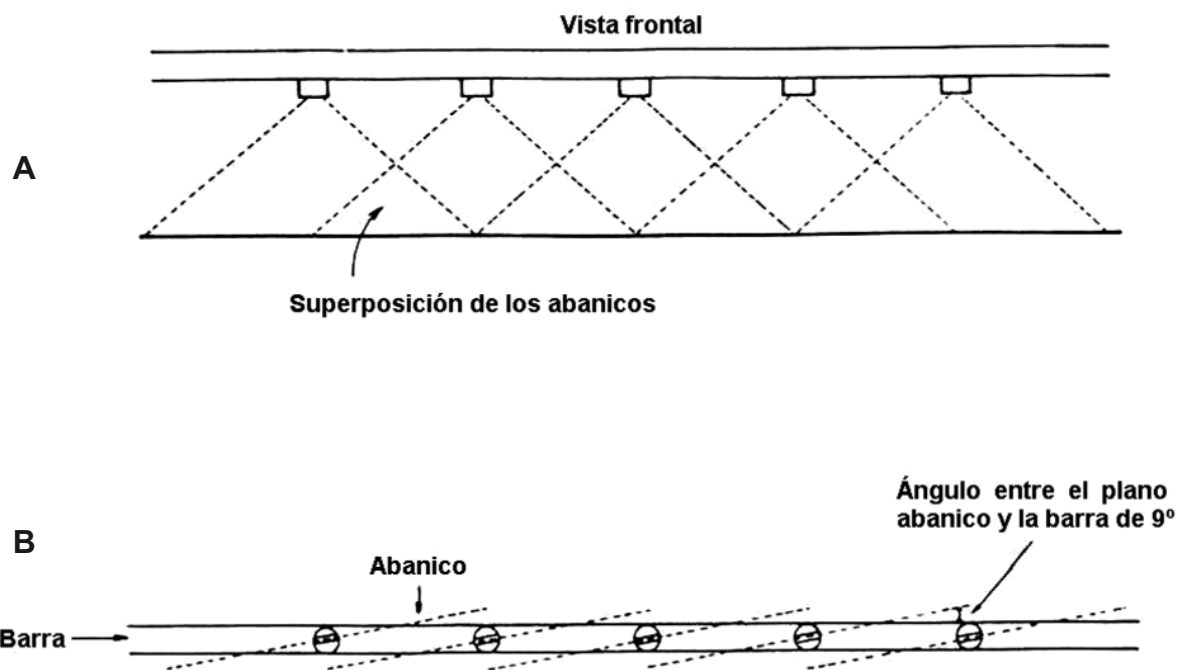


Figura 7.1. Altura de la barra y orientación de los abanicos para obtener una adecuada distribución sobre el blanco (Fuente: Velloso et al., 1984).

En general, para espaciamientos de 0,50 m entre boquillas los fabricantes recomiendan de 0,45 a 0,50 m sobre el blanco. La Tabla 7.2 muestra las alturas de trabajo aconsejadas en función del ángulo y la distancia entre boquillas.

Tabla 7.2. Altura de la barra (m) para boquillas de abanicos planos de diferentes ángulos en función de la distancia (m) entre boquillas (Fuente Matthews, 1992)

Ángulo de las boquilla	Distancia entre boquillas en la barra (m)		
	0,40	0,50	0,60
S	0,40	0,50	0,60
65°	0,51	0,56	0,66
80°	0,38	0,46	0,50
110°	0,24	0,27	0,29

Asimismo, se debe destacar que en las boquillas de cono la variación de la presión de trabajo ejerce menor efecto sobre el caudal, el ángulo pulverizado y el tamaño de gotas producidas que en los otros tipos de boquillas (Tabla 7.3).

Tabla 7.3. Efecto de las combinaciones entre tamaño de placas y núcleos de rotación en boquillas de cono, sobre el caudal y el ángulo de pulverización para dos presiones de servicio (Fuente: Matthews, 1992).

Placa	Núcleo de rotación	Presión de 1,0 bar		Presión de 2,8 bar	
		Caudal (L min ⁻¹)	Ángulo (°)	Caudal (L min ⁻¹)	Ángulo (°)
D2	13	0,22	41	0,30	67
	25	0,38	32	0,61	51
	45	0,49	26	0,76	46
D4	13	0,31	64	0,45	79
	25	0,68	63	1,10	74
	45	0,83	59	1,36	69

7.4. Consideraciones sobre el comportamiento a campo de las boquillas con inducción de aire

Las boquillas con inducción de aire son indicadas para situaciones en las que se necesita un mayor control de la deriva, y se utilizan en especial para las aplicaciones de herbicidas sistémicos (Figura 7.2). Las aplicaciones de herbicidas no sistémicos con boquillas pre orificio y de tipo turbo mostraron un comportamiento satisfactorio en la eficiencia del control de malezas; sin embargo, las que cuentan con inducción de aire no evidenciaron niveles aceptables de control. Cuando se trata de aplicaciones de insecticidas y fungicidas, todavía existen dudas sobre el uso de boquillas de baja deriva, sobre todo de aquellas inducidas por aire. Varios trabajos demuestran que para aplicaciones de fungicidas sistémicos las boquillas que gene-

ran gotas más finas producen mayores niveles de control que las de deriva reducida.

Trabajos realizados en la Universidad de Passo Fundo, RS-Brasil demostraron la viabilidad del empleo de las boquillas de deriva reducida en aplicaciones de fungicidas sistémicos en cereales de invierno (Tabla 7.4).

Nuevas boquillas de abanicos planos dobles con inducción de aire fueron desarrolladas para operar en pulverizadores que se desplazan con velocidades superiores a 12 km.h⁻¹. Éstas presentan los abanicos desfasados entre sí, con un ángulo de 10° con respecto a la barra hacia adelante y el otro 50° hacia atrás. Este desfase y la velocidad de desplazamiento del equipo pulverizador ocasionan un efecto dinámico en las gotas pulverizadas, de tal manera que se distribuyen mejor en el interior del follaje del cultivo.

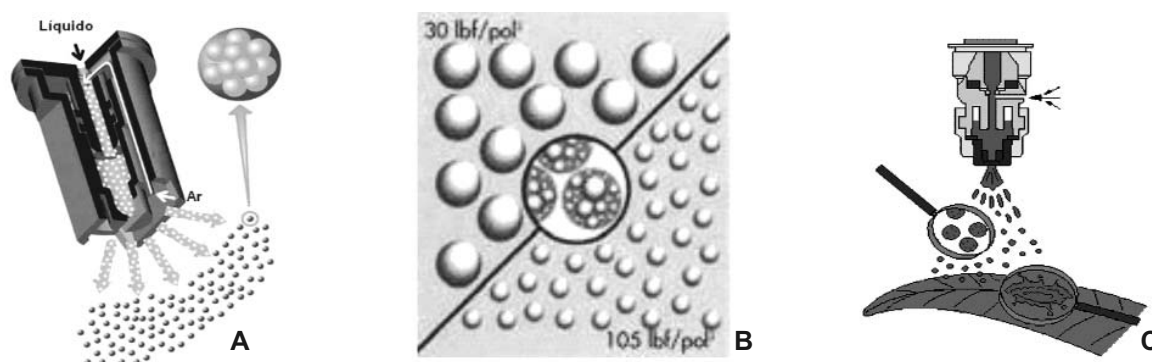


Figura 7.2. Boquillas con inducción de aire. A) Corte transversal de una boquilla de abanico con inducción de aire con pre orificio; B) Gotas con burbujas de aire y efecto visual de la variación de la presión de pulverización; C) Boquillas con inducción de aire y detalle del impacto de las gotas con inducción de aire en el blanco (Fuentes: Agrotop, 2008; Jacto, 2008; Landers, 2005).

Tabla 7.4. Niveles de control de roya de la hoja del trigo (*Puccinia triticina*), peso hectolítrico y rendimiento de trigo, en función de aplicaciones de fungicidas con diferentes boquillas de pulverización. FAMV/UPF, Passo Fundo-RS, 2005.

Tratamiento – boquillas	Control de la roya de la hoja de trigo (%)	PH (kg.hL ⁻¹)	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)
Cono hueco JA-2	99,07	78,15	3594
Cono hueco D2-25	99,55	78,87	3704
Abanico plano XR-110015	99,42	80,57	3529
Abanico plano DG-110015	98,82	79,05	3679
Abanico plano TT-110015	98,04	78,47	3519
Abanico plano – inducción de aire 12001	98,32	78,28	3383
Abanico plano doble - inducción de aire AIR 110DB1,5	97,82	78,72	3517
Sin aplicación de fungicida	0	72,75	2070

7.5. Aspectos de la dinámica de las gotas de pulverización en máquinas pulverizadoras terrestres

Los equipos pulverizadores autopropulsados presentan innovaciones que dan mayor estabilidad a la barra, y por ello la velocidad de avance utilizada puede superar los 16 km h^{-1} . Como consecuencia de esto, la diferencia de velocidad entre la barra en desplazamiento y el viento atmosférico sobre el cultivo ejerce un efecto de freno, que se opone a la velocidad de caída de las gotas finas de las boquillas de pulverización. En este sentido, se presenta una situación crítica considerando que para aplicar fungicidas se recomiendan gotas finas y medias y que la velocidad máxima del viento durante una pulverización no supere los $9,6 \text{ km h}^{-1}$.

Este proceso facilita la evaporación y la deriva de las gotas más finas y dificulta su llegada al interior del follaje de los cultivos tratados. Una segunda consecuencia ocurre sobre las gotas de tamaño medio que consiguen mantener la velocidad de caída, a pesar del efecto contrario generado por la velocidad de avance del pulverizador. Investigaciones realizadas en cereales de invierno demuestran que estas gotas se depositan en su gran mayoría en una cara de las plantas, manteniendo

el sector opuesto (“lado de la sombra”) con menor cantidad de gotas (Figura 7.3).

Los estudios mencionados revelaron que el aumento de la velocidad de avance del equipo pulverizador provoca mayores depósitos de gotas en el tercio superior de las plantas, en detrimento de la parte inferior del follaje. El aumento de la presión de trabajo puede compensar parcialmente este efecto, aunque se debe recordar que los niveles elevados de presión favorecen la formación de gotas más finas. Debe prestarse especial atención a estas observaciones, teniendo en cuenta la tendencia hacia mayores velocidades de avance en los pulverizadores de barras.

Del mismo modo, los abanicos dobles presentan un pequeño aumento de la cantidad de gotas depositadas en la cara denominada “lado de la sombra”. La situación más equilibrada se obtuvo cuando fueron utilizadas boquillas con abanicos planos dobles con ángulos diferenciados en relación a la vertical (Figura 7.4). Los resultados indican que este modelo de boquillas puede ser eficiente para una deposición más uniforme de las gotas en ambos lados de las plantas, cuando la velocidad de avance alcanza alrededor de 12 km.h^{-1} .

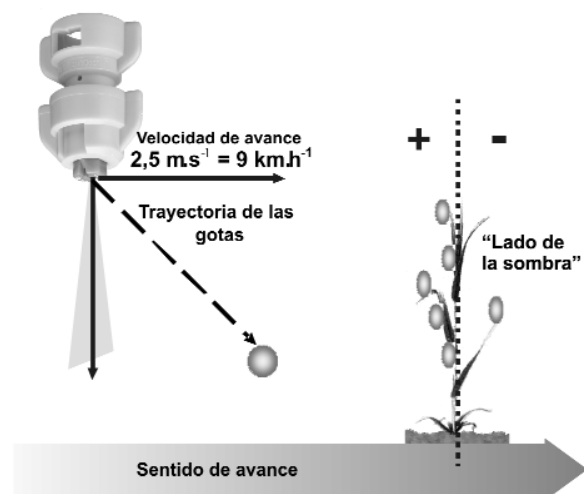


Figura 7.3. Trayectoria de las gotas de pulverización con boquillas de abanico plano en posición vertical y su deposición en ambas caras de las plantas de cereal de invierno (Fuente: Agrotop, 2008).

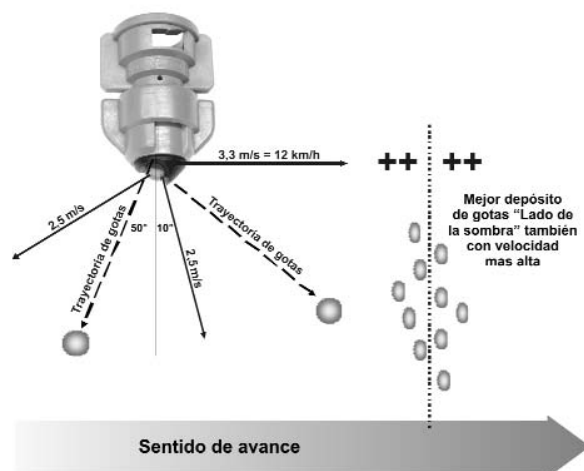


Figura 7.4. Trayectoria y deposición de gotas con boquillas de abanicos planos dobles de la serie TurboDrop® HiSpeed (Fuente: Agrotop, 2008).

7.6. Criterios para una adecuada selección de boquillas pulverizadoras

La selección de boquillas de pulverización es importante para adecuar el equipo al tipo de aplicación deseada, con el fin de optimizar el resultado biológico y la capacidad de la máquina.

Los criterios de selección deben considerar: condiciones ambientales durante la aplicación, calidad adecuada de pulverización para cada agroquímico (tamaño de gotas, cobertura), uniformidad de distribución, tasa de aplicación y características del blanco biológico. Todo esto buscando el mejor control de plagas con las menores pérdidas por deriva y escurrimiento.

La selección de boquillas debe acompañarse de una adecuada selección de filtros, lo que normalmente se indica en las tablas de los fabricantes. Una indicación de orden general es dar preferencia, siempre que sea posible, a boquillas que necesiten filtros con mallas menores a 50 mesh. Las boquillas que deben utilizar filtros con 80 a 100 mesh son más susceptibles a la obstrucción, sobre todo en los casos en que se aplican suspensiones. Los productos formulados como soluciones, concentrados solubles, gránulos dispersables en agua y concentrados emulsionables presentan menores restricciones en cuanto al tamaño de las mallas de los filtros.

7.7. Calidad de la pulverización y características del blanco biológico

Las gotas ideales deben ser lo suficientemente finas como para obtener una buena cobertura del blanco y minimizar las pérdidas por escurrimiento, y su tamaño no debe favorecer la evaporación y deriva. El espectro de gotas ideal debe, además, tener la mayor uniformidad posible y tender a que las gotas sean todas de igual tamaño.

Un aspecto importante es la caracterización del blanco biológico. Los cultivos en distintos estados fenológicos, con distintas densidades y consecuentemente distintos índices de área foliar presentan diferentes niveles de dificultad para ser alcanzados por los productos fitosanitarios.

La clase y el modo de acción del producto a ser aplicado deben ser tenidos en cuenta al momento de seleccionar las boquillas. Los herbicidas sistémicos requieren menor densidad de gotas que los productos con acción de contacto.

Es importante recordar que los fungicidas presentan una acción sistémica limitada, por lo que demandan mayor atención en la cobertura del blanco. Por su parte, los insecticidas mantienen una posición intermedia entre fungicidas y herbicidas sistémicos en cuanto a la cobertura mínima necesaria del blanco.

7.8. Tasa de aplicación

La tasa de aplicación o volumen de mezcla aplicado por hectárea tiene influencia directa sobre el nivel de cobertura del blanco biológico. En principio, el aumento de la tasa de aplicación resulta en una disminución de la capacidad operativa por un aumento del tiempo de reabastecimiento de los equipos pulverizadores. Por este motivo, se busca utilizar las menores tasas de aplicación posible, compatibles con la mejor eficiencia biológica del agroquímico. En términos generales, los herbicidas sistémicos presentan mejores resultados con menores tasas de aplicación. Por su parte, los fungicidas son más exigentes en cuanto a la cobertura del blanco biológico y necesitan un mayor volumen de caldo por área tratada. Los insecticidas deben considerarse para cada caso en particular, poniendo énfasis en la plaga que se esté controlando. Una plaga masticadora que se moviliza entre las hojas puede ser controlada con mayor facilidad que las plagas que se localizan en partes específicas en el interior de las plantas, las cuales en muchos casos no serán alcanzadas por el producto aplicado.

Algunos trabajos en cultivos de avena, trigo y soja demostraron efectos importantes con el aumento de la tasa de 100 a 200 L ha⁻¹ en aplicaciones terrestres. Como medida de seguridad en este tipo de aplicaciones podría indicarse una tasa de aplicación mínima de 150 L ha⁻¹. No obstante, en condiciones favorables y con equipos en óptimo estado de servicio y adecuadamente regulados se podrían utilizar tasas menores a las señaladas en aplicaciones de fungicidas.

en aplicaciones de fungicidas. Con la aplicación de herbicidas sistémicos la tendencia es hacia la reducción del volumen del caldo. En el caso de los de contacto, es importante definir la tasa de aplicación en función de la cobertura del blanco. Se debe recordar que en muchos casos la regulación de la presión de servicio puede ser suficiente para obtener la cobertura deseada, sin necesidad de sustituir las boquillas, cuando se pasa de una aplicación de un herbicida sistémico a uno de contacto.

7.9. Referencias consultadas

- Agrotop. 2008. Düsen und Zubehör für den Pflanzenschutz: Produktkatalog 106. Obertraubling: Agrotop GmbH, 128 p.
- ANDEF-Associação Nacional de Defesa Vegetal 2004. Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. Campinas: Línea Creativa. 50 p.
- Jacto. 2008. Produtos: bicos. Disponible en: www.jacto.com.br.
- Landers, A. 2005. Selecting the correct nozzle to reduce drift. Disponible en: <http://www.nyases.cornell.edu/ent/faculty/landers/pestapp/vegetable.htm>. Activa al 11 de mayo de 2005.
- Matthews, G. A. 2004. Pesticide application methods. 2nd ed. London: Longman Scientific & Technical. 405 p.
- Spraying Systems Co. 2007. Catálogo 50-P: Teejet Technologies. Wheaton: Spraying Systems Co., 192 p.
- Velloso, J. A.; Gassen, D. N.; Jacobsen, L. A. 1984. Tecnología de aplicação de defensivos agrícolas com pulverizadores de barra. Passo Fundo: Centro Nacional de Pesquisa de Trigo / EMBRAPA, 50 p. (EMBRAPA-CNPT. Documentos 5).

Capítulo 8

Equipos para la aplicación de agroquímicos - Denominación y clasificación

Magdalena, J. C.; Di Prinzio, A.; Behmer, S.

8.1. INTRODUCCIÓN

8.2. ALGUNOS CRITERIOS UTILIZADOS PARA CLASIFICAR EQUIPOS DE APLICACIÓN DE AGROQUÍMICOS

8.3. PROPUESTA DE NOMENCLATURA Y CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS PULVERIZADORES

8.4. REFERENCIAS CONSULTADAS

8.1. Introducción

En trabajos científicos, comunicaciones técnico-comerciales y libros de texto se observa una multiplicidad de denominaciones con las cuales se pretende caracterizar e individualizar los distintos diseños de máquinas agrícolas con las que se llevan a cabo los tratamientos para el cuidado y defensa de los cultivos.

Los equipos de aplicación pueden clasificarse a partir de los siguientes criterios: forma de desplazamiento, características del producto a distribuir, tipo de cultivo a tratar, volumen de aplicación por unidad de superficie, tamaño del espectro de gotas aplicado y formas por las cuales se producen las gotas, se trasladan, penetran o se adhieren al objeto de la aplicación.

Muchos de estos criterios ponen énfasis en aspectos secundarios que más que aportar claridad

sólo logran sumar confusión, por el aumento del universo de denominaciones utilizadas.

En el presente capítulo se efectúa una amplia revisión de criterios de clasificación citados por distintos autores y se realiza una propuesta para aunar criterios en la denominación de este tipo de máquinas en el idioma español, tanto para las actuales como para los nuevos diseños que puedan surgir.

8.2. Algunos criterios utilizados para clasificar equipos de aplicación de agroquímicos

Baraldi (1988) establece tres criterios de clasificación: forma de desplazamiento, características del producto a distribuir y tipo del cultivo a tratar (Tabla 8.1).

Tabla 8.1. Clasificación de los equipos para aplicación de agroquímicos (Fuente: Baraldi, 1988).

Forma de desplazamiento		Características del producto a distribuir		Tipo del cultivo a tratar
Terrestre	Móviles	Productos granulados	Granuladores mecánicos	Arborícolas o frutícolas
			Granuladores neumáticos	
	Fija	Productos gaseosos	Fumigadoras	
			Gotas:	Pulverizador
Aérea	Ala fija	Productos líquidos	Contacto	Soga
				Peine
	Cepillos			
	Ala rotante		Inyección	

Estos no son totalmente excluyentes sino que en algunos casos actúan en forma complementaria. Sin embargo, la clasificación según el cultivo a tratar queda en primera instancia restringida a las máquinas pulverizadoras, lo cual indicaría que son las únicas cuya constitución básica varía si el cultivo es frutícola o bajo.

Otros autores diferencian a las máquinas pulverizadoras por su forma de traslado, e identifican cuatro tipos:

- 1) montadas;
- 2) de arrastre;
- 3) autopropulsadas;
- 4) modulares.

Esta clasificación, de carácter muy general, no aporta más que las formas de traslado, sin que ello ayude a la caracterización de la máquina en sus aspectos fundamentales en relación con la formación, transporte o características de la población de gotas generadas.

De acuerdo con otros autores, la identificación de máquinas pulverizadoras se basa en la tasa de aplicación, tal como se visualiza en la Tabla 8.2.

Esta clasificación resulta práctica desde un punto de vista técnico en relación con la cantidad de líquido a aplicar. Sin embargo, existen máquinas que por sus características de diseño y equipamiento, permiten un rango más amplio de tasas de aplicación. A ello se suma que para ampliar el rango de volúmenes de aplicación dichas máquinas recurren a variar la regulación de sus mecanismos, por lo cual se producen cambios de importancia en las características de la pulverización.

Otro criterio recurre a la forma por la cual se producen las gotas. En este sentido, las máquinas podrían clasificarse en: hidráulicas, neumáticas, centrífugas, de campos eléctricos, térmicos y ultrasónicos, tal como fuera tratado en el Capítulo 4.

En este caso no se hace una correcta identificación entre distintos diseños atendiendo a las formas diferenciales de traslado del producto desde el lugar de emisión hasta el objetivo de la aplicación.

Sobre la base de lo mencionado, algunos autores proponen una clasificación de acuerdo con la forma de traslado, penetración y adhesión de las gotas. Así, se establecen tres posibles sistemas:

- 1) por gravedad-inercia;
- 2) por corriente de aire;
- 3) por carga eléctrica.

Estos encuentran correspondencia con las denominaciones técnicas habituales de la escuela francesa, de gota proyectada cuando la energía hidráulica es la principal causa del movimiento de las gotas hacia el objeto de la aplicación, de gota transportada cuando es una corriente de aire la que se encarga del transporte, y de aplicación electrostática cuando son las cargas eléctricas las que colaboran en el mismo. Esta modalidad de clasificación no es completa cuando se combinan diferentes principios de formación de gotas y transporte hasta el objeto de aplicación, porque tanto un aspecto como otro pueden modificarse mutuamente.

Tabla 8.2. Clasificación según tasa de aplicación expresada en L.ha⁻¹ y por tipo de cultivo (Fuente: Matthews, 2000).

	Cultivos bajos	Árboles y arbustos
Alto volumen	> 600	> 1.000
Medio volumen	200-600	500-1.000
Bajo volumen	50-200	200-500
Muy bajo volumen	5-50	50-200
Ultra bajo volumen	<5	< 50

La norma ISO 5681/94 define distintos equipos de pulverización, incorporando además la denominación de máquina de mochila, como aquel pulverizador que es llevado por un hombre en su espalda (Tabla 8.3).

Márquez (1989) propone una doble clasificación de acuerdo con el principio de formación y el transporte de las gotas. Indica que esta propuesta ayuda en gran medida a la identificación de las principales características de las máquinas para aplicación de productos líquidos.

El autor menciona que este principio de clasificación se mantiene actualmente y encuentra su aplicación en la Norma ISO 3339-0/86 y en la Norma española UNE 68051-0/82, en las cuales los equipos pulverizadores son incluidos dentro de un

grupo más amplio (Grupo 06) denominado “Equipos para el cuidado y protección de las plantas”, donde son clasificados en forma independiente de la motorización empleada, pudiendo ser mecánicos arrastrados, autopropulsados o de accionamiento manual. Dentro de este grupo se encuentra el subgrupo 06.3 “Equipos contra parásitos y enfermedades de los cultivos”, tal como se detalla a continuación:

Pulverizadores

1. hidráulicos (presión de líquido)
2. hidroneumáticos (presión de líquido y corriente de aire)
3. neumáticos
4. centrífugos
5. térmicos o termo-neumáticos
6. electrodinámicos

Tabla 8.3. Clasificación de equipos pulverizadores de acuerdo con la Norma ISO 5681/94.

Centrífugo		Pulverización por fragmentación del líquido por acción de la fuerza centrífuga de un cuerpo en rotación
Centrífugo de chorro transportado		Pulverizador centrífugo que utiliza un flujo de aire para el transporte de las gotas
Neumático		Equipo de tratamiento con una o varias toberas de pulverización
Térmico		Equipo que realiza una pulverización térmica
De presión previa		Equipo en el que la presión del líquido se obtiene por medio de un gas comprimido
De presión de chorro transportado		Efectúa la pulverización por presión de líquido y transporte de las gotas por flujo de aire
De presión de chorro proyectado		Lleva a cabo la pulverización por presión de líquido por una o más boquillas y el transporte se realiza sin fluido auxiliar
De mochila	De presión previa	Cuando se puede comprimir el aire para dar presión al caldo y alimentar las boquillas
	De presión mantenida	Cuando posee una bomba accionada por una palanca movida a mano

El Subgrupo 06.3 incluye gran parte de la maquinaria relacionada con la aplicación de agroquímicos, aunque no todos los apartados de este subgrupo tienen el mismo nivel de importancia en la lucha contra las plagas de los cultivos. Entre los equipos pulverizadores se incluyen aquellos cuya actuación se basa en la distribución de un líquido en forma de gotas utilizando diferentes técnicas, tanto para la pulverización misma como para el transporte de las gotas hasta el objetivo. Este tipo de máquinas puede considerarse como el de mayor importancia en la protección fitosanitaria actual. En el apartado de equipos de pulverización, las denominaciones más antiguas y tradicionales de pulverizadores, atomizadores y nebulizadores que indicaban una característica relacionada con el tamaño de la gota fueron reemplazadas por otras basadas en el procedimiento de formación de las gotas, unido al empleado para el transporte de éstas hasta el vegetal. Esto queda reflejado en la Tabla 8.4.

8.3. Propuesta de nomenclatura y clasificación de equipos pulverizadores

En virtud de los antecedentes analizados y de las diferentes clasificaciones propuestas por distintos autores, pareciera lógico en primera instancia adherir a la propuesta efectuada por Márquez (2000) y tipificar a los equipos pulverizadores de acuerdo con el principio de formación y transporte de las gotas, con una doble nomenclatura para el caso en que el modo de transporte sea diferente al de formación de las mismas. Si bien las Normas ISO 3339-0/86 y la UNE 68051-0/82 toman este criterio, los nuevos diseños dejan al descubierto algunos aspectos que sería oportuno incluir en la clasificación. Por una parte, se podría caracterizar a los equipos pulverizadores como terrestres o aéreos y, en segundo lugar, dentro de los pulverizadores terrestres tomar como base los principios de formación y transporte de las gotas.

Finalmente, podría también incorporarse la diferenciación para cultivos bajos o altos. De esta forma, serían incorporados o diferenciados distintos diseños que no encuentran una correcta ubicación en la normativa actual. Por ejemplo, en los equipos pulverizadores centrífugos, la pulveriza-

ción se produce utilizando la fuerza centrífuga generada por uno o varios discos, tambores o cepillos que giran a alta velocidad. En los últimos años se han desarrollado equipos que forman las gotas a partir de la fuerza centrífuga generada por una pequeña copa accionada por la misma corriente de aire que será la encargada del transporte de las gotas hasta el cultivo. Estos equipos, por sus características, no encuentran hasta hoy cabida en la clasificación utilizada en la Norma UNE y su correspondiente normativa ISO.

Atendiendo al principio de nomenclatura propuesto con relación a los principios de formación de gota y su transporte al cultivo, correspondería denominarla “Centrífuga-neumática” (Figura 8.1).

En otros casos se han desarrollado equipos que producen la carga eléctrica de las gotas ya formadas por un procedimiento convencional. Por el momento han sido denominados sólo por su principio de transporte, penetración y adhesión, sin considerar el método de formación de gotas. Sin embargo, respondiendo a los criterios enunciados de respeto de la doble nomenclatura de producción y transporte, penetración y adhesión de las gotas deberían denominarse, por ejemplo, “Neumática-electroestática” (Figura 8.2).

Por otra parte, la adición como último eslabón de la clasificación para cultivos bajos y altos (o frutícolas) se aplicaría de igual forma que en la división y transporte de gotas, en la medida que diferencie dos tipos de máquina o diseños realmente distintos. De esta forma podrían identificarse correctamente los pulverizadores hidroneumáticos utilizados en fruticultura y los equipos de barra para cultivos bajos asistidos por una corriente de aire. De acuerdo con la clasificación propuesta por ISO 3339-0/84 y UNE 68051-0/82, ambos serían pulverizadores hidroneumáticos, pudiendo en este caso el tipo de cultivo hacia el cual está dirigida la aplicación ayudar a la correcta identificación del diseño al cual se hace referencia. En esta propuesta de denominación serían “pulverizadores hidroneumáticos para cultivos frutícolas” (Figura 8.3) y “pulverizadores hidroneumáticos para cultivos bajos” (Figura 8.4).

Tabla 8.4. Denominación de acuerdo con principio de formación y transporte de las gotas (Fuente: Márquez, 2000).

Formación de la gota	Transporte de la gota	Denominación
Presión de líquido	Energía cinética	Pulverizador hidráulico
	Corriente de aire	Pulverizador hidroneumático
Corriente de aire	Corriente de aire	Pulverizador neumático
Fuerza centrífuga	Viento atmosférico	Pulverizador centrífugo
	Corriente de aire	
Gases de escape	Condensación	Termonebulización
Campo electromagnético	Campo electromagnético	Pulverizador electrodinámico

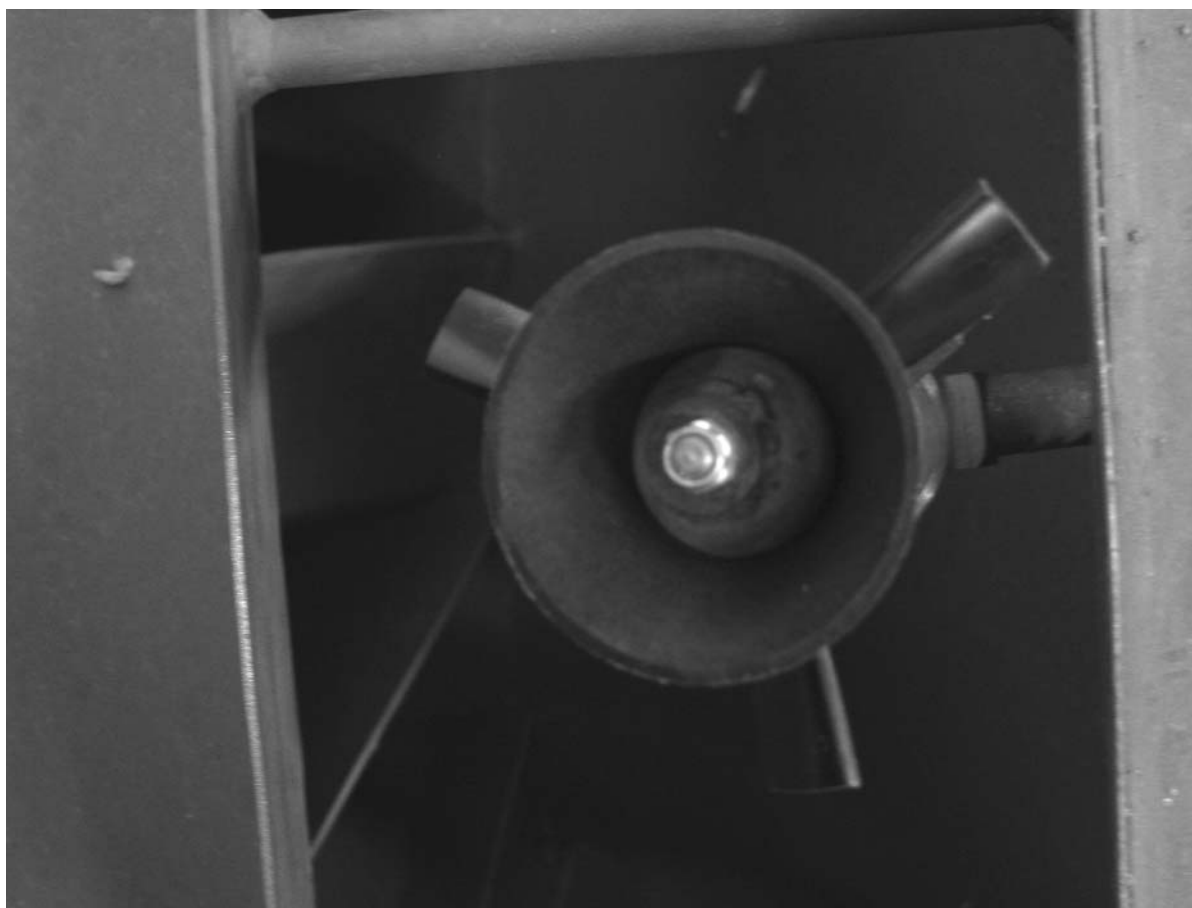


Figura 8.1. Sistema centrífugo-neumático



Figura 8.2. Equipo pulverizador neumático-electroestático para cultivos frutales (Fuente: Martignani, 1983)



Figura 8.3. Equipo pulverizador hidroneumático para cultivos frutícolas



Figura 8.4. Equipo pulverizador hidroneumático para cultivos bajos



Figura 8.5. Equipo pulverizador neumático (Fuente: Florida, 1989)

8.4. Referencias Consultadas

- Ade, G.; Baraldi, P.; Servadio, P. 1987. Aspetti meccanici della difesa nel frutteto. En Scelta dei volumi di intervento e regolazione della machine irroratrici nei trattamenti fitosanitari ai fruttieri. Ed. ERSO. Pp. 39-85.
- Baraldi, G. 1988. Modalita e Controllo della Distribuzione dei fertilizzanti e dei Fitofarmaci. IV Convegno Aigr. Alighero.
- Florida, atomizzatori. 1989. Folleto de producto. 12p.
- ISO 1994 Equipos para tratamientos fitofarmacéuticos vocabulario. Norma ISO 5681 Proyecto UNE 68033, 8 p.
- ISO 1986 Tractors and machinery for agriculture and forestry – Classification and terminology Part 0: Classification system and classification. Norma ISO 3339-0.
- Larragueta; O. Silla; R. 1981. Máquinas pulverizadoras de botalón (chorro proyectado). Boletín de Divulgación Técnica N° 54 - INTA EEA Pergamino. 72 p.
- Márquez; L. 1989. Clasificación y terminología de los equipos para la protección de cultivos. Apuntes de la asignatura Tecnología de Aplicación de Agroquímicos. 1° Curso de Post Grado en Mecanización Agraria. Universidad Nacional de La Plata.
- Márquez; L. 2000. Clasificación y terminología de los equipos para la protección de cultivos. Comunicación Personal 5 p.
- Martignani, C. & C.S.a.s. 1983. Folleto de producto. Kwh System. 4p.
- Matthews, G.A. 2000. Pesticide Applications Methods. 3a Ed. Blackwell Science. 405 pp.
- Magdalena, C.; Balbuena, R.; Di Prinzio, A.; Capurro, J.; 2000. Equipos para la aplicación de agroquímicos. Propuesta de unificación de denominación y Clasificación en "Avances en Ingeniería Agrícola 1998/2000". Ed. Facultad de Agronomía. Argentina pp. 150-156.
- Musillami, S. 1982. Les traitements par pulverisation et les pulverisateurs en agriculture. Tome I, Generalités sur les pulverization pour les traitements des cultures. Ed. CE-MAGREF. 52 pp.

Capítulo 9

Equipos pulverizadores terrestres

Di Prinzio, A.; Behmer, S; Magdalena, J. C.

- 9.1. PARTES COMPONENTES
 - 9.1.1. DEPÓSITO
 - 9.1.1.1. SISTEMAS DE LLENADO
 - 9.1.1.2. SISTEMAS DE AGITACIÓN
 - 9.1.2. BOMBAS
 - 9.1.2.1. TIPOS DE BOMBAS
 - 9.1.2.2. AMORTIGUADORES DE PRESIÓN
 - 9.1.3. VÁLVULAS DE COMANDO
 - 9.1.3.1. COMANDOS DE REGULACIÓN
 - 9.1.4. MANÓMETRO
 - 9.1.5. FILTROS
- 9.2. EQUIPOS PULVERIZADORES HIDRÁULICOS DE BARRA
 - 9.2.1. ESTABILIDAD DE LA BARRA
 - 9.2.1.1. VALORACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS
 - 9.2.1.2. SISTEMAS DE AISLAMIENTO Y ESTABILIZACIÓN DE LA BARRA
 - 9.2.1.3. TROCHA Y NEUMÁTICO
 - 9.2.1.4. ESTRUCTURA DE LA BARRA
 - 9.2.2. EQUIPOS PULVERIZADORES HIDRONEUMÁTICOS PARA CULTIVOS BAJOS
- 9.3. EQUIPOS PULVERIZADORES HIDRONEUMÁTICOS PARA CULTIVOS FRUTALES
 - 9.3.1. TRANSPORTE POR CORRIENTE DE AIRE
- 9.4. EQUIPOS PULVERIZADORES NEUMÁTICOS
- 9.5. REFERENCIAS CONSULTADAS

9.1. Partes componentes

Los componentes que integran el circuito hidráulico del equipo pulverizador cumplen con el objetivo de proporcionar a las boquillas el caudal de líquido necesario para la aplicación en forma limpia, homogénea y con la presión adecuada, a fin de distribuir la dosis de agroquímico propuesta (Figura 9.1).

9.1.1. Depósito

En los pulverizadores modernos los depósitos están contruidos en vitro resinas, material plástico reforzado, acero inoxidable u otro material, por lo que es necesario que la superficie de contacto con el líquido sea estable ante la acción de los productos químicos y que la superficie exterior no se degrade por efecto del sol. La capacidad es variable, ya que depende de los volúmenes de aplicación utilizados y de la autonomía de trabajo pretendida. Existe una tendencia a aumentar el tamaño de los tanques para mejorar la autonomía en equipos pulverizadores automotrices que pueden superar los 3.000 L de capacidad.

Los depósitos pueden ser de formas diversas; no obstante, deben tener un buen acabado interior con curvaturas suaves, a fin de no obstaculizar la

agitación y favorecer la homogeneidad del principio activo en todo el volumen del líquido. Los sectores del tanque que provoquen estancamiento de la masa líquida afectan la eficiencia del sistema de agitación y dificultan la limpieza.

Para contribuir al uso seguro del pulverizador y minimizar el riesgo de accidentes y contaminación del aplicador, el depósito debe tener una boca amplia de llenado y carga situada en un lugar de fácil acceso (Figura 9.2A). La capacidad total debe superar en un 5% a la capacidad nominal, con el fin de evitar el derrame, contaminación y contacto del operario con el producto químico. Por lo tanto, toda referencia debe realizarse sobre la base de su capacidad nominal. Por otro lado, debe tener una válvula de drenaje ubicada de tal forma que permita la evacuación total del líquido, lo que hará más sencilla su limpieza (Figura 9.2B).

El depósito debe tener una escala indicadora de nivel exacta, para que el usuario no incurra en errores al preparar volúmenes inferiores al máximo del tanque, y debe estar referida a la capacidad nominal. Es necesario que sea clara, perdure en el tiempo y que esté localizada a la vista del puesto de comando (Figura 9.2C).

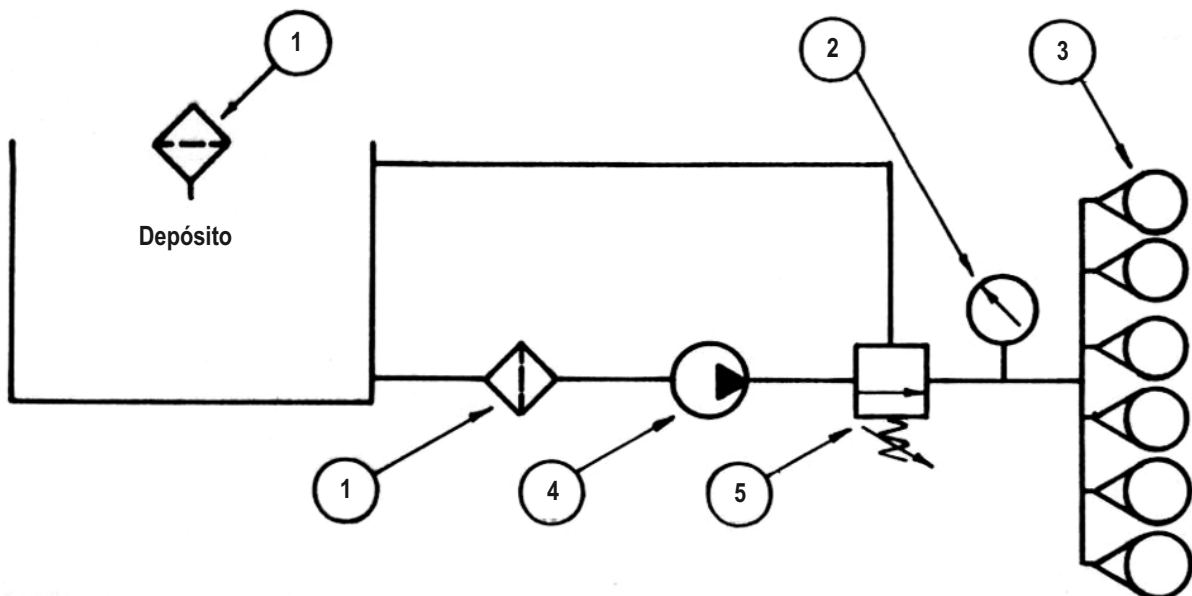


Figura 9.1. Circuito hidráulico del pulverizador

1) Filtros - 2) Manómetro - 3) Boquillas - 4) Bomba - 5) Comando regulador de presión.

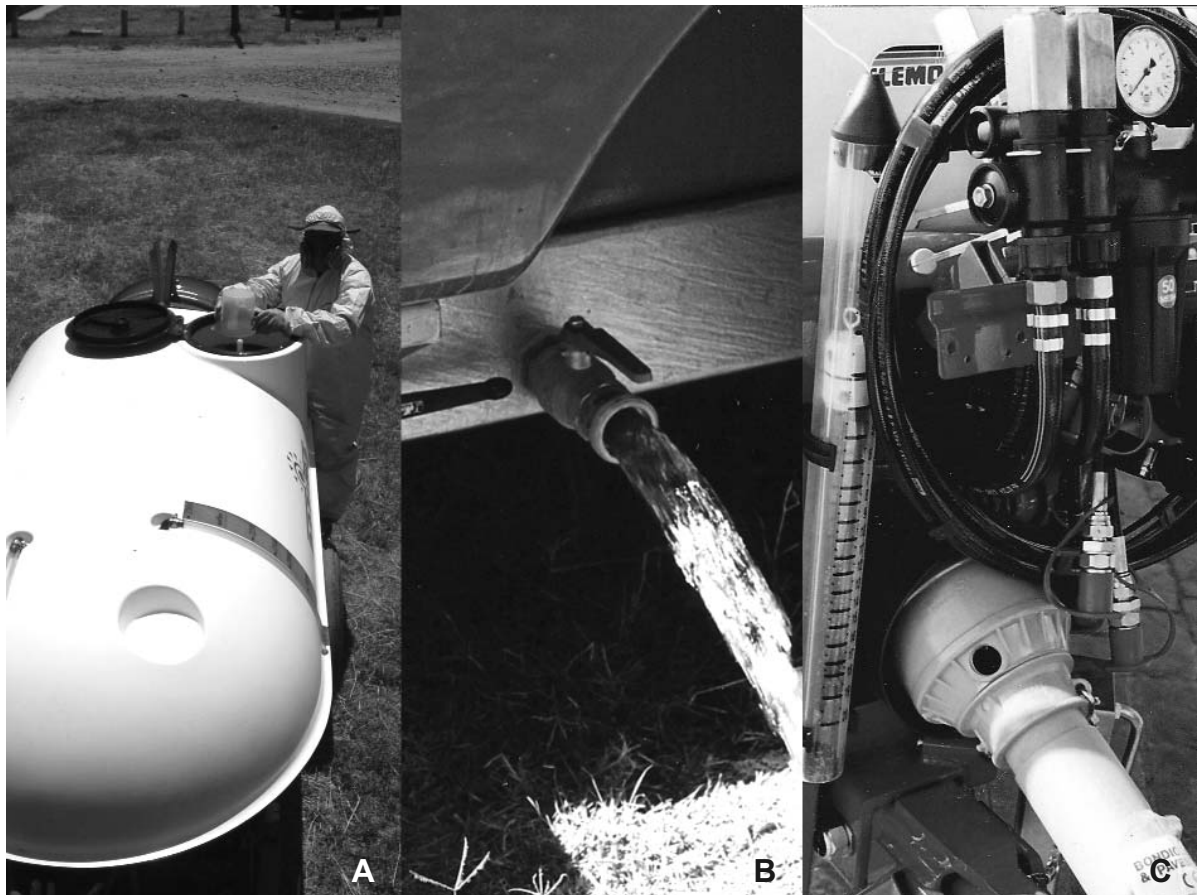


Figura 9.2: A) Boca del tanque amplia y accesible; B) Válvula de drenaje accesible; C) Escala indicadora de nivel.

9.1.1.1. Sistemas de llenado

La carga del tanque representa un aspecto de gran importancia. Los sistemas utilizados deben ser eficientes y asegurar la carga completa del tanque en el menor tiempo posible, para no afectar en demasía la capacidad de trabajo. Además, deben suministrar agua limpia, sin elementos abrasivos que originen desgastes en partes de la máquina y obstrucciones en las boquillas, y evitar la contaminación de los cursos de agua. Por este motivo, el sistema de llenado con hidroyector debe estar colocado en la parte superior del tanque, de manera que en el tubo de aspiración no haya agua contaminada con producto químico. En la actualidad se recomienda el uso de bombas específicas para mejorar la velocidad de llenado y prevenir el posible retorno del producto a los cursos de agua (Figura 9.3).

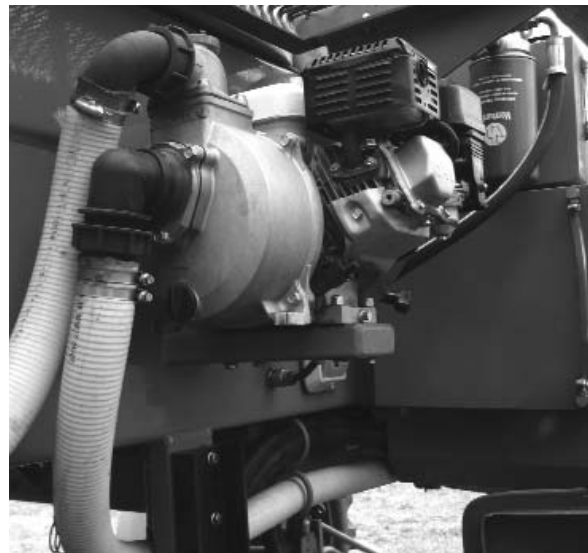


Figura 9.3. El uso de bombas de gran caudal para el llenado del tanque aumentan la capacidad de trabajo

9.1.1.2. Sistemas de agitación

Mantienen homogéneo el caldo dentro del depósito, a partir de la agitación constante del líquido. Los más utilizados son el mecánico, a través de hélices o paletas giratorias, y el hidráulico, que emplea una corriente de líquido de alta presión derivada al retorno o bien una bomba centrífuga específica que genera un alto caudal de recirculación. En estos últimos, el caudal destinado a la agitación deberá estar relacionado al volumen del tanque. Algunos investigadores consideran que debe ser recirculado por minuto un caudal equivalente al 5% de la capacidad máxima del tanque.

El sistema de agitación mecánico ha demostrado ser eficiente (Figura 9.4). No obstante, su empleo presenta un problema de índole constructivo debido a que al ingresar al depósito con un eje en movimiento se requiere de retenes especiales para mantener la estanqueidad, los que necesitan alto grado de mantenimiento. En la práctica, este sector del pulverizador se constituye en uno de los principales puntos de pérdidas de líquido.



Figura 9.4. Sistema de agitación mecánico con hélice

9.1.2. Bombas

Pueden ser accionadas por la toma de potencia del tractor y tienen como función principal impulsar el líquido a distribuir. En algunos equipos pulverizadores también cumplen la función de abastecer al sistema de agitación hidráulico a través de un inyector ubicado dentro del tanque. La potencia necesaria para accionar la bomba puede ser calculada con la siguiente ecuación:

$$N = \frac{Q_b \times P}{600 \times \eta} \quad \text{Ecuación 9.1}$$

Donde:

N: Potencia necesaria (kW).

Q_b: Caudal de la bomba (L.min⁻¹).

P: Presión de trabajo (bar).

η: Rendimiento de la bomba (entre 0,5 y 0,9).

La elección de la bomba debe realizarse en función del tipo de tratamiento y las características físicas del líquido a distribuir. Los principales parámetros para tener en cuenta son la presión de trabajo y el caudal nominal.

La presión depende del tipo de boquilla, del grado de pulverización y de la modalidad de acción del principio activo, mientras que el caudal debe ser determinado en función del máximo volumen a distribuir, de la máxima velocidad de avance a utilizar en el tratamiento, del ancho de trabajo del equipo pulverizador, y de la cantidad de líquido que debe retornar al depósito para garantizar una agitación hidráulica eficiente.

Para ello se puede emplear la siguiente expresión:

$$Q_b = \left(\left(\frac{V \times Q \times A}{600} \times 1,1 \right) + (CT \times 0,05) \right) \times K \quad \text{Ecuación 9.2}$$

Donde:

Q_b: Caudal de la bomba (L.min⁻¹).

V: Velocidad de avance (km.h⁻¹).

Q: Tasa de aplicación (L.ha⁻¹).

A: Ancho de trabajo (m).

1,1: 10% de incremento para destinar a retorno y asegurar una presión de trabajo constante.

CT x 0,05: 5% de la capacidad del tanque (CT) expresado en L.min⁻¹ (sólo para pulverizadores con agitación hidráulica dependiente de la bomba principal).

K: Coeficiente de desgaste de la bomba (1,1 - 1,2).

La confiabilidad de la bomba depende del material empleado para su construcción y de su grado de tecnología. En particular, interesa que la parte de la bomba que debe estar en contacto directo con el líquido sea resistente a la corrosión y a la abrasión, fenómeno que puede ser causado por los siguientes elementos:

- En solución (dando lugar al fenómeno de corrosión, sólo en el caso de solución ácida).
- En emulsión (por el ataque químico, en general del solvente utilizado en la preparación del producto comercial).
- En suspensión (determinando abrasión y, en algunos casos, corrosión).

9.1.2.1. Tipos de bombas

a) *De pistones*: actúan en función del movimiento rectilíneo alternativo de uno o más pistones, accionados por medio de una excéntrica o de una biela. Poseen, además, una válvula de aspiración y una de impulsión en cada cilindro (Figura 9.5).

Estas bombas pueden ser de simple o doble efecto. El caudal de la bomba varía con la sección del cilindro, la carrera del pistón, el número de cilindros y el régimen de rotación, según la siguiente fórmula:

$$Q_b = n_c \times Se \times L \times R \times mt \quad \text{Ecuación 9.3}$$

Donde:

Q_b : Caudal de la bomba ($L \cdot \text{min}^{-1}$)

n_c : Número de cilindros

Se : Área efectiva del cilindro (cm^2)

L : Carrera del pistón (cm)

R : Régimen de rotación ($\text{v}/\text{min.}$)

mt : Rendimiento total (0,6 a 0,85). Tiene en cuenta una reducción del caudal efectivo debido a pérdidas que se registran en la retención hidráulica entre el pistón y el cilindro.

En las presiones de trabajo utilizadas para tratamientos sobre cultivos herbáceos, el funcionamiento de una bomba de pistones puede considerarse volumétrico. La presión de trabajo en estas bombas puede superar ampliamente la de otros tipos de bombas.

Para hacer frente al fenómeno de la abrasión y la corrosión, las partes de la bomba que están en contacto con el producto a distribuir (camisa del cilindro, pistones, parte interna del conducto de aspiración e impulsión) se fabrican con materiales resistentes tales como acero inoxidable o cerámica.

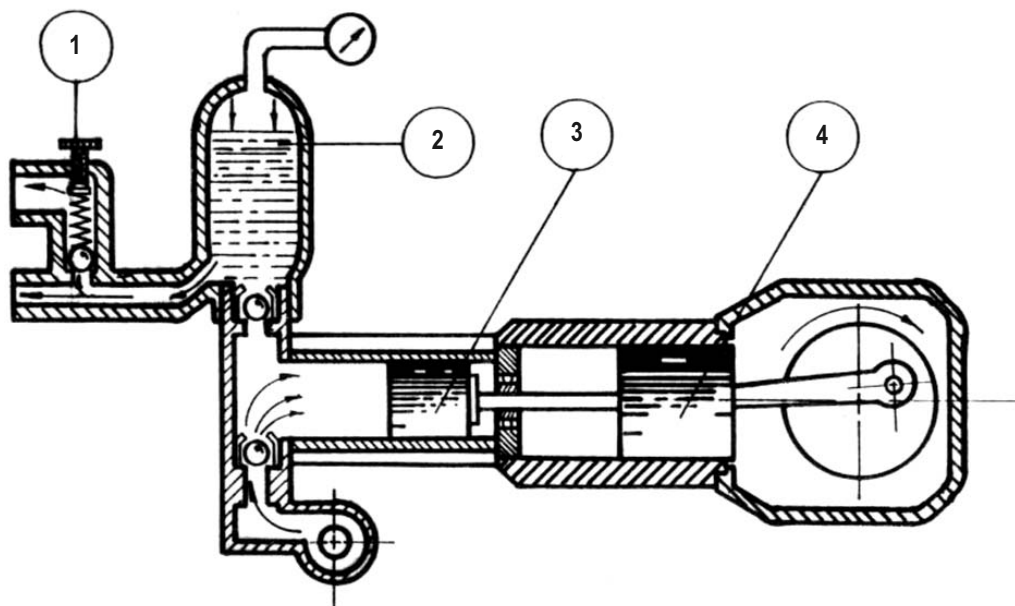


Figura 9.5. Esquema de bomba de pistones.

1) Comando regulador de presión - 2) Amortiguación de presión - 3) Pistón - 4) Guía.

b) *De pistón membrana*: están muy difundidas actualmente y se diferencian de la bomba de pistones por la presencia de una membrana elástica fijada a la pared del cilindro y ubicada sobre la cabeza del pistón, que aísla por completo la parte en movimiento de la bomba con el líquido a distribuir (Figura 9.6). Ello garantiza una buena resistencia de la bomba a la abrasión y a la corrosión. Sin embargo, la membrana puede sufrir el ataque químico de algunos solventes (por ejemplo, el xileno) utilizados en la fabricación de algunos productos comerciales. Se han desarrollado membranas con materiales resistentes a este tipo de ataques.

El pistón se caracteriza por tener una carrera muy limitada (aproximadamente 10 mm) y una amplia sección. La deformación de la membrana como consecuencia de la presión y del movimiento del pistón provoca que el volumen de la cámara de aspiración varíe, por lo que el funcionamiento resulta ser semivolumétrico y puede alcanzar presiones máximas del orden de los 30 bar.

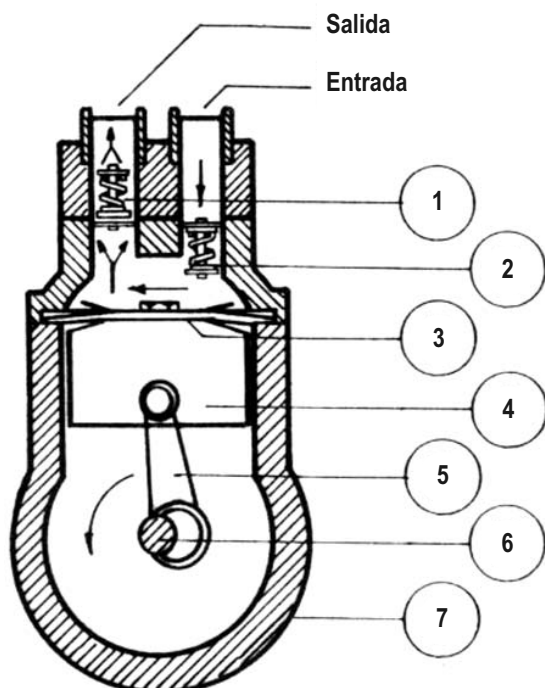


Figura 9.6. Esquema de bomba de pistón membrana.
 1) Válvula de salida - 2) Válvula de entrada - 3) Diafragma -
 4) Pistón - 5) Biela - 6) Cigüeñal - 7) Bloque.

c) *Centrifugas*: se caracterizan por tener un elevado caudal con una presión de servicio de 2 a 12 bar. Son utilizadas como bomba de llenado, bomba auxiliar para el sistema de agitación en máquinas de grandes dimensiones o en pulverizadoras diseñadas para trabajar a baja presión. También pueden ser empleadas como bomba principal en máquinas específicas para distribución de fertilizantes líquidos en suspensión.

9.1.2.2. Amortiguadores de presión

Por su principio de funcionamiento, las bombas volumétricas y semivolumétricas proporcionan un caudal irregular debido a la alternancia entre las fases de aspiración e impulsión. Esta variación determina un cambio continuo de la presión en el interior del circuito hidráulico, con efectos negativos sobre el funcionamiento del regulador de presión y principalmente sobre la pulverización del líquido.

Dicho inconveniente puede ser solucionado utilizando una bomba con un mayor número de cilindros (la fluctuación de la presión se hace despreciable con un número de cilindros superiores a cuatro) o insertando en el circuito hidráulico un amortiguador de presión. Éste consiste en una cámara de aire separada del circuito hidráulico por medio de una membrana elástica. La presión en el interior de la cámara debe ser mantenida en el rango del 60 al 80% de la presión de trabajo; por lo tanto, la presión del amortiguador debe ser corregida en función de ésta.

9.1.3. Válvulas de comando

A través de las válvulas de comando se opera y controla el equipo pulverizador. Existen diferentes diseños cuya operación puede ser manual o electrónica. El empleo de mandos mecánicos (cables o palancas) o electrónicos permite el accionamiento de las válvulas de comando a distancia, lo que simplifica el circuito hidráulico y otorga mayor seguridad al operario.

Los comandos de distribución son simples válvulas esféricas o de vástago que cumplen la única función de derivar el líquido a distintas vías de circulación dentro del circuito.

9.1.3.1. Comandos de regulación

a) *Comando regulador de presión o de caudal constante:* Éste mantiene constante la presión de servicio y, por lo tanto, el caudal de las boquillas en forma independiente de la velocidad de avance, del régimen de funcionamiento de la bomba y del número de boquillas utilizadas. Consiste en una válvula accionada por un resorte que controla el flujo del líquido a través de una derivación al depósito. Cuando la presión aumenta por encima del valor de ajuste del resorte, la válvula se abre y deja pasar parte del líquido al depósito (Figura 9.7).

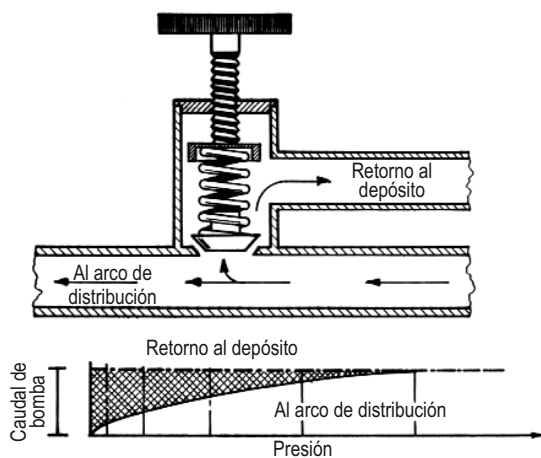


Figura 9.7. Comando regulador de presión o de caudal constante

b) *Comando regulador de caudal proporcional al régimen del motor:* presenta un retorno adicional, regulado mediante una válvula de apertura progresiva (volumétrica). La presión se regula modificando el ajuste de la válvula, la que quedará fija en dicha posición ya que no cuenta con un resorte que le permita modificar la apertura al retorno en función de los cambios de presión. Los cambios en el régimen de funcionamiento del motor afectarán la velocidad de avance pero no el volumen distribuido por unidad de superficie, ya que el caudal de la barra será siempre proporcional al de la bomba. Dado que el caudal varía en función de la variación del régimen de funcionamiento de la bomba, la presión del sistema se modificará, por lo que estas variaciones no deben exceder el rango recomendado por el fabricante de la boquilla.

c) *Comando regulador de caudal proporcional a la velocidad de avance:* se trata de una válvula de accionamiento electrónico que modifica automáticamente la presión de trabajo en función de las variaciones de la velocidad de avance. Un programa informático corrige la presión adecuando el caudal aplicado a la dosis preestablecida por el operario en la consola del equipo. La velocidad de avance es monitoreada mediante radares o sensores de rotaciones de la rueda del equipo pulverizador, y el caudal mediante caudalímetros incluidos en el circuito.

d) *Comandos de regulación proporcional por tramo:* estos regulan la presión en cada tramo de la barra, independientemente del sistema de control del caudal de pulverización. De esta manera se evita modificar la presión, inicialmente ajustada ante la apertura o cierre de algún tramo de la barra. Una vez regulada la presión de servicio se cierran y abren alternativamente cada uno de los tramos operando en su respectiva válvula para corregir la presión resultante. Realizada esta regulación, sólo deberá repetirse ante modificaciones del tipo de boquillas y permanecer invariable aún ante cambios en la regulación de la válvula principal.

9.1.4. Manómetro

Debe ser del tipo en baño de glicerina y la escala debe permitir leer la presión habitual de trabajo en su parte media. Se debe ubicar a la vista del operario desde las válvulas de comando, para que puedan apreciarse directamente los cambios de presión al actuar sobre éstas.

En la actualidad es cada vez más frecuente el uso de sistemas electrónicos de medición de la presión de trabajo.

9.1.5. Filtros

El sistema de filtrado debe asegurar la eliminación de elementos extraños que puedan impedir el correcto funcionamiento de la bomba y de las válvulas, además de provocar la obstrucción de las boquillas, lo que se hace más notorio con la utilización de boquillas de pequeño diámetro.

Se realiza en etapas sucesivas:

- a) En la boca de llenado debe colocarse un filtro tipo canasto. La dimensión de la malla debe ser del orden de 0,5 mm (30 mesh), con la finalidad de retener el ingreso de impurezas (Figura 9.8A).
- b) En el tubo de aspiración del hidrollenado o de la bomba auxiliar es indispensable colocar un filtro cilíndrico con malla de 0,5 mm.
- c) En el tubo de aspiración de la bomba debe existir un filtro de malla adecuado (aproximadamente 50 mesh) para impedir el ingreso de partículas al circuito hidráulico que puedan dañar la bomba o el sistema de regulación. Una relación muy común de la superficie filtrante respecto del caudal de la bomba es de 2,5 a 5 cm² por cada L.min⁻¹ (Figura 9.8B).
- d) Se colocará un filtro en el conducto de alimentación de la barra de pulverización, con el objeto de retener partículas muy finas que podrían atascar a las boquillas de pulverización. El tamaño de la malla dependerá del diámetro de la boquilla utilizada.
- e) En el filtro colocado en la boquilla, la dimensión de la malla deberá ser elegida en función de la dimensión del orificio de la placa. Por ejemplo, si se usan boquillas de cono con placas de 0,8 mm de diámetro, para garantizar su correcta funcionalidad se deberán retener partículas con diámetro superior a 0,6-0,7 mm.

9.2. Equipos pulverizadores hidráulicos de barra

Son equipos apropiados para realizar aplicaciones en cultivos bajos. Disponen de una estructura suspendida, dispuesta en forma paralela al suelo y perpendicular a la dirección de avance. Sobre ésta se ubican las boquillas pulverizadoras separadas unas de otras a una distancia regular que oscila entre los 0,35 y 0,50 m. La longitud de la barra determina el ancho de trabajo del equipo pulverizador y puede ser de 6 a 30 m. Las longitudes menores corresponden a máquinas montadas en el elevador hidráulico del tractor y las mayores a equipos de arrastre o autopropulsados.

9.2.1. Estabilidad de la barra

Durante el trabajo, el equipo pulverizador recibe vibraciones provenientes de las irregularidades del terreno, las que pueden ser transmitidas a la barra de forma amplificada si el equipo no cuenta con un diseño adecuado. Estas vibraciones provocan movimientos que afectan tanto a su estructura como a la distribución del producto.

Los movimientos de la barra pueden ser analizados como cambios continuos en altura y velocidad, que ocurren irregularmente y al azar.

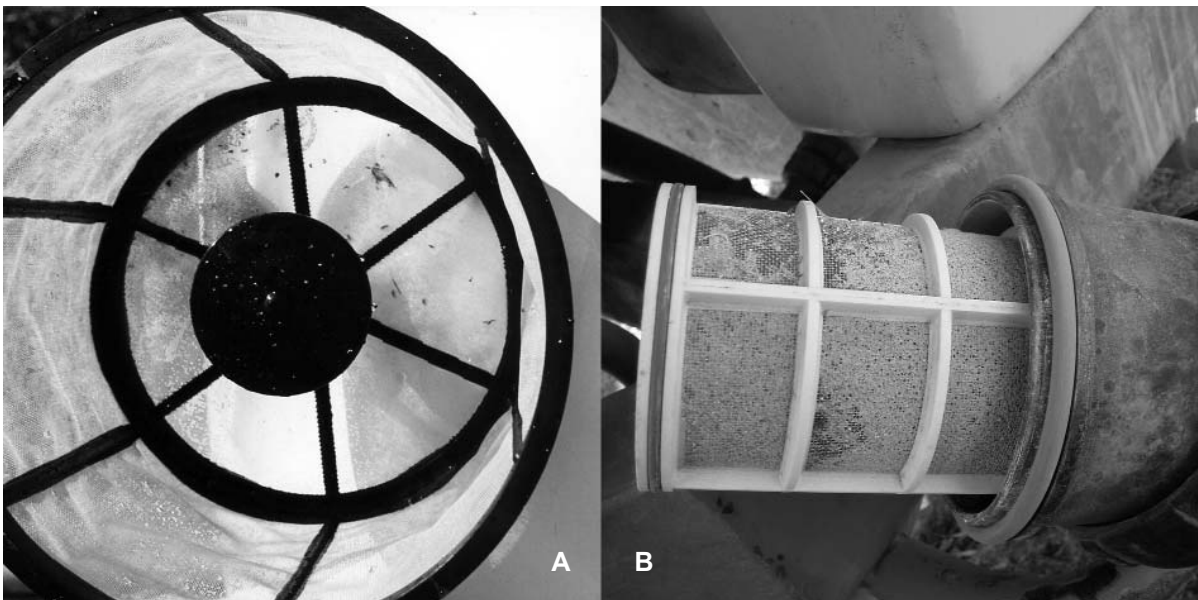


Figura 9.8. A) Filtro de la boca de llenado del tanque, B) Filtro de aspiración de la bomba

Los movimientos horizontales de la barra causan variaciones en su velocidad de avance, lo que equivale a decir que áreas de igual tamaño son cubiertas empleando tiempos diferentes. Ello trae aparejada una distribución desuniforme de la pulverización en la dirección de trabajo. El máximo valor de esta variación se produce cuando la velocidad de la barra, debido a sus propios movimientos, es igual al doble de la velocidad de avance del equipo pulverizador. En este caso se observan dos situaciones opuestas: en un determinado momento la barra estará con velocidad cero (estacionaria), y en el momento siguiente se desplazará al doble de la velocidad que el equipo (Figura 9.9).

Por otro lado, los movimientos verticales causan variaciones en la altura de las boquillas respecto del blanco de aplicación, los que se deben fundamentalmente a las irregularidades del terreno. Ellos pueden ser analizados como movimientos de la barra paralelos al nivel del suelo, o como movimientos de rotación respecto a un punto imaginario ubicado en el baricentro de la barra, producidos cuando las ruedas pisan diversas irregularidades del terreno en diferentes momentos (Figuras 9.10 y 9.11).

Estos cambios en la altura de las boquillas ocasionan defectos en la distribución, ya que la su-

perposición de la proyección varía en forma continua. Alturas de boquillas inferiores a la óptima generan una disminución en la superposición, lo que origina bandas con subaplicación y otras con sobreaplicación de producto a lo ancho de la barra.

9.2.1.1. Valoración de los movimientos

En trabajos de investigación se observó que no todos los tipos de boquillas se comportan de la misma forma ante los movimientos de la barra. Las boquillas de abanico plano son menos susceptibles a las variaciones en altura que las de cono; por este motivo son menos afectadas por los movimientos verticales. No obstante ello, debido a que producen una franja de pulverización angosta y perpendicular a la línea de avance, son más afectadas por los movimientos horizontales.

A pesar de que los movimientos horizontales de la barra generalmente se subestiman en relación a los verticales, algunas experiencias demostraron que los primeros causan variaciones siete veces superiores en la cantidad de depósito por unidad de superficie comparadas con las producidas por los movimientos verticales.

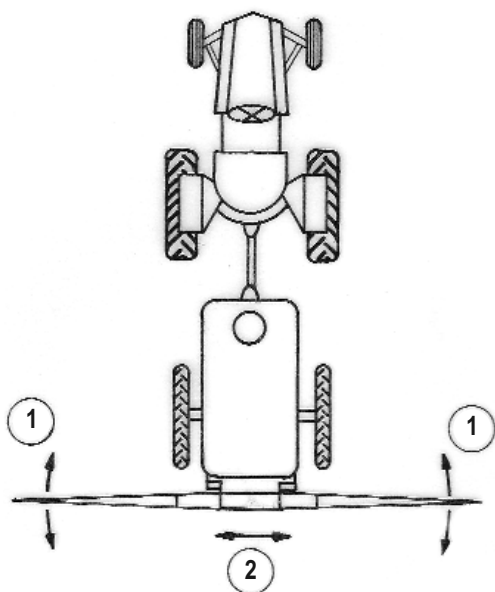


Figura 9.9. Movimientos horizontales de la barra

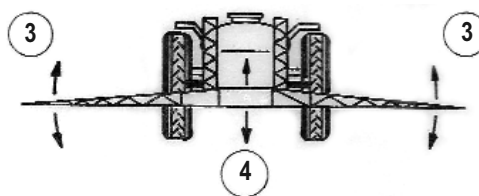


Figura 9.10. Movimientos verticales de la barra

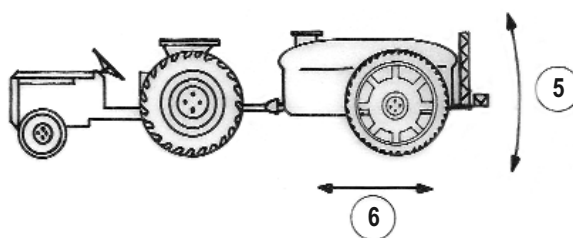


Figura 9.11. Movimientos de rotación de la barra

Existe un número importante de elementos que permiten minimizar la energía provocada por los movimientos de la barra. Es así como la masa del pulverizador, su diseño geométrico, el diámetro y el ancho de las ruedas, los mecanismos auxiliares como balancines y sistemas de estabilización, la presión de inflado y las deformaciones elásticas de la barra son aspectos a considerar para el mejoramiento de la distribución transversal y longitudinal en la aplicación de agroquímicos.

9.2.1.2. *Sistemas de aislamiento y estabilización de la barra*

Un equipo pulverizador debe poseer un mecanismo que permita aislar la barra en forma neumática o a través de resortes del resto del conjunto. Esto trae aparejada una disminución de los movimientos y de los riesgos de rotura por efecto de la fatiga de los materiales.

El uso de sistemas de estabilización minimiza los movimientos verticales (Figura 9.12), los que pueden ser pasivos o activos. Los métodos pasivos más utilizados son los de bielas o de péndulo. En los sistemas activos, la estabilización se realiza a través de sensores ultrasónicos que miden la distancia al suelo y por medio de elec-

troválvulas accionan un sistema hidráulico estabilizando el sistema.

La bibliografía internacional es coincidente en que para anchos menores a 12 m no es necesaria la incorporación de estos dispositivos. Para anchos de 12 a 18 m es imprescindible utilizar un sistema de estabilización pasivo; mientras que para anchos superiores a 18 m se requiere incorporar un sistema activo.

9.2.1.3. *Trocha y neumático*

El incremento de la trocha de la máquina y la ubicación de las ruedas próximas a la barra reducen los movimientos verticales. Al pasar de 1,5 a 2 m de trocha es posible reducir su magnitud entre el 20 y el 30%.

Los neumáticos de gran diámetro mejoran la transitabilidad y la estabilidad del equipo. Ello se ve reflejado en una disminución de la energía de disturbio que ingresa al sistema y en una mejora en la uniformidad de distribución sobre el terreno.

Algunos autores mencionan que las ruedas en tandem con balancines pueden disminuir los efectos mencionados (Figura 9.13).



Figura 9.12. Pulverizador hidráulico para cultivos bajos

9.2.1.4. Estructura de la barra

Debe ser lo más rígida posible, compatibilizando este aspecto con su peso y dimensiones. Esto permitirá disminuir los movimientos horizontales. Las articulaciones deben ser construidas de tal modo que mantengan su ajuste a través del tiempo, para evitar la generación de movimientos adicionales.

9.2.2. Equipos pulverizadores hidroneumáticos para cultivos bajos

Estos pulverizadores cuentan con un ventilador axial que genera un flujo de aire y se distribuye a lo largo de la barra por medio de un conducto horizontal provisto de una tobera en toda su extensión, ubicado en la parte inferior del conducto. El concepto es obtener una cortina de aire vertical y uniforme a lo largo de la barra, con la finalidad de proteger a la pulverización del viento atmosférico. Así se disminuye la deriva y se produce un movimiento del follaje que facilita la penetración y distribución de las gotas en toda la masa vegetal.



Figura 9.13. Equipo pulverizador con ruedas en tanden con balancines

9.3. Equipos pulverizadores hidroneumáticos para cultivos frutales

Las gotas se forman por energía hidráulica, pero su transporte hasta el objetivo se realiza por medio de una corriente de aire proveniente de un ventilador. Son equipos apropiados para llevar a cabo aplicaciones en árboles o arbustos, donde la energía cinética de las gotas por sí sola no es suficiente para obtener una distribución uniforme en todos los sectores del árbol.

Estos equipos cuentan con un ventilador de tipo axial, por lo general ubicado en la parte posterior. El aire atraviesa el ventilador en forma paralela a su eje de giro, y por este motivo es necesaria la incorporación de un conjunto de deflectores para conducir la salida del aire hacia el cultivo, donde el flujo de aire es divergente sin importar el diseño. En las toberas se ubican las boquillas hidráulicas,

de manera tal de permitir que el conjunto de gotas formadas se incorpore a la corriente de aire (Figura 9.14).

9.3.1. Transporte por corriente de aire

El concepto de este proceso es sustituir la masa de aire contenida en el interior del árbol por un volumen equivalente al agroquímico pulverizado, proveniente del ventilador del pulverizador. El caudal de aire que debe entregar dicho ventilador está relacionado con las características del monte, es decir: tipo de plantación, distanciamiento entre filas, altura de los árboles, estado vegetativo, etc. Además, como el flujo de aire del pulverizador debe desalojar el volumen de aire que tiene el árbol, se hace necesario ajustar la velocidad de avance del equipo, velocidad que debe ser tomada en cuenta para distribuir un determinado volumen de líquido por unidad de superficie.



Figura 9.14. Equipo pulverizador hidroneumático para cultivos frutales

Algunos investigadores explican que el volumen entregado por el ventilador puede ser estimado con el empleo de la expresión:

$$Q_a = \frac{A \times H \times V}{f} \quad \text{Ecuación 9.4}$$

Donde:

Q_a : caudal de aire ($m^3 \cdot h^{-1}$)

A : distancia entre filas (m)

H : altura de los árboles (m)

V : velocidad de avance ($m \cdot h^{-1}$)

f : factor de contención (entre 2 y 3).

A su vez, mencionan que el factor de contención es empírico y se define en función de las características del cultivo; por ejemplo, si el follaje es muy denso proponen el factor 2.

Por otra parte, la corriente de aire que produce el ventilador es eficaz cuando mantiene una cierta velocidad que le permite transportar el agroquímico hasta el árbol y penetrar en su interior. Si la velocidad es excesiva, provoca mayores pérdidas por deriva debido a que el producto químico atraviesa el árbol sin depositarse; en caso contrario, el producto no se distribuye uniformemente en todos los sectores del árbol. Es recomendable que en la zona central y superior del árbol el aire llegue con una velocidad de $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Valores inferiores se consideran fuera del área efectiva de acción del ventilador. La evolución de los cultivos frutícolas ha permitido incorporar cambios importantes en la tecnología de aplicación de agroquímicos. Si bien la asistencia de aire es esencial para transportar las gotas con agroquímico dentro de los árboles, presenta un aspecto negativo porque al proyectar las gotas hacia arriba provoca depósitos de agroquímicos fuera del huerto.

En los últimos años se llevaron adelante investigaciones con la finalidad de dar respuesta a la problemática planteada. Se diseñaron pulverizadores de flujo transversal, constituidos por módulos de ventiladores tangenciales con su eje de giro ubicado en un plano vertical. Estos ventiladores generan una cortina de aire muy compacta y uniforme en todo el perfil del árbol, en la que se incorpora el líquido pulverizado por las boquillas. Los equipos mencionados, además de permitir una buena distribución del producto, presentan una importante reducción de la deriva, ya que limitan la pulverización a la altura del árbol, además

de disminuir la potencia demandada.

Dando continuidad a esta línea de investigación se incorporaron túneles de pulverización con reciclado de producto, que realizan la aplicación en forma convergente sobre la planta y en un ambiente semiconfinado. El producto pulverizado no retenido sobre el árbol es interceptado por las paredes del túnel y conducido nuevamente al tanque. Estos equipos presentan resultados promisorios, por la calidad de la pulverización, el porcentaje de recuperación de producto, su eficiencia en el control y su autonomía, pero fundamentalmente por la drástica reducción de las pérdidas de producto, lo que conlleva a una importante reducción de la contaminación ambiental. No obstante, presentan baja adaptabilidad a las diversas formas de arquitectura de los árboles.

9.4. Equipos pulverizadores neumáticos

En estas máquinas el líquido es impulsado por una bomba de baja presión o simplemente se derrama por gravedad dentro de una tobera por la que circula aire, impulsado en general por un ventilador centrífugo a una velocidad que supera los $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Para variar el diámetro de las gotas se recurre a modificar la relación entre los flujos de líquido y de aire. Por lo tanto, si se quiere aumentar el tamaño de las gotas se puede disminuir la velocidad del aire o aumentar el caudal de líquido.

La población de gotas resulta de menor diámetro y más uniforme que la obtenida con la técnica de pulverización hidráulica. En algunos casos, el coeficiente de homogeneidad puede llegar hasta 8. La energía de la corriente de aire que favorece la formación de las gotas es utilizada para transportarlas hasta el objetivo. Como se requieren volúmenes de aire importantes con velocidades elevadas, la energía necesaria para este tipo de pulverización es mayor que en una pulverización hidráulica.

Estas máquinas se adaptan satisfactoriamente a tratamientos localizados en zonas de difícil penetración, como puede ser el racimo de la vid. No obstante, tienen dificultades para mantener la dosis constante y pueden presentar baja homogeneidad cuando existen varios orificios de salida de líquido con conductos de aire diferentes.

9.5. Referencias consultadas

- Balsari, P.; Airoldi, G. 1993. Macchine per la distribuzione dei fitofarmaci e per il controllo delle malerbe nelle colture erbacee. SAVE, 153 pp.
- Honorato, A.; Tesouro, O. 2006. Pulverizaciones agrícolas terrestres. Ediciones INTA. 159 pp.
- Magdalena, C.; Di Prinzi, A. 1992. La pulverizadora frutícola. Características y operación. 8 pp.
- Matthews, G.A. 2000. Pesticide Application Methods. 3a Ed. Blackwell Science. 405 pp.
- Musillami, S. 1982. Les traitements par pulvérisation et les pulvérisateurs en agriculture. Tome I, Généralités sur les pulvérisations pour les traitements des cultures. Ed. CEMAGREF. 52 pp.

Capítulo 10

Regulación de equipos pulverizadores

Homer, I.; Olivet, J.; Riquelme J.

- 10.1. INTRODUCCIÓN
- 10.2. TASA DE APLICACIÓN Y TAMAÑO DE LAS GOTAS
- 10.3. PROCEDIMIENTO PARA LA REGULACIÓN DE EQUIPOS PULVERIZADORES
 - 10.3.1. CONTROL ESTÁTICO
 - 10.3.2. CONTROL DINÁMICO
 - 10.3.3. REGULACIÓN
 - 10.3.3.1. TASA DE APLICACIÓN
 - 10.3.3.2. CAUDAL DE APLICACIÓN
 - 10.3.3.3. ANCHO DE TRABAJO
 - 10.3.3.4. VELOCIDAD DE AVANCE
- 10.4. REGULACIÓN DE EQUIPOS PULVERIZADORES DE BARRA PARA CULTIVOS BAJOS CON REGULADOR DE PRESIÓN CONSTANTE Y REGULADOR DE CAUDAL PROPORCIONAL A LA VELOCIDAD DEL MOTOR
 - 10.4.1. DEFINICIÓN DE LA TASA DE APLICACIÓN
 - 10.4.2. ANCHO DE TRABAJO
 - 10.4.3. VELOCIDAD DE AVANCE
 - 10.4.4. ELECCIÓN DE LA BOQUILLA Y DE LA PRESIÓN DE TRABAJO
- 10.5. PROCEDIMIENTO DE REGULACIÓN PARA PULVERIZADORES CON REGULADOR DE CAUDAL PROPORCIONAL A LA VELOCIDAD DE AVANCE
- 10.6. ASPECTOS PUNTUALES PARA EQUIPOS DE ESPALDA O MOCHILAS
- 10.7. REGULACIÓN DE EQUIPOS PULVERIZADORES NEUMÁTICOS E HIDRONEUMÁTICOS PARA FRUTALES
 - 10.7.1. REGULACIÓN DEL AIRE
 - 10.7.1.1. REGULACIÓN DE LOS DEFLECTORES (DIRECTRICES) DE AIRE
 - 10.7.2. REGULACIÓN HIDRÁULICA
- 10.8. VOLUMEN DE LA FILA DE ÁRBOLES (TRV)
- 10.9. REFERENCIAS CONSULTADAS

10.1. Introducción

Se entiende por regulación de un equipo pulverizador a los procedimientos de ajuste para lograr la distribución de la tasa exacta de un agroquímico con la mayor homogeneidad posible sobre un blanco determinado.

Según el Diccionario de la Real Academia Española, regulación significa “*Ajustar el funcionamiento de un sistema a determinados fines*”. También es muy frecuente el uso de la palabra calibración para identificar los procedimientos de ajuste de las máquinas pulverizadoras, probablemente debido a la traducción literal de textos de habla inglesa. Sin embargo, por calibración se entiende “*Ajustar, con la mayor exactitud posible, las indicaciones de un instrumento de medida con los valores de la magnitud que ha de medir*”. Vistas estas definiciones, el término regulación sería el más adecuado a los asuntos que a este capítulo conciernen.

El blanco por alcanzar puede estar más o menos expuesto a la pulverización. En algunos casos, como las aplicaciones con herbicidas pre-emergentes o aquellas realizadas sobre un cultivo herbáceo de poco desarrollo, la aplicación se puede orientar a obtener la distribución homogénea de la tasa deseada por unidad de superficie. En estas situaciones es relativamente fácil obtener buenos resultados, tanto en distribución como en eficacia y contaminación reducida.

Sin embargo, generalmente el blanco es tridimensional, por lo cual el objetivo debe ser, además, lograr la penetración dentro del follaje. Peor aún, muchas plagas se desarrollan en el envés de las hojas, lugar que en ocasiones es inalcanzable por la pulverización.

Cuando se pretende regular un equipo pulverizador se suponen conocidos algunos aspectos:

- existe un problema fitosanitario a resolver, se sabe sobre los agroquímicos adecuados, los coadyuvantes necesarios y las dosis recomendadas,

- se ha elegido el tipo de equipo pulverizador,
- se ha decidido la tasa de aplicación (L.ha⁻¹ de caldo),
- se ha decidido el tipo de boquilla de pulverización a usar,
- se ha decidido el tamaño de gotas a emplear.

Si lo anterior está resuelto, la regulación es ya un problema menor.

10.2. Tasa de aplicación y tamaño de las gotas

Existe abundante información sobre qué agroquímico utilizar y sus respectivas dosis. Las empresas que fabrican y comercializan estos productos realizan los ensayos necesarios para determinar las dosis más adecuadas para cada cultivo y plaga. Los centros de investigación mantienen programas permanentes de evaluación de productos y generan información independiente que garantiza su desempeño en condiciones locales. Las autoridades exigen ensayos para el registro de los productos en cada país. Así aparecen en la etiqueta las dosis recomendadas para cada situación.

Sin embargo, la recomendación sobre tasa de aplicación, tamaño de gotas a utilizar y densidad de impactos necesaria es una información pocas veces disponible, ya que no se exigen ensayos para su determinación. A veces, cuando se dispone de la información en la etiqueta, ésta se encuentra desactualizada, no ha sido generada para ese producto, o simplemente no ha sido avalada a través de la experimentación.

Por citar un ejemplo, bajo el apartado “Método de Aplicación”, en la etiqueta de un producto se establece como único comentario.

“Se puede aplicar con equipos terrestres de alto o bajo volumen o con equipos aéreos”

Poco se puede hacer con esta información. En otra etiqueta correspondiente a un herbicida se lee:

“Pulverizadores terrestres; los pulverizadores deben estar provistos de barra pulverizadora dotada de boquillas de abanico plano, el consumo de estos equipos suele oscilar entre 80 y 100 L.ha⁻¹ correspondiendo que el mismo sea verificado a una marcha regular (8-10 km.h⁻¹) controlando simultáneamente el funcionamiento de la bomba y que la misma tenga una presión constante (30 – 40 lbs/pulg²)”.

Este tipo de información, algo más detallada, proviene de una época en que la única boquilla diferente a la de cono hueco era la de abanico plano convencional. Las aplicaciones terrestres eran lentas, porque no había equipos autopropulsados que trabajaran a más de 15 km.h⁻¹. La baja presión de trabajo indica la preocupación de no producir gotas demasiado finas.

Yendo a ejemplos más modernos, se puede hallar este tipo de información, aunque no con demasiada frecuencia:

“Aplicar con volúmenes de agua entre 80 y 120 L.ha⁻¹ (15 a 30 L.ha⁻¹ en aplicación aérea). Cobertura de 20 a 30 gotas cm⁻². Tamaño de gotas de 400 a 600 μm”

Para asegurar la efectividad de una aplicación, el fabricante del producto debería aportar los siguientes datos:

- tasa de aplicación mínima y máxima relacionada con el desarrollo del cultivo o maleza;
- tamaño de gotas según clasificación internacional;
- densidad de impactos por cm⁻².

Si dicha información estuviera disponible en la etiqueta, la regla general debería ser el cumplimiento de las instrucciones. En los países latinoamericanos no es obligatorio aplicar a las tasas indicadas en la etiqueta, pero salvo mejor información, deberá tomarse ésta como punto de partida. Lamentablemente, al momento de decidir cómo realizar una aplicación es el usuario quien debe tomar la mayoría de las decisiones.

A pesar de lo expuesto, se han desarrollado algunos métodos para la determinación de la tasa de aplicación, sobre todo en frutales, donde la cobertura y la penetración ofrecen mayores dificultades. Dentro de ellos, el más usado es el TRV (*Tree Row Volume*, o volumen de la fila de árboles).

Con respecto a las gotas, cuando se hace referencia a su tamaño en forma cualitativa deben utilizarse las categorías aceptadas internacionalmente. A esos efectos, la norma ASAE S572 establece las boquillas de referencia (con su respectiva presión de trabajo) que separan las diferentes categorías en: muy finas, finas, medias, gruesas, muy gruesas y extremadamente gruesas.

Como se mencionó en capítulos anteriores, los ensayos de laboratorio suelen indicar mayor eficacia de los agroquímicos con menor tamaño de gotas. Sin embargo, a nivel de campo no se verifican los mismos resultados. Son excepcionales las condiciones meteorológicas en las cuales podría aceptarse una aplicación con gotas muy finas. Por otro lado, las propiedades aerodinámicas de las gotas finas o muy finas determinan una rápida pérdida de velocidad una vez que salen de las boquillas, y su trayectoria queda dependiente de la intensidad y dirección del flujo de aire existente.

Cuando se observan ensayos donde se cuenta el número de gotas recolectado en diferentes partes de los cultivos a distintas alturas o profundidades, es frecuente notar que su densidad espacial es mayor cuanto más pequeñas son. Estos resultados inducen al investigador a concluir sobre las ventajas de su empleo. Sin embargo, unas pocas gotas gruesas o muy gruesas podrían estar conteniendo una dosis de agroquímico mucho mayor al contenido en el depósito de gotas finas.

Tabla 10.1. Densidad de impactos y recuperación obtenida sobre hojas de soja con dos boquillas de diferente tamaño de gotas.

Boquilla	Presión (bar)	DMV (μm)	Clasificación (ASAE S572)	Deposición ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)	Impactos cm^{-2}
AI11003*	4	532	muy gruesas	0.1296	19,8
DG11003*	4	301	Medias	0.1043	39,8

*Boquillas de abanico plano con inducción de aire y preorificio marca Teejet.

En la Tabla 10.1 se observa que, a pesar de que la boquilla de gotas medias obtiene el doble número de impactos, esto no se ve reflejado en la cantidad depositada. El tamaño de gotas es el principal factor que debe considerarse por su importancia en la sustentabilidad de las aplicaciones de agroquímicos.

Con respecto a la densidad de impactos por unidad de superficie existen recomendaciones generales que ya fueron mencionadas. Éstas pueden ser de utilidad cuando se emplean sobre blancos planos perpendiculares a la proyección de las gotas y sin obstáculos entre las boquillas y el colector. Cuando los colectores se colocan dentro del follaje o se usan las mismas hojas del cultivo como colectores, los valores obtenidos suelen ser notoriamente inferiores. En este caso, los valores de referencia pasan a tener poco valor como orientación.

10.3. Procedimiento para la regulación de equipos pulverizadores

Previo a la regulación del equipo, resulta necesario verificar que éste se encuentre en condiciones adecuadas para su empleo, tanto en los aspectos funcionales como de seguridad.

10.3.1. Control estático

El procedimiento de control es similar a la inspección del equipo pulverizador realizada por organismos certificadores públicos o privados, pero llevada a cabo por el usuario.

Esta "autorevisión" tiene la finalidad de mantener al equipo en condiciones operativas durante cada ciclo productivo. Para ello es necesario seguir una rutina que contemple el control de la presencia y el estado de los elementos de seguridad y las partes mecánicas.

10.3.2 Control dinámico

Continuando con la autorevisión, se debe llevar a

cabo un control dinámico para asegurar la funcionalidad y armonización del conjunto tractor-equipos pulverizador.

En este sentido, se deberá verificar el funcionamiento del circuito hidráulico, para lo cual se desactiva la válvula reguladora de presión y se pone en marcha el equipo a un régimen bajo, a fin de observar el comportamiento de las partes mecánicas y detectar posibles pérdidas de líquido. En caso de tratarse de un pulverizador hidroneumático debe desconectarse el ventilador previamente.

A continuación se coloca el pulverizador al régimen y presión de trabajo aconsejados. En los pulverizadores de barras, el régimen de trabajo suele ser menor a las $540 \text{ v}\cdot\text{min}^{-1}$ de la toma de potencia. Debido a la baja potencia requerida por la bomba, la operación a un régimen inferior permite ahorro de combustible, siempre que la reducción del caudal de la bomba no afecte al caudal de las boquillas y al funcionamiento del sistema de agitación.

Luego se verifica el funcionamiento del regulador de presión y que la presión se mantenga constante al cerrar o abrir sectores o arcos de pulverización. Se deberá observar el correcto funcionamiento de boquillas y válvulas antigoteo. Para este procedimiento se debe contar con un manómetro de adecuada precisión y sensibilidad. En el caso de las máquinas pulverizadoras de barra se debe verificar que el caudal de cada una de las boquillas no sobrepase en más o en menos el 10% del caudal original de la boquilla para la presión correspondiente.

En los pulverizadores hidroneumáticos, verificar que la toma de potencia del tractor alcance el régimen de $540 \text{ v}\cdot\text{min}^{-1}$ bajo carga, es decir, con el ventilador conectado y a la presión de servicio definida. Para este procedimiento se emplea un tacómetro óptico que permite controlar, a su vez, el funcionamiento del tacómetro del tractor.

10.3.3. Regulación

Para regular el equipo pulverizador se debe contar con información sobre éste y el cultivo. Los factores que permiten ajustar los requerimientos del cultivo con las prestaciones del equipo están vinculados en las siguientes expresiones:

$$Q = \frac{Q_t \times 600}{A \times V} \quad \text{Ecuación 10.1}$$

Donde:

Q: tasa de aplicación ($L \cdot ha^{-1}$)

Q_t: caudal total de boquillas ($L \cdot min^{-1}$)

A: ancho de trabajo (m)

V: velocidad de avance ($km \cdot h^{-1}$)

600: factor de conversión de unidades

10.3.3.1. Tasa de aplicación

La tasa de aplicación está relacionada con la buena cobertura del producto sobre el blanco a tratar. La mayor complejidad de distribución del producto se presenta en los huertos frutales. Debido a la dificultad para determinar la tasa de aplicación en árboles, se han desarrollado métodos de cálculo. El más usado es el TRV.

10.3.3.2 Caudal de aplicación

Es el caudal entregado por todas las boquillas en la barra, o bien por el arco de pulverización independientemente de su distribución. Se mide con

jarras graduadas (Figura 10.1.A y B) u otro sistema similar.

10.3.3.3. Ancho de trabajo

También llamado ancho operativo, coincide aproximadamente con la longitud de la barra en equipos pulverizadores para cultivos bajos, y se calcula multiplicando el número de boquillas por su espaciamiento. En el caso de los frutales suele ser la distancia entre hileras, pero ello dependerá de que se aplique hacia uno o dos lados del equipo en todas las filas o en filas alternadas.

10.3.3.4. Velocidad de avance

La velocidad de avance se define de acuerdo con las características del equipo pulverizador y del caudal de las boquillas, con el objeto de aplicar la tasa recomendada. En los equipos hidroneumáticos, la velocidad tendrá un papel fundamental en las prestaciones del ventilador y deberá adecuarse para que éste pueda reemplazar en forma correcta el aire del interior del árbol por el agroquímico pulverizado.

Los datos resultantes de este proceso de regulación deben registrarse identificando el equipo pulverizador. Resulta práctico confeccionar, además, una ficha resumen de la regulación para que el operario pueda encontrar en ella los parámetros a verificar previo a cada aplicación.



Figura 10.1: A) Regulación de una máquina pulverizadora de barras; B) Regulación de un equipo pulverizador hidroneumático para frutales

10.4. Regulación de equipos pulverizadores de barra para cultivos bajos con regulador de presión constante y regulador de caudal proporcional a la velocidad del motor

El equipamiento necesario para proceder a la regulación de una pulverizadora es el siguiente: cinta métrica, probetas o jarras graduadas de 1 ó 2 litros y cronómetro. Una sola persona mínimamente adiestrada puede llevar a cabo la regulación.

Las relaciones de utilidad al momento de la regulación son:

$$Q_t = \frac{Q \times A \times V}{600} \quad \text{Ecuación 10.2}$$

$$\text{Cantidad de agroquímico a diluir} = \frac{C}{Q} \times \text{dosis} \quad \text{Ecuación 10.3}$$

Donde:

C: capacidad del tanque de la máquina pulverizadora (L)

10.4.1. Definición de la tasa de aplicación

Tomando en cuenta la información de la etiqueta y las recomendaciones técnicas se define la tasa de aplicación.

10.4.2. Ancho de trabajo

Se determina multiplicando el número de boquillas por la distancia entre ellas.

10.4.3. Velocidad de avance

En función de las condiciones operativas y técnicas se establece la velocidad de aplicación. Se selecciona una marcha que permita compatibilizar el rendimiento del equipo con la estabilidad del botalón y la seguridad en el trabajo. La selección de la marcha del tractor deberá realizarse en el campo a tratar. Si el equipo está dotado de una bomba de caudal elevado no será necesario trabajar con la toma a 540 v.min⁻¹. Es posible ahorrar combustible usando un cambio más largo y reduciendo la velocidad de giro del motor. Además, se contará con un menor nivel de ruido del tractor.

Para verificar esa velocidad real de trabajo se determina el tiempo empleado en recorrer una distancia conocida.

10.4.4. Elección de la boquilla y de la presión de trabajo

A partir de la velocidad real de trabajo y mediante la ecuación 10.2 se calcula el caudal que deben entregar las boquillas, (*q*). Con la ayuda de las tablas de selección de boquillas suministradas por el fabricante se elige una de acuerdo con el caudal calculado. Para ello se debe compatibilizar la presión y el caudal seleccionados con el tamaño de gotas requerido para el tratamiento y las condiciones de trabajo.

El caudal de la boquilla debe ser verificado en condiciones de trabajo mediante el empleo de caudalímetros o jarras graduadas (Figura 10.1.A).

La tasa de aplicación determinada no debería diferir mucho de aquella prevista al elegir la boquilla. Sin embargo, si hubiera necesidad de ajustarla se podrían utilizar las siguientes opciones:

- Si la diferencia entre la tasa deseada y la observada fuera menor a 10%, la forma más sencilla de ajuste sería modificar la presión.

$$\text{Visto que: } \left(\frac{Q_o}{Q_1} \right)^2 = \left(\frac{P_o}{P_1} \right) \quad \text{Ecuación 10.4}$$

si $Q_o/Q_1 = 1,1$ entonces $P_o/P_1 = 1,21$

Donde:

Q_o: Tasa de aplicación deseada

Q₁: Tasa de aplicación observada

P_o: Presión deseada

P₁: Presión observada

Un ajuste de la tasa de aplicación en un 10% implica una variación máxima de presión del 21% y en el DMV menor al 5%. De cualquier manera, debe observarse que dicha modificación se encuentre dentro del rango recomendado de uso, según las tablas del fabricante de las boquillas.

- Si la tasa fuera un 10% mayor a la deseada, también puede ajustarse mediante la reducción del régimen del motor, lo que modificará la velocidad de avance.

En este caso se debe considerar que esta reducción del régimen no comprometa el caudal que la bomba destina a las boquillas y al retorno.

- Si la diferencia entre la tasa deseada y la observada superara el 20%, la mejor manera de ajuste sería el cambio de boquilla por otra de caudal adecuado.

10.5. Procedimiento de regulación para pulverizadores con regulador de caudal proporcional a la velocidad de avance

La mayor parte de los equipos empleados en agricultura están dotados de reguladores de caudal electrónicos proporcionales a la velocidad de avance. De esa forma, una vez que el operador elige la tasa de aplicación en la computadora del equipo, el regulador varía la presión de trabajo para adaptarse a los cambios de velocidad de avance dados por la topografía (bordes, árboles, zanjas) o por el operador. Al ser de velocidad variable, el procedimiento anterior es de escaso o nulo valor.

No existen procedimientos consensuados para la verificación de la proporcionalidad del caudal con la velocidad de avance. Sin embargo, en los equipos con regulador de caudal proporcional al avance se debe verificar que:

- los sensores de velocidad, caudal y presión han sido calibrados. Los fabricantes proveen procedimientos detallados para su calibración;
- la respuesta del sistema frente a cambios de velocidad o apertura y cierre de sectores es suficientemente rápida para que las variaciones localizadas en la tasa de aplicación ocupen la menor área posible del campo bajo tratamiento.

La norma EN 12761-2:2001 establece que a los siete segundos luego de haber abierto o cerrado sectores de la barra o haber modificado la velocidad de avance, la tasa de aplicación no puede variar en más de un 10% con respecto a la deseada. Además, las desviaciones aceptables de la tasa de aplicación son de un máximo de 6% para la

desviación media y de un 3% para el coeficiente de variación luego de siete determinaciones consecutivas.

Dilución del agroquímico en el tanque

A través de la ecuación 10.3 se calcula la cantidad de agroquímico a diluir en el tanque de la máquina pulverizadora.

Con el equipo en marcha y el tanque cargado por la mitad con agua se procede a realizar la dilución del o los agroquímicos en el siguiente orden:

- 1°) líquidos solubles,
- 2°) polvos mojables,
- 3°) concentrados emulsionables,
- 4°) emulsiones,
- 5°) coadyuvantes.

Posteriormente se completa la capacidad del tanque.

10.6. Aspectos puntuales para equipos de espalda o mochilas

En equipos portátiles, como sería el caso de bombas de espalda o mochilas, las regulaciones deben priorizar la comodidad del operario. Tanto la toma de tiempo al recorrer la distancia prefijada como la medida de la descarga de la boquilla deben realizarse en un régimen tal que el operario pueda mantener su ritmo en el tiempo sin fatigarse. El resto del procedimiento de regulación es el mismo que para los equipos de barra utilizados en cultivos bajos.

Si se requiere pulverizar un viñedo o un huerto frutal con mochila, ésta se puede regular mediante el siguiente método:

- 1- Efectuar una aplicación con agua sobre diez plantas y verificar la cobertura con papel hidrosensible.
- 2- Medir el volumen de líquido utilizado volviendo a completar el tanque.
- 3- Con los valores obtenidos se determina la tasa de aplicación.
- 4- En función de la dosis de producto químico recomendado por hectárea, determinar la cantidad de producto que se requiere mezclar por tanque.

10.7. Regulación de equipos pulverizadores neumáticos e hidroneumáticos para frutales

Los equipos neumáticos e hidroneumáticos presentan una doble regulación. En primer lugar, se debe definir la velocidad de avance para poder entregar la cantidad de aire necesario que reemplace el aire del interior del árbol por el nuevo cargado con el agroquímico (Ecuación 9.4). Luego, debe elegirse una marcha del tractor que pueda suministrar la velocidad de avance para un régimen de 540 v.min⁻¹ en la toma de potencia. Posteriormente, y con la velocidad definida por las posibilidades del tractor, se regula el sistema hidráulico.

10.7.1. Regulación del aire

Los pulverizadores permiten regular el caudal a través del grupo multiplicador, ángulo de las palas, predistribuidor y la dirección del flujo por medio de deflectores. La regulación del aire es tan importante como la de la parte hidráulica, ya que éste será el encargado de llevar la gota hasta el lugar de destino. Una baja cantidad de aire o un mal direccionamiento generarán pérdidas o deficiencias en la aplicación.

Las posibilidades de regulación dependerán de los equipos pulverizadores. En el caso de los más antiguos sólo se podrá conectar y desconectar el ventilador.

En la Tabla 10.2 se muestra la información de caudal de aire de un equipo moderno, con sus variaciones para dos regulaciones de multiplicador y cuatro regulaciones de los álabes. Además, me-

dante el ajuste del ancho de la salida de aire se pueda regular su velocidad entre 18 m.s⁻¹ y 38 m.s⁻¹. Con los datos presentados en la Tabla es posible ajustar la velocidad de avance con menos limitaciones operativas.

10.7.1.1. Regulación de los deflectores (directrices) de aire

La forma más fácil de comprobar hacia dónde va dirigido el aire es colocar cintas plásticas en el arco de la máquina, de modo que al hacer funcionar el ventilador quede definida la dirección del flujo de aire (Figura 10.2.A).

Otro método de regulación de los deflectores es el uso de banderillas en un mástil junto al árbol, como se puede apreciar en la Figura 10.2.B. De esta manera puede definirse en forma práctica un perfil anemométrico acorde a las necesidades.

10.7.2. Regulación hidráulica

Posteriormente a determinar la velocidad de trabajo se definirá el caudal apropiado de las boquillas según la ecuación 10.2. El valor de la tasa de aplicación será determinado por un método de estimación (TRV) detallado más adelante.

Con la información obtenida en el procedimiento anterior se seleccionan las boquillas y la presión de trabajo según las tablas entregadas por el fabricante. Para lograr una distribución uniforme de depósitos sobre el árbol, las boquillas deberán entregar caudales diferenciales según la posición en que se encuentren en el arco y su área de cobertura (Figura 10.3).

Tabla 10.2 Caudales de aire disponibles en un equipo moderno (Fuente: Adaptado de Teyme, 2009).

Posición álabes		A		B		C		D	
Velocidad multiplicador		I	II	I	II	I	II	I	II
RPM									
350	m ³ .h ⁻¹	25.100	34.100	35.100	44.300	39.900	49.500	47.000	59.800
400	m ³ .h ⁻¹	29.800	38.200	40.800	50.500	45.600	56.700	52.500	70.000
450	m ³ .h ⁻¹	34.500	45.100	47.500	56.000	52.800	64.100	63.100	78.200
500	m ³ .h ⁻¹	37.000	48.300	52.600	64.200	59.900	72.100	68.400	86.300
540	m ³ .h ⁻¹	39.300	53.800	57.100	68.500	62.900	77.300	73.600	94.500

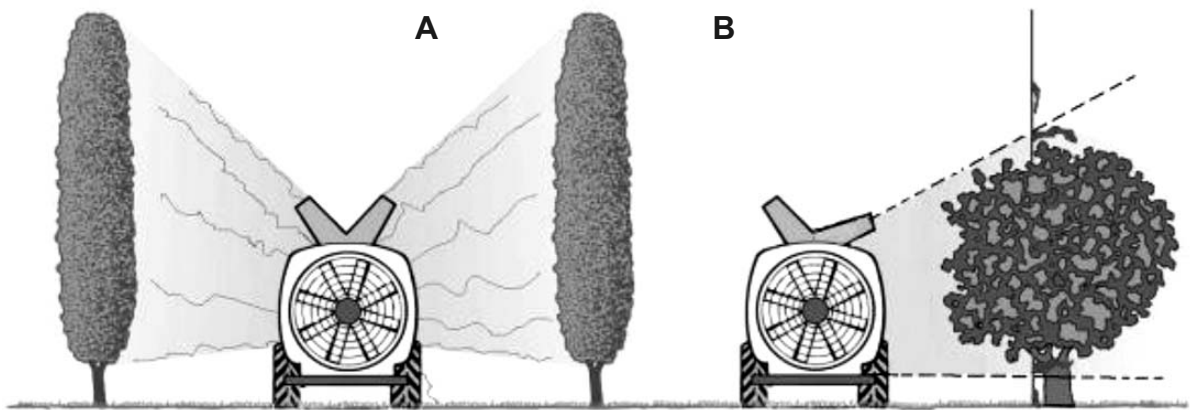


Figura 10.2. Visualización de la dirección del aire: A) Mediante cintas colocadas en la máquina; B) Mediante banderillas colocadas en el árbol.

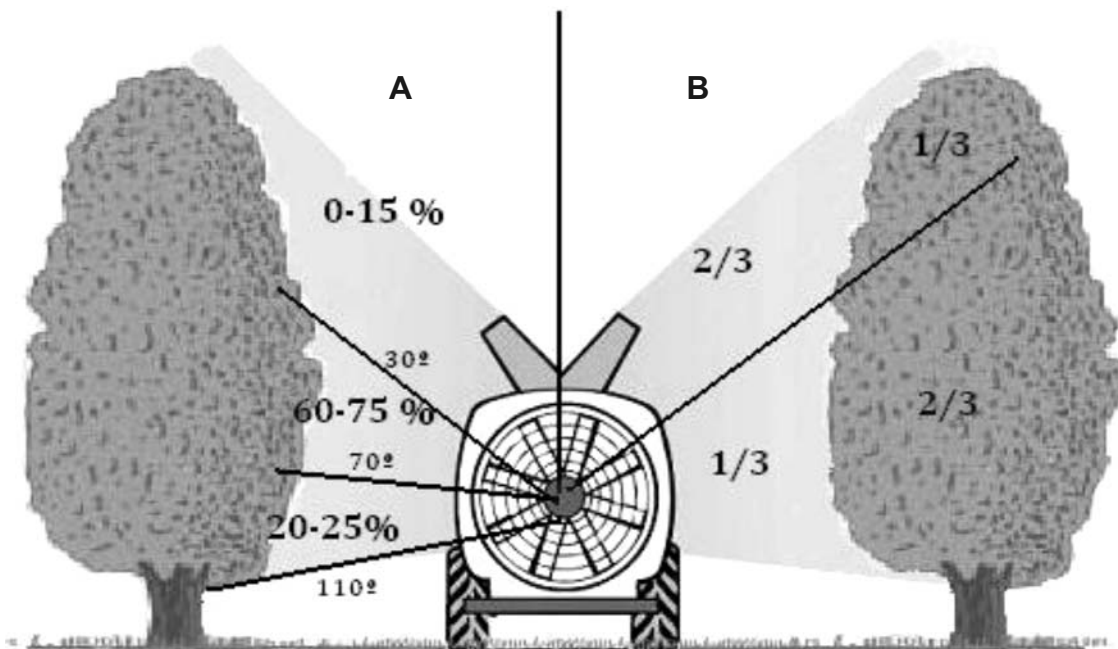


Figura 10.3. Dos opciones de distribución del caudal de las boquillas: A) La parte central del arco entrega más caudal; B) Al tercio superior del árbol van dos tercios del caudal y a la parte media baja del árbol va un tercio del caudal.

Las variaciones en la presión de trabajo para lograr una mayor penetración del producto no son justificables en este tipo de máquinas, ya que dicha función le está asignada a la corriente de aire.

Por último, la regulación global de la máquina debe realizarse en terreno. Para evaluar la calidad de la aplicación se pueden utilizar papeles hidrosensibles u otros métodos, poniendo énfasis en los sectores altos e internos del árbol (Figura 10.4).

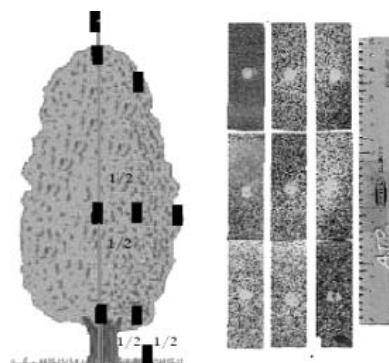


Figura 10.4 Distribución de papeles hidrosensibles en el árbol

10.8. Volumen de la fila de árboles (TRV)

En frutales, la dosis de agroquímico por hectárea queda determinada por la tasa de aplicación (Q), dado que la cantidad de producto indicada en las etiquetas viene expresada en concentración, ya sea en gramos o mililitros cada 100 litros de caldo. Este panorama es muy diferente de los cultivos agrícolas.

Las grandes variaciones entre especies, marco de plantación y densidad del follaje en los montes frutales han determinado la necesidad de desarrollar métodos específicos de cálculo de esa tasa.

El más usado es el TRV, por el cual se considera a la fila de árboles como una caja de un volumen determinado, donde cada metro cúbico debe ser tratado con una cantidad específica de líquido (Figura 10.5). Para su cálculo se emplean las siguientes expresiones:

Donde:

$$TRV = \frac{e * H * 10.000}{A} \quad \text{Ecuación 10.5}$$

$$Q = TRV * V_a * i \quad \text{Ecuación 10.6}$$

TRV : Volumen de la fila de los árboles ($m^3 \cdot ha^{-1}$)

e : Espesor de la fila de árboles (m)

H : Altura de la fila de árboles (m)

A : Distancia entre filas (m)

Q : Tasa de aplicación (L/ha)

V_a : Volumen de líquido por unidad de volumen de árbol ($L \cdot m^{-3}$)

i : Índice de ajuste de densidad foliar (0,7 a 1)

10.000: Factor de conversión de unidades

En zonas frutícolas de Estados Unidos, específicamente para el cultivo de manzanas, el factor V_a fue ajustado en aplicaciones con alto volumen, a $0,0937 L \cdot m^{-3}$ y validado en la región frutícola de la Patagonia Argentina. En general, se considera que la tasa de aplicación resultante del uso de este valor produce aplicaciones de alto volumen cercano al punto de goteo, por lo que no se recomienda sobrepasarla. En caso de pretender aplicar a volumen menor, se debe mantener la dosis estimada concentrando el caldo de aplicación.

El índice de ajuste de densidad foliar considera los estados fenológicos, manejo del cultivo, tamaño de las plantas e intensidad de la poda, y oscila entre valores desde 0,7 para árboles muy abiertos o jóvenes hasta 1 para árboles extremadamente grandes y densos. El concepto del TRV también ha sido utilizado en cultivos hortícolas, donde las grandes variaciones de área foliar de cultivos como el tomate u otros requieren ir ajustando la tasa de aplicación a lo largo del ciclo. En este caso, algunos autores han optado por llamarle PRV (*Plant Row Volume*) Los trabajos experimentales han demostrado su total aplicabilidad en esos cultivos, incluso con similares factores de aplicación.

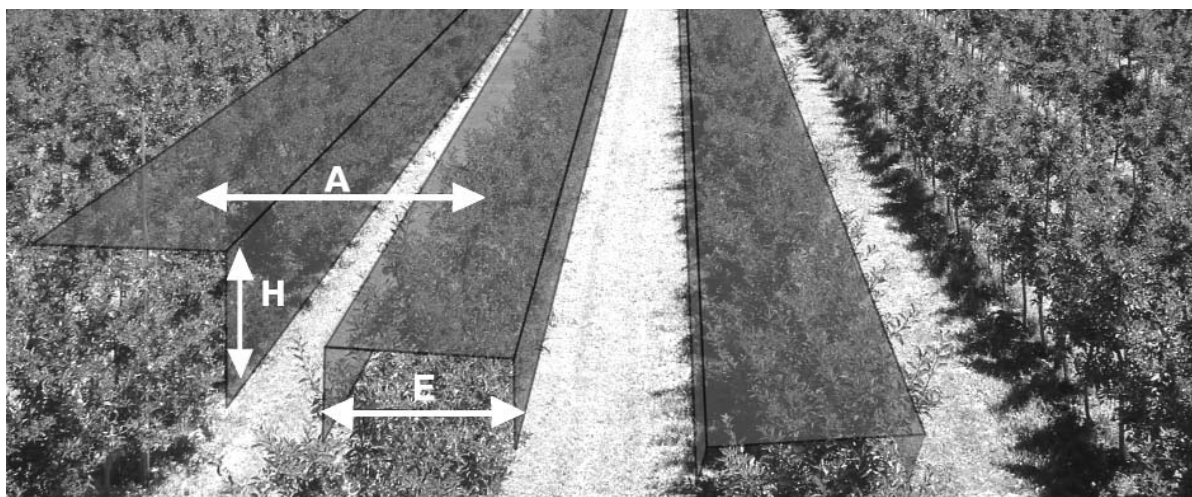


Figura 10.5. Esquema de un monte frutal y dimensiones para el cálculo del TRV

10.9. Referencias consultadas

- ANSI/ASABE S592. Best management practices for Boom Spraying.
- ASAE S572 2004. Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra.
- ASAE EP 367.2 1991 (R2008). Guide for preparing field sprayer calibration procedures.
- EN 12761-2: 2001. Maquinaria agrícola y forestal. Pulverizadores y distribuidores de fertilizantes líquidos. Protección Medioambiental. Parte 2: pulverizadores hidráulicos de barras para cultivos bajos.
- HARDI 2009. Info pulverización. Disponible en <http://www.hardi.es> (activo abril 2009).
- ISO 5682-2:1996. Equipment for crop protection - Spraying equipment - Part 2: Test methods for hydraulic sprayers.
- ISO 5682-3:1996. Equipment for crop protection - Spraying equipment - Part 3: Test method for volume/hectare adjustment systems of agricultural hydraulic pressure sprayers.
- Magdalena, C.; Di Prinzio, A.; Behmer, S. 2008. Factores que afectan la aplicación de agroquímicos en montes Frutales. Curso para capacitados en aplicación de agroquímicos en huertos frutales. 27-28 mayo de 2008. 28 pp.
- Márquez, L. Maquinaria Agrícola. 2004. B&H Editores. Madrid España. ISBN. 84-931506-6-5.
- TEYME. 2009. Características del nuevo grupo de aire PVT-915. Disponible en: <http://www.teyme.es/>
- Sánchez-Hermosilla, J.; Medina, R.; Sánchez, A. 2005. Adjustment of pesticide application rate for greenhouse grown peppers. VIII Workshop on Spray Application Techniques In Fruit Growing. Barcelona.
- Sutton, T.B.; Unrath, C.R. 1984. Evaluation of the tree-row-volume concept with density adjustments in relation to spray deposits in apple orchards. *Plant disease* 68(6):480-484.
- UNE 68-082-89. Pulverizadores agrícolas. Guía para su preparación, utilización, mantenimiento y seguridad de utilización.
- Vázquez, J. 2003. Aplicación de Productos Fitosanitarios: Técnicas y Equipos. Primera Edición. Ediciones Agrotécnicas. Madrid. España. 320 pp.
- Villa, R. 2003. Técnicas y Máquinas para la Aplicación de Pesticidas. Departamento de Ingeniería y Suelos. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. 112 pp.k

Capítulo 11

Inspección de equipos pulverizadores agrícolas

Gracia, F.; Camp, F.; Fillat, A.; Solanelles, F.; Bustos, A.; Val, L.

- 11.1. INTRODUCCIÓN
- 11.2. ANTECEDENTES Y MARCO LEGAL
- 11.3. PROGRAMA - SERVICIO DE INSPECCIÓN
 - 11.3.1. INFRAESTRUCTURA
 - 11.3.2. PUBLICIDAD Y DIFUSIÓN DEL SERVICIO
 - 11.3.3. METODOLOGÍA DE ACTUACIÓN
 - 11.3.4. PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DE LAS INSPECCIONES
 - 11.3.5. ELABORACIÓN DE INFORMES PERIÓDICOS DE EVOLUCIÓN DEL PROGRAMA
- 11.4. CRITERIOS TÉCNICOS EN LA INSPECCIÓN DE EQUIPOS PULVERIZADORES AGRÍCOLAS
 - 11.4.1. NORMATIVA TÉCNICA
 - 11.4.2. FASES DE UNA INSPECCIÓN
 - 11.4.3. COMPROBACIONES Y MEDICIONES EN LA INSPECCIÓN
 - 11.4.3.1. PROTECCIONES Y SEGURIDAD
 - 11.4.3.2. BOMBA
 - 11.4.3.3. AGITACIÓN
 - 11.4.3.4. DEPÓSITO
 - 11.4.3.5. MANÓMETRO
 - 11.4.3.6. REGULADOR Y DISTRIBUIDOR
 - 11.4.3.7. CONDUCCIONES
 - 11.4.3.8. FILTROS
 - 11.4.3.9. BOQUILLAS
 - 11.4.3.10. BARRA DE PULVERIZACIÓN
 - 11.4.3.11. DIFERENCIA DE PRESIONES
 - 11.4.3.12. VENTILADOR
 - 11.4.4. RESULTADOS Y EVALUACIÓN DEL EQUIPO PULVERIZADOR
- 11.5. REFERENCIAS CONSULTADAS

11.1. Introducción

Los equipos nuevos de aplicación de agroquímicos se encuentran, en general, en buenas condiciones de trabajo y sus prestaciones son las adecuadas. Pero con el uso, estas máquinas suelen presentar deficiencias y desgastes en sus componentes y, por tanto, son necesarias revisiones periódicas que permitan detectar estas anomalías y realizar un adecuado mantenimiento que mejore su estado y garantice su correcto funcionamiento, de forma que se asegure:

- La eficacia de los tratamientos.
- La optimización en la distribución de los productos agroquímicos.
- La seguridad del operario.
- La minimización del riesgo de contaminación del ambiente.
- La disminución de los residuos de agroquímicos en los productos agrícolas.

Sin embargo, se advierte que los usuarios no cumplen siempre ese requisito y acaban utilizando equipos con múltiples defectos: insuficiente limpieza, piezas desgastadas y controles fuera de uso. Esto llevó a promulgar distintas normativas que tratan de corregir esta situación mediante la implantación de programas de "Inspección de pulverizadores agrícolas en uso".

Los objetivos de estos programas son:

- Mejorar el estado de funcionamiento del equipo pulverizador.
- Facilitar información precisa respecto a las reparaciones a efectuar.
- Ejecutar un control objetivo e idéntico en todo el territorio.
- Limitar al máximo el desplazamiento de las máquinas al punto de inspección.

En cuanto a los conceptos de revisión e inspección es necesario clarificar que la "revisión del pulverizador" se refiere a comprobaciones de funcionamiento de los componentes de la máquina y a la verificación de su estado de mantenimiento, y que éstas pueden ser llevadas a cabo periódicamente por el propio usuario con el oportuno asesoramiento técnico si es necesario (Figura 11.1). En cambio, la "inspección" la realiza siempre personal acreditado que, además de visualizar el estado general de la máquina efectúa una serie de pruebas y medidas: comprobación del funcionamiento correcto del manómetro, diferencia de presiones entre los sectores de distribución del equipo pulverizador, caudal de las boquillas y distribución de la pulverización (Figura 11.2).



Figura 11.1. Revisión del pulverizador realizada por su propietario

11.2. Antecedentes y marco legal

A finales de la década del 60 se iniciaron en Europa las primeras experiencias en inspecciones voluntarias de máquinas de aplicación de productos fitosanitarios (MAF). Alemania fue pionera en MAF para cultivos bajos (1968) y en arboricultura (1984), e impuso su obligatoriedad en cultivos bajos en 1993 y en árboles y viña en 2000. El Centro Federal de Investigación Biológica para la Producción Agrícola y Forestal (BBA), actualmente Julius Kühn-Institut (JKI), es el encargado de elaborar la normativa y los criterios de inspección, así como de coordinar su ejecución en los diferentes estados federales, a través de una red de talleres y concesionarios de maquinaria agrícola.

En 1991, en Bélgica se inició el programa de control voluntario de las MAF para cultivos bajos y para arboricultura y viña. Se desarrolló una primera fase (1993-95) en la que se creó un grupo de trabajo formado por representantes del Ministerio de Agricultura, fabricantes e importadores, expertos en maquinaria y agricultores, con el objetivo de analizar las modalidades prácticas y legales para la implantación de la obligatoriedad en 1995, así como organizar un programa de información para los agricultores.

En Italia, a finales de los años 70 se consideró la necesidad de verificar el funcionamiento de las MAF, pero recién en 1980 se creó la primera estación móvil para el control de equipos pulverizadores en uso en la provincia de Bolzano. En 1996, el Ministerio de Agricultura financió un programa de apoyo y desarrollo de revisión de MAF a nivel interregional, y se constituyó un grupo de trabajo en el que participaron 14 regiones. Actualmente, en varias de ellas se efectúa la inspección obligatoria de las MAF para cultivos bajos y arboricultura.

En Francia, las inspecciones son obligatorias desde 2009 y se llevan a cabo con una periodicidad de cinco años.

En tanto, en España, las primeras inspecciones de MAF y en particular de equipos pulverizadores para frutales, cítricos y viña se iniciaron en 1986, mediante el "Programa de Revisión del Parque de Maquinaria de Tratamientos Fitosanitarios" desarrollado por el Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Generalitat de Cataluña, a través del Centro de Mecanización Agraria. Actualmente se están llevando a cabo inspecciones de MAF tanto para cultivos arbóreos como para cultivos bajos, a agricultores particulares, empresas de servicio y agricultores de Producción Integrada, siendo para estos últimos obligatoria.



Figura 11.2. Inspección de un pulverizador agrícola

El marco legal para efectuar las inspecciones de forma obligatoria se inició con reglamentaciones relacionadas con la Producción Integrada, y con programas de certificación de la producción agrícola como GlobalGap, utilizados por las cadenas de distribución para asegurar la calidad de los productos alimentarios.

En Europa se aprobó, en enero de 2009, la “*Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece el marco de la actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas*”, cuyo objetivo es reducir el impacto del uso de los agroquímicos en la salud y en el ambiente. Esta Directiva establece la obligatoriedad de realizar inspecciones periódicas de los equipos de aplicación de agroquímicos, a la vez que fija los criterios mínimos que los distintos estados miembro deben seguir a la hora de desarrollar sus programas de inspección nacionales.

Los programas de inspección pueden ser gestionados y/o realizados por diversas tipologías de organizaciones. En cualquier caso, éstas deberán ser oficiales o privadas (oficialmente reconocidas).

11.3. Programa - Servicio de inspección

Antes de iniciar el Servicio de inspección es conveniente elaborar un Programa de inspección de los equipos pulverizadores en uso, a partir del conocimiento del parque de pulverizadores agrícolas existente. Esto permitirá llevar adelante una adecuada planificación y gestión del servicio y contemplar, además, las líneas directrices a seguir.

Los destinatarios del Servicio de inspección serán todos los titulares de este tipo de maquinarias que las utilizan para sí o para terceros.

De modo especial, deben acudir a éste:

- quienes, por ser aplicadores profesionales, realizan trabajos a terceros.
- empresas de servicio de maquinaria de aplicación de agroquímicos.

- quienes soliciten el reconocimiento de “Buenas prácticas agrícolas” sometiéndose a diferentes reglamentos técnicos (Producción integrada, GlobalGap, etc.).
- asociaciones agrícolas de uso en común de maquinaria.

El solicitante de la inspección puede ser una persona física o jurídica (entidad cooperativa, empresa, asociación para uso en común).

Para optimizar su gestión se procederá a planificar, en el espacio y en el tiempo, las inspecciones por llevar a cabo sobre el parque de pulverizadores agrícolas existente.

11.3.1. Infraestructura

Para efectuar las inspecciones es necesario disponer de:

- a) Personal:** Se deberá contar con un director del Programa de inspección, personal técnico calificado y personal administrativo.
- b) Ubicación del servicio:** Las instalaciones deben ser adecuadas para albergar al personal y la infraestructura necesaria para el correcto funcionamiento del servicio.
- c) Unidad móvil de inspección:** Será un vehículo dotado del equipamiento e instrumentación necesaria (Figura 11.3).
- d) Equipamiento:** Material básico necesario para realizar conexiones y reparaciones de los equipos a inspeccionar.
- e) Instrumentación para las diferentes comprobaciones y mediciones durante la inspección:** Contrastador de manómetros, caudalímetros, manómetros calibrados, banco de ensayo para la medición de caudal de las boquillas. Cámara fotográfica digital, para tener un registro gráfico de los pulverizadores inspeccionados o de aquellos elementos que se consideren oportunos, e incluso de cualquier incidencia que merezca ser discutida posteriormente. Computadora e impresora portátiles.

11.3.2. Publicidad y difusión del servicio

El objetivo de la difusión debe ser informar de la finalidad y funciones del servicio de inspecciones de los pulverizadores agrícolas en uso; explicar la necesidad y beneficios directos e indirectos; dar a conocer cómo se realiza una inspección y qué documentación se necesita para la tramitación de solicitudes (Figura 11.4). Los destinatarios serán: agricultores, empresas agrarias, cooperativas, asociaciones de actividad agrícola, empresas de certificación, agencias comarcales y municipios.

11.3.3. Metodología de actuación

Se elaborará un Manual de Calidad que contenga: organización y estructura del servicio, personal y sus funciones, métodos y procedimientos de ensayo, instrumentación de ensayo y medida, equipamiento de la unidad móvil de inspección y estructuración del informe. Además, se puede incluir otra información que se considere pertinente.

Además, se elaborará un Manual de Procedimientos técnicos que incluya: procedimiento técnico de

inspección, criterios de comprobación de características técnicas de la instrumentación, no conformidades mayores y menores, plan de calibración y mantenimiento de la instrumentación, adquisición y puesta a punto de la instrumentación y armado de un curso de formación al personal técnico.

11.3.4. Planificación y ejecución de las inspecciones

La correcta realización de las inspecciones deberá considerar el establecimiento de un plan de trabajo que incluya calendario e itinerarios, planificación de visitas, desplazamientos y realización de la inspección e informe. (Figura 11.5). Si el equipo pulverizador supera la inspección se colocará una etiqueta que lo identifique.

11.3.5. Elaboración de informes periódicos de evolución del programa

Periódicamente se deben elaborar informes técnicos sobre la evolución del programa, que contengan estadísticas y actividades efectuadas.



Figura 11.3. Unidad móvil de inspección de Cataluña, España

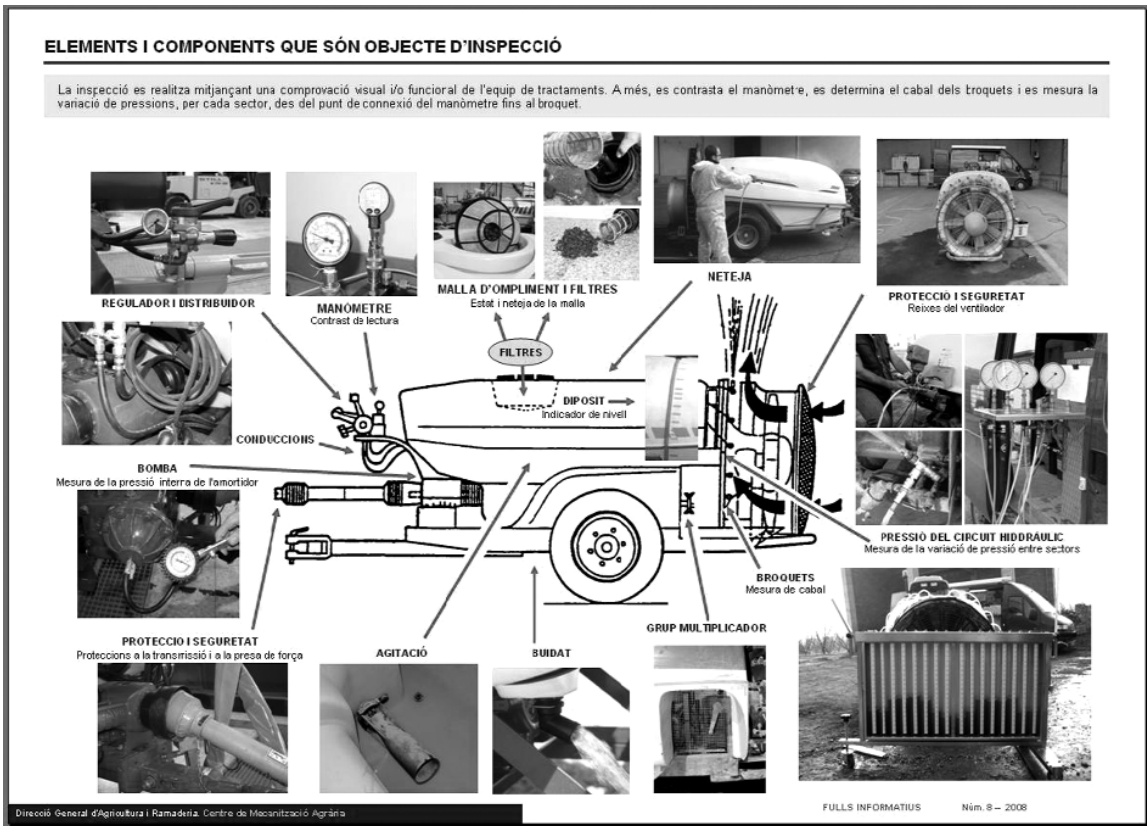


Figura 11.4. Hoja de divulgación sobre el proceso de inspección. Comunidad de Cataluña, España



Figura 11.5. Organización regional de las inspecciones en Cataluña

11.4. Criterios técnicos en la inspección de equipos pulverizadores agrícolas

11.4.1. Normativa técnica

La inspección de las máquinas de aplicación de agroquímicos en Europa se realiza en base a las normas EN 13790/1 y /2 (2003), actualmente en fase de revisión, que determinan las comprobaciones incluidas en una inspección y los requerimientos que se han de cumplir. El uso de esta norma permite homogeneizar las inspecciones a nivel europeo (Figura 11.6).

11.4.2. Fases de una inspección

1) *Fase preliminar*: revisión previa del pulverizador por parte del usuario sobre la base de documentación generada por el programa.

2) *Fase inicial*: presentación del equipo pulverizador en el punto de inspección, con agua. Sólo se inspeccionará si está limpio y cuenta con los elementos de seguridad obligatorios. Además, deberá estar presente el operador del equipo.

3) *Fase de comprobaciones visuales y ensayos de funcionamiento*.

4) *Fase de mediciones*.

11.4.3. Comprobaciones y mediciones en la inspección

En la Tabla 11.1 (ver página 143) se resumen los criterios de aceptación de los elementos que de-

berán ser inspeccionados. Este resumen no es exhaustivo y la información completa puede encontrarse en la norma UNE-EN 13790:2004, partes 1 y 2.

11.4.3.1. Protecciones y seguridad

El objetivo es evitar que el pulverizador pueda causar daños a los operarios cuando estos lo usen o manipulen (Figura 11.7).

11.4.3.2. Bomba

Se verificará que suministre el caudal suficiente para una correcta pulverización dentro de todo el rango de presiones de trabajo, con las boquillas de mayor caudal, sin comprometer la agitación del preparado fitosanitario del depósito.

11.4.3.3. Agitación

Se debe asegurar una correcta agitación capaz de formar un preparado homogéneo del agroquímico dentro del depósito y mantenerlo durante todo el tratamiento.

11.4.3.4. Depósito

Se comprobará que éste y sus complementos permitan un llenado, vaciado y mantenimiento correctos, sin comprometer la seguridad del operario, del medio y del cultivo, ni reducir la vida útil del equipo pulverizador.

UNE-EN 13970-1



Pulverizadores para cultivos bajos

UNE-EN 13970-2



Pulverizadores para plantaciones arbustivas y arbóreas

Figura 11.6. Normas europeas de inspección

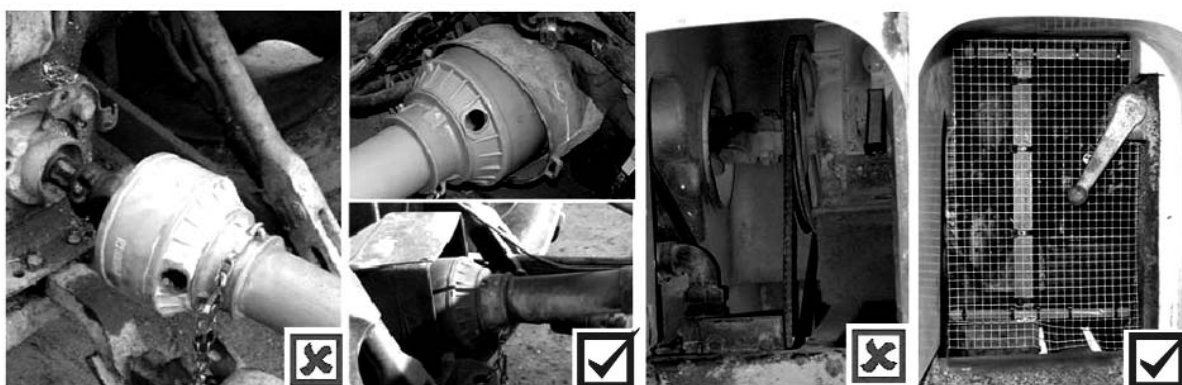


Figura 11.7. Revisión de protecciones de seguridad

11.4.3.5. Manómetro

El objetivo es verificar que el manómetro ofrezca lecturas precisas de presión que permitan al operario controlar la tasa de aplicación y el tamaño de las gotas durante las operaciones de regulación y aplicación (Figura 11.8).

11.4.3.6. Regulador y distribuidor

Se debe asegurar que los dispositivos de regulación y distribución permitan ajustar de forma segura, sencilla y precisa la presión de servicio, dentro del rango de trabajo del equipo pulverizador, así como dirigir la pulverización hacia las zonas de cultivo deseadas (derecha o izquierda en el caso de árboles y diferentes sectores en cultivos bajos).

11.4.3.7. Conducciones

Es necesario asegurar que las diferentes tuberías rígidas y flexibles del pulverizador no constituyan una fuente de contaminación para el operario, ambiente y el cultivo, ni alteren la correcta pulverización durante las aplicaciones.

11.4.3.8. Filtros

El equipo pulverizador debe disponer de un sistema de filtrado fácil de mantener, capaz de interceptar cualquier partícula que pudiera dañar algún elemento del pulverizador y/u obstruir las boquillas y perjudicar la formación de gotas y/o su distribución (Figura 11.9).

11.4.3.9. Boquillas

Se comprobará que el equipo pulverizador disponga de boquillas adecuadas que permitan realizar tratamientos fitosanitarios eficaces, eficientes y seguros.

Distribución de la pulverización: el objetivo es verificar que el equipo pulverizador permita una distribución uniforme de la pulverización (Figura 11.10).

11.4.3.10. Barra de pulverización

Se verificará que ésta permita efectuar aplicaciones uniformes y seguras bajo diferentes condiciones de trabajo. También se debe asegurar que el plegado de la barra facilite los desplazamientos seguros por vías públicas (Figura 11.11).

11.4.3.11. Diferencia de presiones

El objetivo es asegurar que la presión en el punto de lectura de la máquina corresponda a la presión presente en todos los sectores del pulverizador (Figura 11.12).

11.4.3.12. Ventilador

Se comprobará que el ventilador produzca un flujo de aire suficiente para asegurar el transporte de las gotas hasta la vegetación, y que su funcionamiento no comprometa la seguridad de los operarios.

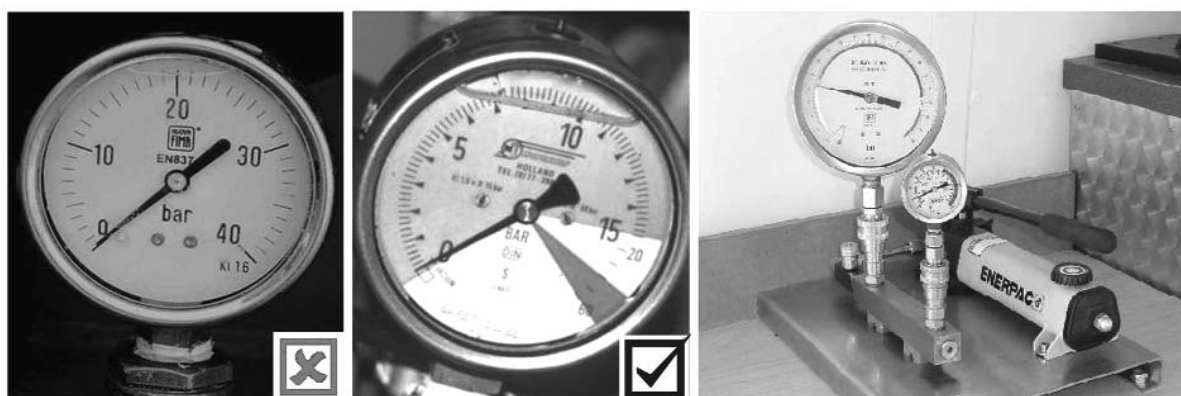


Figura 11.8. Rango, resolución y fiabilidad del manómetro

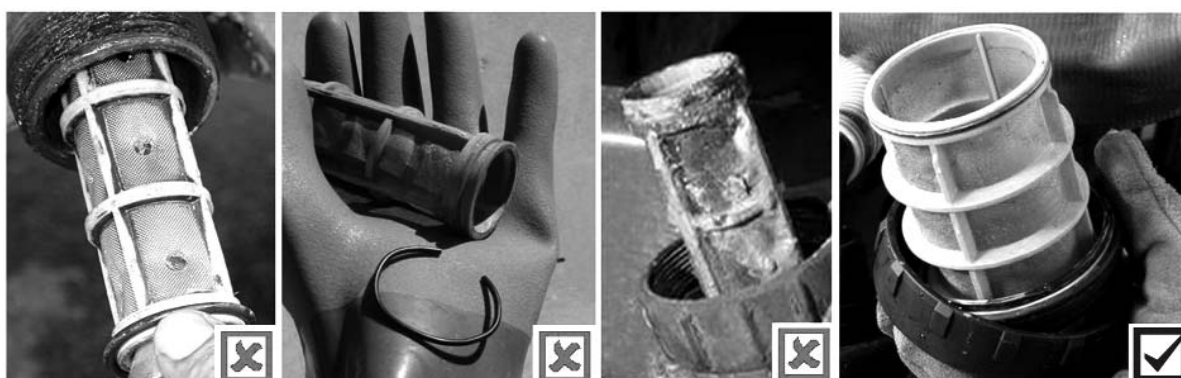


Figura 11.9. Limpieza y estado de los filtros

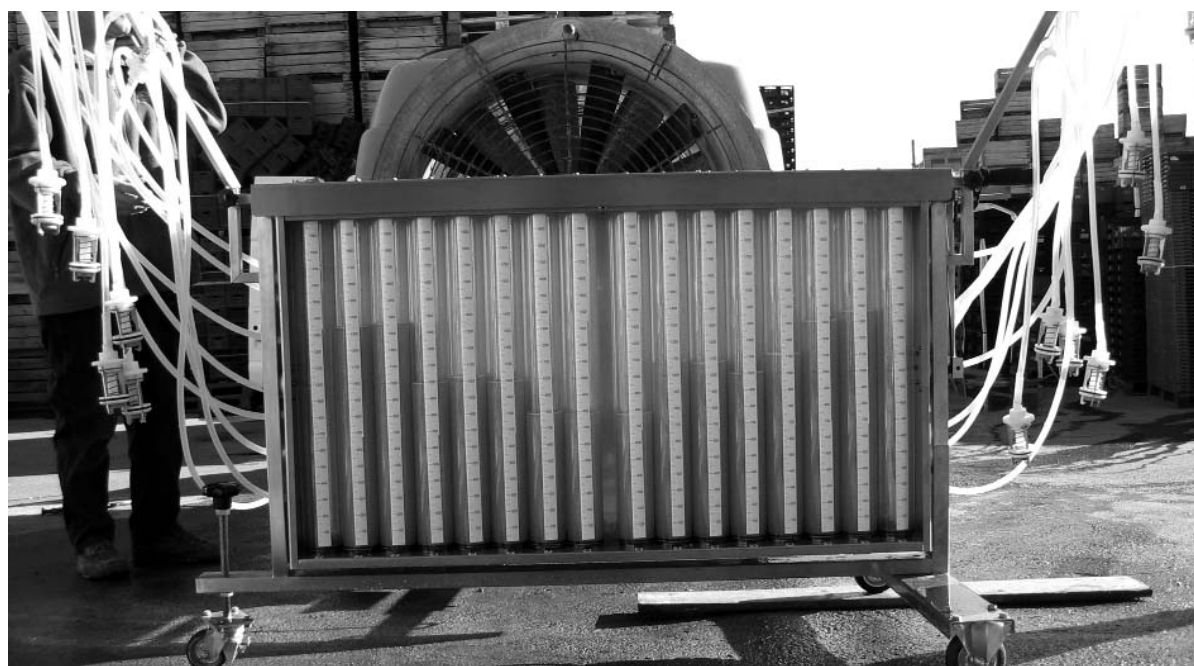


Figura 11.10. Banco de probetas para la medida del caudal de las boquillas

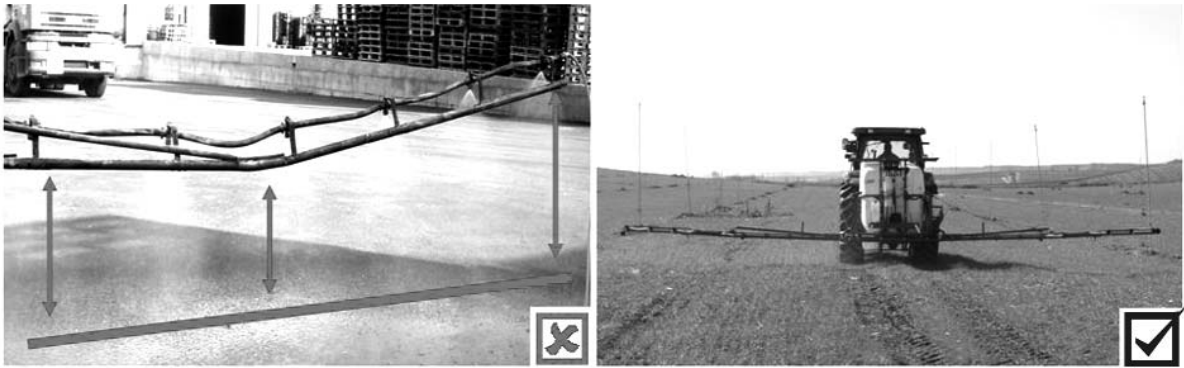


Figura 11.11. Horizontalidad y estabilidad de la barra



Figura 11.12. Ensayo de equilibrio de presiones de una barra de pulverización

Tabla 11.1. Resumen de los criterios de aceptación para los distintos elementos inspeccionados

Protección y seguridad	Presencia y buen estado de las protecciones de la toma de fuerza (eje y puntos de conexión).
	Presencia y funcionamiento correcto del elemento que evita la rotación de las protecciones del eje de la toma de fuerza (TdF).
	Existencia de protecciones de los elementos móviles (correas y poleas de transmisión).
	Existencia de un dispositivo para sujetar el eje de la TdF cuando no se utilice (no se admitirán las cadenas que evitan la rotación de las protecciones).
	Existencia y fijación correcta de las protecciones que evitan el acceso al ventilador.
Bomba	Ausencia de pulsaciones visibles causadas por la bomba.
	Estado y funcionamiento correcto del calderín amortiguador de presiones.
	Ausencia de fugas.
	Funcionamiento correcto de la válvula limitadora de presión.
	Capacidad de la bomba (medición opcional).
Agitación	Observación de una circulación del líquido claramente visible con el depósito lleno hasta la mitad.
Depósito	Ausencia general de fugas.
	Limpieza exterior (ausencia de restos de producto).
	Ajuste correcto y facilidad de abertura manual de la tapa del orificio de llenado.
	Estado correcto del orificio de respiración.
	Funcionamiento y lectura del indicador de nivel desde el puesto de conducción y llenado.
	Facilidad de accionamiento de la válvula de vaciado.
	Funcionamiento correcto de la válvula antiretorno del hidrocargador.
Manómetro	Diámetro de la esfera superior a 63 mm.
	Visualización desde el lugar del conductor.
	Estabilidad de la aguja.
	Rango de medida adecuado a la presión de trabajo.
	Resolución (divisiones) de 0,2 bar para presiones inferiores a 5 bar, 1 bar en el intervalo de 5 a 20 bar y de 2 bar para presiones superiores a 20 bar.
	Error máximo de $\pm 0,2$ bar para presiones de trabajo entre 1 y 2 bar (incluidas), y $\pm 10\%$ del valor medido para presiones superiores a 2 bar (medición).
Regulador y distribución	Funcionamiento correcto y ausencia de fugas.
	Posibilidad de ajuste de la presión de trabajo desde el puesto de conducción.
	Abertura y cierre correcto de cada uno de los sectores y de todos los sectores simultáneamente.

Conducciones	Ausencia de fugas en la presión máxima de trabajo.
	Buen estado de conservación (ausencia de señales de agrietado, desgaste o abrasión).
	En posición de trabajo no pueden entrar en contacto con la pulverización.
Filtros	Ausencia de fugas.
	Existencia de filtros en el orificio de llenado del depósito, en la aspiración e impulsión de la bomba.
	Facilidad de extracción de las mallas, estado correcto y limpieza.
Boquillas	Estado de limpieza correcto.
	Idoneidad de las boquillas e identificación de su marca y modelo.
	Disposición simétrica, excepto para funciones especiales.
	Funcionamiento correcto del dispositivo antigoteo.
	Cierre individual.
	Posibilidad de ubicar las boquillas de manera reproducible.
	Ausencia de señales de desgaste y/u obturaciones.
	Uniformidad de los chorros de pulverización.
Barra de pulverización (p. hidráulicos)	Estabilidad, horizontalidad y simetría de la estructura.
	Funcionamiento correcto de los mecanismos de retractibilidad, plegado, regulación de la altura, amortiguación y suspensión de la barra.
	Bloqueo en posición de transporte.
	Espaciamiento y orientación uniforme de las boquillas (medición).
	Altura uniforme de las boquillas respecto al suelo (± 10 cm o 1% de la mitad de la anchura de trabajo) (medición).
	Protección de los extremos de la barra.
	Protección de las boquillas si la barra es mayor de 10 m.
	Ausencia de contaminación de la barra.
	Posibilidad de cerrar individualmente los diferentes sectores de la barra sin variaciones de presión superiores al 10% (medición).

Distribución transversal (p. hidráulicos)	Uniformidad de caudal: desviación del caudal de cada boquilla $\leq 10\%$ respecto al caudal nominal o al caudal medio (medición).
	Equilibrio de presiones entre el punto del manómetro de la máquina y el final de cada sección: desviación $\leq 10\%$ de la lectura del manómetro (medición).
Distribución (p. hidroneumáticos)	Uniformidad de caudal: desviación del caudal de cada boquilla $\leq 15\%$ respecto al caudal nominal o $\leq 10\%$ respecto al caudal medio (medición).
	Equilibrio de presiones entre el punto del manómetro de la máquina y la entrada de cada sector: desviación $\leq 15\%$ de la lectura del manómetro (medición).
	Uniformidad de caudal izquierda/derecha: desviación $\leq 10\%$ (medición).
Ventilador (p. hidroneumáticos)	Estado correcto de las aspas, deflectores y carcasa.
	Funcionamiento correcto del grupo multiplicador (marchas/punto muerto).
	Funcionamiento correcto del embrague.
	Simetría (izquierda-derecha) del aire impulsado (medición opcional).
	Ruido inferior a 90 dB (normativas específicas).

11.4.4. Resultados y evaluación del equipo pulverizador

Finalizada la inspección se elabora un informe *in situ* en el que se vuelca toda la información obtenida en las comprobaciones visuales, de funcionamiento y mediciones realizadas durante el desarrollo de la inspección. El informe de ensayo se entrega directamente al usuario. Allí quedan anotadas las anomalías del equipo pulverizador que necesitan ser reparadas. En la norma UNE-EN 13790 puede consultarse un modelo de Informe de ensayo.

Si la evaluación del pulverizador es favorable, se le colocará una etiqueta de identificación. En el caso de que no sea así, se le concederá al propietario un período de tiempo para efectuar las reparaciones pertinentes y repetir la inspección.

11.5. Referencias consultadas

- Balsari, P.; Latino, G. 2000. Il controllo funzionale delle irroratrici per le colture erbacee in Piemonte DEIAFA – Università degli Studi di Torino (Italy) pp 55.
- Balsari, P.; Maruco, P.; Oggero, G. & Tamagnone, M. 2004. Inspection of sprayer in Italy with special regard to the Piemonte region. First European Workshop on Standardized Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe. Braunschweig (Germany), pp 43-50.
- Bjugstad, N.; Hermansen, P. & Fridhein, D.F. 2004. Testing of sprayers in Norway. I European Workshop on standardized procedure for the inspection of sprayer in Europe. Braunschweig (Germany).
- Boto, J.A.; López, J.; Marcelo, V.; Pastrana, P, 2000. Inspección de equipos de tratamientos fitosanitarios. Agricultura N° 817, 501-502 pp.
- Braekman, P. and Sonk, B. 2004. The Belgian way to organizing a compulsory inspection of sprayers. I European Workshop on standardized procedure for the inspection of sprayer in Europe. Braunschweig (Germany).
- Camp, F.; Fillat, A. 2010. Revisión de las barras de aplicación de fitosanitarios, una práctica necesaria. Vida Rural, n° 305, 472010 pp. 70-74.
- DAR. 2008. Autorevisión de pulverizadores para la aplicación de productos fitosanitarios. Cultivos herbáceos/cultivos arbóreos. Hoja informativa. Disponible en: <http://www.gencat.cat/dar/cma>
- Ducauge, M.; CIETAP, 1998. Le diagnostic des pulverisateurs à rampe. Phytoma-La Défense des Végétaux N° 505.
- Fibla, J.M.; Gracia, F.; Martínez, M.T., 2000. Situación del parque de maquinaria de aplicación de productos fitosanitarios en los cítricos de Cataluña. Levante Agrícola, 4º trimestre, 432-440 pp.
- Ganzelmeier, H. 2007. Rules of approval, rules of inspection, quality management of inspection in Germany. Second European Workshop on Standardised Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe – SPISE 2 – Straelen, (Germany), pp. 29-33.
- Gil, E. 2006 Inspection of sprayers in use: a European sustainable strategy to reduce pesticide use in fruit crops. Applied Engineering in Agricultura. Vol 23 (1) pp. 49-56.
- Gracia, F.; Escolà, A.; Bustos, A. 2002. Inspección de equipos en uso para la aplicación de productos fitosanitarios en España. Fruticultura profesional. Vol. 124, pp. 5-11.
- Gracia, F.; Escolà, A.; Bustos, A. 2004. Inspections of sprayers in use in Catalonia (Spain). First European Workshop on Standardised Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe – SPISE – Braunschweig. (Germany), pp.74-76.
- Gracia, F., Escolà, A., 2004. Importancia de la maquinaria de aplicación en los tratamientos fitosanitarios. La inspección de las máquinas de tratamientos fitosanitarios. Phytoma 162, pp. 48-54.
- Gracia, F. 2005. Maquinaria para distribución de productos fitosanitarios. Importancia de la regulación y control/inspección de los equipos aplicadores. Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación. Córdoba (España), pp. 159-169.
- Huyghebaert, B.; Mostade, O.; Braekman, P. 2004. Overvie of the sprayer inspection in Belgium. First European Workshop on Standardised Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe – SPISE – Braunschweig. (Germany), pp. 90-94.
- Mostade, O.; Oestges, O.; Huyghebaert, B. 1994. Le pulverisateur. Choix et utilisation. Centre de Recherches Agronomiques. Gembloux. 118 pp.
- Rietz, S. 2000. Synopsis of Testing Plant Protection Equipment in the Federal Republic of Germany. Section III Inspection of Plant Protection Equipment-Already in Use BBA Heft 57, 133-180 pp.
- Schmit, J.F.; Braekman, P.; Declercq, J.; Huyghebaert, B. 2007. The inspection of sprayers in Belgium. Second European Workshop on Standardised Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe – SPISE 2 – Straelen, (Germany), pp.36-41.

Capítulo 12

Aplicación de agroquímicos en el agua de riego

Cunha, J. P. A.; Vieira, R. F.

- 12.1. INTRODUCCIÓN
- 12.2. LA QUIMIGACIÓN Y LOS MÉTODOS DE RIEGO
- 12.3. VENTAJAS DE LA QUIMIGACIÓN
- 12.4. DESVENTAJAS DE LA QUIMIGACIÓN
- 12.5. AGROQUÍMICOS QUE TIENEN COMO OBJETIVO EL SUELO
- 12.6. AGROQUÍMICOS QUE TIENEN COMO OBJETIVO LA PARTE AÉREA DE LAS PLANTAS
- 12.7. FORMULACIÓN DE LOS AGROQUÍMICOS
- 12.8. APLICACIÓN DE FUNGICIDAS
- 12.9. APLICACIÓN DE INSECTICIDAS
- 12.10. EQUIPOS PARA QUIMIGACIÓN
 - 12.10.1. BOMBAS INYECTORAS
 - 12.10.2. VÁLVULAS DE SEGURIDAD
- 12.11. REGULACIÓN Y CALIBRACIÓN
- 12.12. INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA QUIMIGACIÓN
- 12.13. SEGURIDAD AMBIENTAL
- 12.14. REFERENCIAS CONSULTADAS

12.1. Introducción

Recientemente se ha intensificado la aplicación de productos químicos y biológicos en los cultivos por intermedio del agua de riego, técnica también conocida como quimigación (del inglés *chemigation*). Con este sistema pueden ser aplicados fertilizantes, herbicidas, insecticidas y fungicidas.

Es una tecnología relativamente nueva que comenzó a ser usada con más intensidad en los Estados Unidos en la década del 70. En 1958 se registró la primera experiencia de aplicación de fertilizante comercial por medio de este método. En muchos países, sólo en los últimos años se ha afirmado como tecnología, y son los propietarios de los sistemas de riego localizado y pivot central los que hacen un uso más frecuente de ella (Figura 12.1).

Su empleo generalizado no está en ocasiones respaldado por trabajos de investigación. Muchos productores realizan aplicaciones de agroquímicos basándose en su propia experiencia, sin el conocimiento de los riesgos ambientales que esta

tecnología puede provocar cuando se utiliza de manera inadecuada.

La cobertura obtenida en la aplicación de agroquímicos es, en forma directa, responsable por el éxito en el control de plagas y otros problemas que causan daño a los cultivos. En general, en la quimigación la uniformidad de distribución del producto depende directamente de la uniformidad en la distribución del agua, de este aspecto se desprende la importancia del manejo adecuado del sistema de riego (Figura 12.2).

Con la evolución de estos sistemas, la introducción de nuevos agroquímicos en el mercado, el aumento creciente del costo de la mano de obra y la necesidad de elevar la eficiencia de los insumos agrícolas, se creó una gran expectativa en relación al uso de esta tecnología.

Los sistemas más adecuados para esto son la aspersión, principalmente el pivot central y los sistemas lineales, porque presentan un alto coeficiente de uniformidad de distribución de agua, lo que permite el control de enfermedades foliares.



Figura 12.1. Detalle de una experiencia de aplicación de agroquímicos con pivot central

Para algunos agroquímicos de contacto, esta técnica puede ser menos eficiente que la aplicación convencional. La principal duda está relacionada con el gran volumen de agua utilizado, ya que la dilución o la concentración pueden afectar la eficacia del producto. En relación a los productos sistémicos, existen evidencias de que el gran volumen de agua utilizado puede comprometer menos su desempeño, si se compara con el efecto de los productos de contacto, porque parte del producto que alcanza el suelo puede ser absorbido por las raíces y translocado a la parte aérea.

Sin duda, la aplicación de productos químicos en el agua de riego representa una importante tecnología en la agricultura, si es usada con criterio, a fin de evitar posibles daños ambientales y perjuicios económicos. Un manejo adecuado incluye sistemas bien proyectados, correcta regulación y un operario bien entrenado.

12.2. La quimigación y los métodos de riego

La quimigación puede llevarse a cabo por todos los métodos de riego: superficie, aspersión y localizado (goteo y microaspersión). En el riego por superficie y por goteo sólo es posible emplear agroquímicos que tengan como objetivo el suelo, distribuidos de manera local. En la aspersión, se aplican en toda el área cultivada y pueden alcanzar el suelo, la parte aérea de las plantas o ambos.

En el sistema convencional, el agroquímico puede ser aplicado en cualquier momento del riego. Cuando se desea obtener una máxima concentración del producto en el follaje con un mínimo de escurrimiento, el agroquímico debe ser aplicado cerca del final del riego. En tanto, en el caso del pivot central, el agroquímico debe ser continuamente inyectado, ya que el sistema es móvil. Esto significa que se puede conseguir mayor concentración del producto en el follaje con la aspersión convencional que con el pivot central.

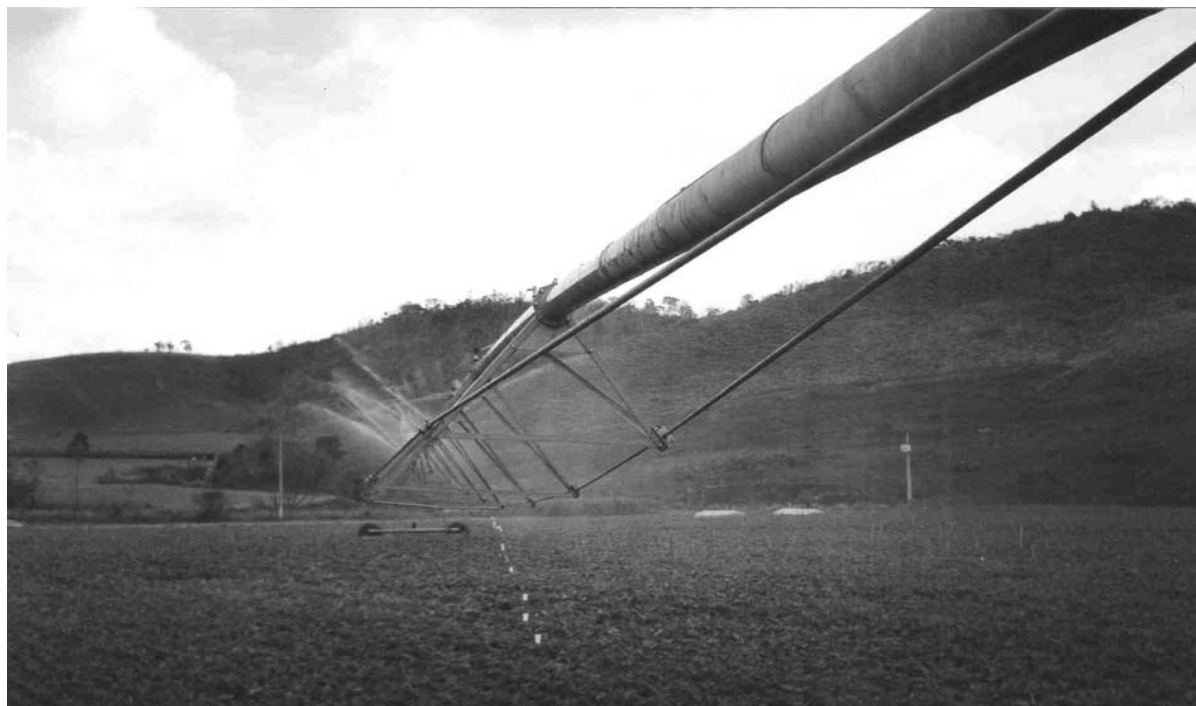


Figura 12.2. Evaluación de la uniformidad de distribución de agua en un pivot central

Algunos sistemas de pivot central aplican de 4 a 9 mm de agua por vuelta (40 a 90 mil litros de agua por hectárea) cuando el sistema funciona en la velocidad máxima. Por eso, la concentración de agroquímico en el agua es muy baja y, cuando la aplicación alcanza la parte aérea de las plantas, una parte del producto puede ser depositada en el suelo. Ese es el motivo por el que muchos agroquímicos solubles en agua son menos eficientes o ineficientes vía quimigación comparados con su aplicación por métodos convencionales (terrestres o aéreos). Sin embargo, los agroquímicos con baja solubilidad en agua aplicados a la parte aérea de las plantas pueden ser muy eficaces en la quimigación, superando, en algunos casos, el nivel de control en la aplicación por métodos convencionales. En cuanto a los agroquímicos que tienen como objetivo el suelo, el gran volumen de agua aplicado por el sistema de pivot resulta conveniente. Sin embargo, para un uso adecuado deberían considerarse sus propiedades físico-químicas y su interacción con las condiciones edafoclimáticas.

12.3. Ventajas de la quimigación

Sus principales ventajas son:

- *Uniformidad de aplicación:* de manera general, si el equipo de riego está operando en perfectas condiciones, la distribución de agroquímicos en el cultivo es más uniforme que en la aplicación convencional.
- *Economía:* es una técnica menos onerosa que la convencional. Se estima una economía superior al 50% en relación a la aplicación terrestre.
- *Incorporación y activación:* los productos dirigidos al suelo son incorporados y activados cuando se aplican con un gran volumen de agua.
- *Flexibilidad:* la aplicación puede efectuarse aún en las fases en las que la altura o la densidad del cultivo y el contenido de humedad del suelo son un obstáculo para el uso del tractor.
- *Reducción de la compactación del suelo:* se elimina el tráfico de máquinas en el cultivo durante la aplicación de los productos. Algunas épocas de aplicación coinciden con el período

de lluvias, lo que vuelve el suelo más susceptible a la compactación por el tráfico de máquinas.

- *Reducción de daños en el cultivo:* el menor tráfico también disminuye estos daños.
- *Menor deriva y evaporación respecto a los métodos convencionales:* Disminuyen porque las soluciones aplicadas son muy diluidas y la presión de vapor de muchos agroquímicos es menor que la del agua, lo que implica que la evaporación del agua es el límite máximo de la de los agroquímicos. Además, las gotas de los aspersores son mayores, lo que implica un menor potencial de evaporación.
- *Menores riesgos para el operario,* por su menor presencia durante la aplicación y debido a que las concentraciones de agroquímicos son menores.

12.4. Desventajas de la quimigación

Estas son:

- *Poca difusión de la tecnología:* las compañías que comercializan agroquímicos son las principales difusoras de la tecnología de aplicación en el cultivo. Sin embargo, como existen pocos agroquímicos registrados para la aplicación en el agua de riego, la técnica está poco difundida. Además, la quimigación es relativamente nueva y poco estudiada.
- *Riesgo de contaminación ambiental:* además de la posible lixiviación, lo que más preocupa es la contaminación de las fuentes de captación de agua, en el caso de que la bomba de riego deje de funcionar. Otro riesgo se corre si la bomba dosificadora se daña, ya que puede haber retorno de la solución presurizada por el agua de riego hacia el tanque del agroquímico, y de ahí al suelo. Esos problemas se evitan con equipos de seguridad instalados en los sistemas de riego e inyector. La falta de equipos de seguridad de buena calidad y la ausencia de normas para el uso de la quimigación son factores que favorecen la contaminación.

- Demora de la aplicación: el tiempo necesario para que el pivot central complete el círculo depende del tamaño y de la velocidad de desplazamiento de la última torre. Por ejemplo, un pivot que irriga 50 ha desplazándose a $2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ en la velocidad máxima completa el círculo en 21 horas, mientras que a esa misma velocidad de desplazamiento un pivot de 100 ha demora casi 30 horas. Si la velocidad se reduce a $1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, el tiempo para completar el círculo se duplica. Por lo tanto, condiciones adversas del clima en el transcurso del día (viento fuerte o lluvia) pueden perjudicar más a la distribución vía agua de riego que a las aplicaciones convencionales.
 - Aplicación desuniforme en el inicio de la inyección: el producto químico inyectado en el agua que corre dentro de las tuberías del pivot es distribuido inicialmente en los aspersores próximos al punto de inyección. Sólo después de cierto tiempo la aplicación se hace uniforme a lo largo de todo el sistema.
 - Uso excesivo de agua sin necesidad de riego: algunas veces el agroquímico es aplicado cuando no es necesario regar. Además del costo adicional, el mojado excesivo puede aumentar la intensidad de las enfermedades.
 - Necesidad de manejo eficiente: la quimigación presupone el manejo eficiente del riego para asegurar el éxito de la operación.
 - Para realizar la aplicación con seguridad se necesitan equipos adicionales.
- debido a la mayor eficiencia de algunos productos cuando se aplican por intermedio del agua de riego.
- *Inmediata incorporación y activación.* Muchos agroquímicos exigen agua para su movimiento y activación en el suelo. El control de la cantidad de agua aplicada permite que éstos sean incorporados a la profundidad deseada, consiguiéndose, al mismo tiempo, la proporción de agua necesaria para activarlos.

Desventajas

- *Menor eficiencia:* el método convencional es más eficiente que la quimigación en relación a algunos agroquímicos, en especial aquellos que por sus características de alta volatilización y/o fotodescomposición y baja movilidad necesitan una rápida incorporación al suelo.
- *Posibilidad de contaminación del ambiente:* los pivot con aspersores de baja presión distribuyen el agua en una franja estrecha del terreno. Por consiguiente, la intensidad de precipitación es alta. Cuando se instalan pivot de baja presión en áreas de topografía irregular y/o en suelos poco permeables, los problemas relativos al escurrimiento superficial pueden ser serios, porque aumentan la contaminación, reducen la uniformidad de aplicación y la eficiencia de los agroquímicos.
- *Corrosión:* Muchos productos químicos, especialmente los fertilizantes, son corrosivos.

12.5. Agroquímicos que tienen como objetivo el suelo

En esta categoría están: herbicidas de pre-siembra y pre-emergencia, nematicidas, fertilizantes, fumigantes y algunos insecticidas y fungicidas.

Ventajas:

- *Eficiencia:* los mejores resultados con la quimigación se obtienen con los agroquímicos que van dirigidos al suelo, algunas veces con mayor eficiencia a la alcanzada con los métodos convencionales.
- Potencial reducción de la dosis de agroquímicos comparada con los métodos convencionales

12.6. Agroquímicos que tienen como objetivo la parte aérea de las plantas

En esta categoría están los herbicidas aplicados en post-emergencia, los reguladores de crecimiento y la mayoría de los fungicidas e insecticidas.

Cuando se aplica mediante un pivot central, la lámina mínima de agua usada varía, en general, de 4 a 9 mm (40.000 a 90.000 L.ha⁻¹), lo que excede en mucho la cantidad máxima de solución recomendada para las pulverizaciones. Por eso, para el uso correcto de estos productos son básicos tres principios:

- a) En general, los agroquímicos con alta solubilidad en agua no son eficaces.
- b) Los agroquímicos con baja solubilidad en agua son usualmente más eficaces. Las formulaciones disponibles en el comercio deben realizarse con el pivot en su velocidad máxima. La tendencia es que la eficiencia del agroquímico disminuya a medida que se aumenta la lámina de agua aplicada, sobre todo por encima de 8 mm.
- c) La mezcla de aceite no emulsificante con el agroquímico (en proporción de 1:1-3, agroquímico: aceite) puede mejorar la eficiencia, en especial porque reduce el efecto indeseable del uso de un gran volumen de agua.

Ventajas:

- *Potencial de reducción de las dosis de algunos agroquímicos*
- *Reducción de lesiones en las plantas:* Existe un menor riesgo de lesiones en las plantas debido a la mejor distribución del agroquímico en el follaje y a su menor concentración en la parte aérea.

Desventajas:

Mezcla de aceite no emulsificante en el agroquímico: si bien el uso de aceites puede aumentar la eficiencia, representa costos adicionales.

12.7. Formulación de los agroquímicos

La profundidad con que un agroquímico puede desplazarse en el suelo depende del tipo de suelo, del volumen de agua aplicado y de las propiedades del producto (volatilidad, solubilidad en agua, adsorción en materia orgánica y arcilla, fotosensibilidad y vida media). Los agroquímicos que presentan cierta movilidad en el suelo son los más adecuados cuando éste es el objetivo.

En razón del gran volumen de agua empleado en la quimigación, muchas veces no se consigue, con las formulaciones disponibles en el mercado, la misma eficacia que con los métodos convencionales, y la eficiencia entre agroquímicos y formulaciones de un mismo agroquímico varía. En este aspecto, aún queda mucho por aprender. Sin embargo, en términos generales, los productos insolubles o poco solubles en agua y que actúan más como aceite o son solubles en aceite tienen un mejor desempeño cuando el objetivo es la parte aérea de las plantas.

Para muchos agroquímicos, la mezcla con aceite no emulsificante (vegetal o de petróleo) antes de la inyección en el agua de riego mejora su eficiencia. Los aceites vegetales brutos (sin la adición de emulsión) son los más recomendados. Estos se aplican en forma de gotas (aceite más agroquímico) con el agua de riego, pero sin mezclarse con ella. La formulación en aceite tiene más afinidad que el agua en las hojas y con los insectos. Por este motivo, el agroquímico se separa del agua cuando alcanza el objetivo. Para su uso se deben tomar algunas precauciones, con el fin de que su distribución a lo largo del pivot sea lo más uniforme posible, como ser:

- a) La velocidad del flujo de agua dentro de la tubería en el punto de la inyección del agroquímico debe ser superior a 1,5 m.s⁻¹. De esta manera es posible obtener una buena turbulencia del agua, el aceite y el agroquímico. Es conveniente que las gotas sean menores a 100 µm, debido a que están menos sujetas a flotar en el agua dentro del tubo. Las gotas grandes pueden separarse en mayor proporción que las pequeñas en las proximidades del centro del pivot y causar desuniformidad de distribución del producto.

- b) Inyectar el producto en el centro de la tubería. La mayor velocidad del agua en ese punto también ayuda en la reducción del tamaño de las gotas.

12.8. Aplicación de fungicidas

Existen evidencias de que el gran volumen de agua de la quimigación compromete menos el comportamiento de los fungicidas sistémicos que el de los de contacto. El *cyproconazole*, por ejemplo, compensa el potencial de “lavado” de este método con la rápida absorción por las hojas y/o raíz. Algunas ventajas son la aplicación en el momento de mayor actividad del hongo, la mejor uniformidad de distribución, la cobertura casi completa del follaje y la reducción del inóculo en el cultivo.

12.9. Aplicación de insecticidas

Entre los agroquímicos aplicados en la parte aérea de los cultivos por intermedio de agua de riego, los insecticidas alcanzaron los mejores resultados. De las investigaciones disponibles sobre maíz, algodón, soja y hortalizas se deduce que los insecticidas eficaces son los poco solubles en agua o solubles en aceite, es decir, aquellos que pueden ser inyectados en el agua de riego sin diluir, o ser diluidos en agua o en aceite no emulsificante.

Como fue mencionado, la mezcla de insecticida con aceite no emulsificante antes de la inyección en el agua reduce los efectos indeseables del uso de láminas de agua mayores a 6 mm. No obstante, esa mezcla puede provocar desuniformidad en la aplicación del insecticida, en relación a la distribución de agua. Por eso, se debe minimizar la causa de esta desuniformidad, que es el tamaño grande de las gotas (aceite + insecticida) llevadas por el agua. Éstas se encuentran más sujetas a flotar en el agua y, consecuentemente, a ser liberadas en mayor proporción en las proximidades del centro del pivot, en comparación con las gotas pequeñas. Para evitar ese problema se recomienda inyectar el insecticida diluido en aceite sólo cuando la velocidad del agua dentro de la tubería en el punto de inyección del agroquímico esté por encima de $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. La inyección

en el centro de la tubería, donde la velocidad del agua es mayor, también favorece el rompimiento de gotas.

El uso de una bomba dosificadora de precisión es otra medida que ayuda a obtener una buena uniformidad de aplicación.

12.10. Equipos para quimigación

Los equipos mínimos necesarios para llevar adelante este método son: el sistema de riego, la bomba de inyección y el tanque para colocar el producto que va a ser inyectado. Además, la instalación de sistemas de seguridad es fundamental para prevenir la contaminación del ambiente. El mayor número de fracasos relacionados con la contaminación ambiental se refieren al retorno del agua mezclada con el agroquímico hacia la fuente de agua usada en el riego. Por ello, se debe evitar el uso de presión negativa junto a la fuente de agua en la inyección del producto. También es importante instalar un dispositivo que apague la bomba inyectora en el caso de que el sistema deje de funcionar. Eso se puede conseguir fácilmente con un simple sistema de conexión entre el controlador de riego y la bomba inyectora.

Todos los equipos y accesorios que entren en contacto con los agroquímicos deben ser fabricados preferiblemente en teflón, polipropileno o polietileno, que, aunque son más costosos, garantizan una mayor vida útil.

12.10.1. Bombas inyectoras

Los agroquímicos pueden inyectarse en el agua de riego de diferentes maneras. La principal es por medio de bombas inyectoras, que pueden ser del tipo diafragma (Figura 12.3), pistón o centrífugas (Figura 12.4), accionadas por la propia presión del agua, por motores eléctricos o por combustión.

La presión de salida de la bomba dosificadora debe ser mayor que la presión de servicio en el punto de inyección. El punto de inyección en la línea principal deberá estar siempre en la mitad del tubo, y no “paralelamente”, para mejorar la uniformidad de distribución del producto.



Figura 12.3. Detalle de una bomba de diafragma utilizada para inyección de agroquímicos junto a un pivot central



Figura 12.4. Detalle de una bomba centrífuga utilizada para inyección de agroquímicos en un pivot central.

12.10.2. Válvulas de seguridad

La utilización de válvulas de seguridad en los sistemas de riego es esencial para garantizar el éxito de la quimigación. Junto a la tubería de aspiración se debe colocar una válvula de retención, con el objeto de evitar el flujo invertido del agua. También debe instalarse una válvula de alivio del vacío y otra de retención entre la bomba dosificadora y el punto de inyección de la tubería de aspiración, para impedir el rebase del tanque de pre-mezcla.

12.11. Regulación y calibración

Los pasos en la calibración del sistema de riego para la aplicación de agroquímicos son:

Sistemas de riego con movimiento continuo

- Determinar el área de riego.
- Determinar la dosis de agroquímico por hectárea.
- Determinar la cantidad total de agroquímico en el terreno.
- Preparar la solución a ser inyectada.
- Determinar la tasa de aplicación de agua y el tiempo requerido de funcionamiento del sistema de riego.
- Determinar la tasa de inyección por medio del cociente entre el volumen total de solución del tanque y el número de horas de funcionamiento del sistema.
- Verificar la tasa de inyección generada por la bomba inyectora.
- Poner a funcionar el sistema después de la aplicación del agroquímico (por lo general, 5 minutos) con el objeto de limpiarlo.

Sistemas estacionarios de riego

- Seguir el procedimiento indicado para los sistemas con movimiento continuo.
- Determinar la lámina de riego.
- Determinar la tasa de aplicación de agua por el sistema de riego.
- Determinar el tiempo de riego y dividir la lámina de agua por la tasa de aplicación.

Sistemas de riego por goteo

- Seguir el procedimiento recomendado para los sistemas con movimiento continuo.

- Determinar el volumen de agua a ser distribuido por hora y por hectárea.
- Determinar la cantidad de agroquímico requerida.
- Poner a funcionar el sistema el tiempo necesario después de la inyección del producto (por lo general, 15 minutos).

12.12. Influencia de la calidad del agua en la quimigación

La calidad del agua puede afectar la eficiencia de la quimigación. El conocimiento de sus características con relación a pH, dureza y contenido de arcilla y compuestos orgánicos en suspensión es útil para el éxito de esta tecnología. En las mezclas preparadas con alto volumen de agua, como en la quimigación, el problema de estos factores se agrava.

12.13. Seguridad ambiental

El uso de altos volúmenes de agua en esta técnica no implica emplear dosis más altas de agroquímicos en relación a las recomendadas para los métodos convencionales.

En muchos países no existe legislación específica acerca de las precauciones que deben ser tomadas en la quimigación, y las medidas y los equipos de seguridad dependen de la responsabilidad del usuario. De cualquier forma, los sistemas de riego no deben operar sin válvulas de seguridad, drenajes automáticos y dispositivos de interbloqueo entre la bomba dosificadora y la de riego.

La quimigación debe ser dirigida con gran rigor técnico. El conocimiento de las características físico-químicas y de los productos a aplicar es fundamental para obtener resultados satisfactorios con menor riesgo de contaminación ambiental. Características como solubilidad en el agua, adsorción al suelo, vida media, presión de vapor y poder corrosivo se deben conocer antes de seleccionar el producto, para garantizar una aplicación segura y eficaz. En general, productos con baja sorción a los coloides del suelo y vida media larga pueden contaminar la capa freática, mientras que otros con alta sorción a los coloides tienden a quedar retenidos en las capas más superficiales del suelo.

12.14. Referencias consultadas

- Bryan, B.B. Thomas Junior, E.L. 1958. Distribution of fertilizer materials applied with sprinkler irrigation system. University of Arkansas, Agricultural Experiment Station, Fayetteville, 12 pp. (Bull 598).
- Costa, E.F.; Vieira, R.F.; Viana, P.A. 1994. Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Embrapa, Brasília, Brasil, 315 pp.
- Culbreath, A.K.; Brenneman, T.B.; Chandler, L.D.; Sumner, H.R. 1993. Chemigation and ground-spray applications of cyproconazole for control of late leaf spot of peanut. *Plant Disease* 77: 505-507.
- Cunha, J.P.A.R. 2000. Fungigação: eficácia e uniformidade de distribuição do epoxiconazol, em três lâminas de água, no controle de doenças do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis Magister. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, 60 pp.
- Dowler, C.C. 1993. Chemigation. En: Application technology for crop protection. Matthews G.A. and Hislop E.C. (ed.). CAB, London, pp. 317-327.
- Kissmann, K.G. 1997. Adjuvantes para calda de produtos fitossanitários. Basf, São Paulo, Brasil, 24 pp.
- Thomas, J.G.; Pemington, D.A.; Prirger, L. 1998. Chemigation. Mississippi State University, Mississippi, 28 pp. (Publication 1551).
- Threadgill, D. 1985. Current status and future of chemigation. III National Symposium on Chemigation, Tifton, USA, pp.1-12.
- Vieira, R.F.; Sumner, D.R. 1999. Application of fungicide to foliage through overhead sprinkler irrigation – a review. *Pesticide Science* 55: 412-422.

Capítulo 13

Tecnología de aplicación de agroquímicos por vía aérea
Cunha, J. P. A.; Carvalho, W. P.A.

- 13.1. INTRODUCCIÓN
- 13.2. HISTORIA DE LA AVIACIÓN AGRÍCOLA
- 13.3. CARACTERÍSTICAS DE LA AERONAVE AGRÍCOLA
- 13.4. EQUIPOS PARA APLICACIÓN POR VÍA LÍQUIDA
- 13.5. DETERMINACIÓN DE LAS FRANJAS DE APLICACIÓN DE AERONAVES AGRÍCOLAS
 - 13.5.1. PRUEBA DE DEPOSICIÓN DE GOTAS
 - 13.5.2. DETERMINACIÓN DE LA FRANJA DE DEPOSICIÓN
- 13.6. EFECTO DE LA AERODINÁMICA EN LA APLICACIÓN AÉREA: VÓRTICES DE PUNTA DEL ALA Y HÉLICE
- 13.7. IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE APLICACIÓN
- 13.8. REGULACIÓN DE AERONAVES AGRÍCOLAS
- 13.9. REFERENCIAS CONSULTADAS

13.1. Introducción

La aviación agrícola tiene un papel fundamental en el aumento de la productividad, debido a su capacidad de trabajo y cobertura eficiente. El avión agrícola es una máquina para la aplicación de agroquímicos con particularidades diferentes a las terrestres, por las características dinámicas que se presentan en la distribución de los productos. Sin duda, la aplicación agrícola por vía aérea es una herramienta valiosa en la agricultura cuando se realiza dentro de criterios técnicos bien definidos y está acompañada de personal técnico especializado.

El uso de aviones con este objetivo comenzó antes de la Segunda Guerra Mundial. Inicialmente, el número de aeronaves era pequeño y se empleaban aviones militares modificados. Con el tiempo, esta actividad se fue desarrollando y a finales de la década del 40 surgió el primer avión proyectado y construido para fines agrícolas.

La principal ventaja de las aplicaciones aéreas es la gran capacidad operacional, esto es, la posibilidad de tratamiento de grandes áreas en un tiempo reducido. Como consecuencia de este alto rendimiento, es posible efectuar el tratamiento en el momento más oportuno para el control de plagas. Además, se evitan la compactación del suelo y las lesiones a los cultivos, frecuentes en las aplicaciones de equipos terrestres. Se estima que las pérdidas en rendimiento por estos efectos pueden alcanzar hasta un 5%.

No obstante, si no se realiza la aplicación aérea dentro de los parámetros técnicos recomendados, puede causar exoderiva. La baja tasa de aplicación (frecuentemente inferior a 40 L.ha⁻¹) dificulta el logro de una buena cobertura y, por lo tanto, se requieren estrategias que aseguren una buena calidad de aplicación, lo que incluye una atención especial a las condiciones climáticas.

En forma general, el costo de la aplicación aérea es superior al de la terrestre; no obstante, si se comparan los costos del daño mecánico y la compactación producida bajo esta última la relación puede invertirse, aunque estas generalizaciones dependen de cada situación particular. Un factor que tiene un efecto significativo en los costos es la

distancia desde la pista de aterrizaje hasta el área de aplicación. Cuanto mayor sea ésta, mayores serán los costos. Existe la controversia de que el avión sólo es factible en grandes áreas; sin embargo si éstas estuviesen próximas a la pista de aterrizaje, la aplicación podría ser económicamente viable aún en áreas pequeñas. Otro factor limitante es la presencia de muchos obstáculos y/o relieve accidentado.

En síntesis, no se trata de reemplazar la pulverización terrestre por la aplicación aérea cuando los equipos terrestres están disponibles. Pero cuando la capacidad operativa del parque de maquinaria de aplicación de una determinada empresa o productor no es suficiente, o las condiciones climáticas no fuesen favorables debido a largos períodos lluviosos que impiden la entrada de los equipos terrestres, la aplicación "aeroagrícola" es una buena opción tanto desde el punto de vista económico como técnico.

Las aeronaves agrícolas vienen presentando mejoras en forma continua. De esta forma, las aplicaciones son cada vez más eficientes y seguras desde el punto de vista ambiental. La industria química también ha ayudado en este aspecto. Se han desarrollado productos químicos (adyuvantes) para aplicarse junto con los agroquímicos, que permiten un menor riesgo de evaporación y pérdidas por deriva. Por lo tanto, la aplicación aérea es una herramienta importante que los agricultores pueden utilizar para obtener el éxito deseado.

13.2. Historia de la aviación agrícola

El 29 de marzo de 1911, el Inspector Forestal alemán Alfred Zimmermann obtuvo la patente sobre la idea de usar aviones como pulverizadores en el control de plagas. De allí su reconocimiento como “Padre de la aviación agrícola” (Figura 13.1).

En 1921, C. R. Neillie y J. S. Houser en Estados Unidos aplicaron arseniato de plomo para el control de orugas (*Catalpa sphinx*) utilizando una aeronave biplano Curtiss JN-6H, con un 99% de control.

Se registran varios antecedentes de utilización aérea en Europa. El primer país que experimentó esta técnica fue Suiza, y en 1922 se iniciaron las aplicaciones aéreas en Rusia.

Un año después surgió en Estados Unidos la primera empresa de aviación agrícola en el mundo (HUFF-DALAND Dusters, Inc).

Las aplicaciones con “girocópteros” y helicópteros comenzaron en 1938. En 1944, W. E. Ripper, empleando la aeronave Sikorski R4 (helicóptero) evaluó el efecto “*downwash*” (movimiento descendente de partículas) ocasionado por el rotor y las aspas de las hélices de la aeronave en la aplicación agrícola.

Al culminar la Segunda Guerra Mundial, debido a la desactivación de diversas aeronaves militares y con el surgimiento de la industria aeronáutica de

aviones livianos (Piper J-3, PA-12, Pa-18, Aeroncas, Cernas 170 y 180, Faichild F-24 y Stinsons), la aviación agrícola tomó uno de sus mayores impulsos.

Hacia finales de la década del 50, en Estados Unidos se iniciaron las aplicaciones nocturnas, se crearon nuevos equipos como los helicópteros Bell 47 y se realizaron las primeras aplicaciones para el combate de incendios forestales, con aeronaves Air Tankers. En 1947, América del Sur fue asolada por plagas de langostas y Argentina inició las actividades aeroagrícolas. Para ello adquirió helicópteros Bell 47.

Durante este período, el empleo de aeronaves de los más diferentes tipos adaptadas a las aplicaciones aéreas provocó un gran número de accidentes. Preocupados por esta problemática, la *National Flying Farmers Association*, el Colegio de Agricultura Mecánica de Texas (Texas A&M College) y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos iniciaron un proyecto bajo el patrocinio de la administración civil aeronáutica y obtuvieron como resultado, en 1949, la creación de la primera aeronave proyectada y construida con fines de aplicación aérea, con todos los requisitos de eficiencia y seguridad (el prototipo AG-1). Esto sirvió de base para todos los proyectos de aeronaves agrícolas comerciales. Empleando la misma estructura del AG-1, la empresa Transland Co. desarrolló la aeronave AG-2, con 450 hp, provista de motor radial (Figura 13.2).



Figura 13.1. Inspector Forestal Alfred Zimmermann. (Fuente: Krauskopf, 1961, citado por Quantick, 1985)



Figura 13.2. Aeronave AG-2 (Fuente: Quantick, 1985)

Posteriormente se creó la aeronave AG-3, también desarrollada por la Texas A&M College (prototipo de aeronave Piper Pawnee). En el año 1953 fueron construidas las aeronaves Call Air (Quail Commander) y cuatro años después surgieron nuevas aeronaves: la Snow S-2 (Trush Commander) y la Grumman Ag-Cat. En 1959 fueron lanzadas las aeronaves Piper Pawnee, de gran aceptación mundial, y un año después el Funk Fairchild F23-B (PT-19 ala alta).

13.3. Características de la aeronave agrícola

Las características consideradas deseables en un avión agrícola son:

- Gran capacidad de carga, lo que requiere de un motor de gran potencia, fuselaje aerodinámico y de bajo peso.
- Capacidad de decolar alcanzando 16 metros de altura, a partir de pistas semi-elaboradas, usando no más de 400 metros de distancia al nivel del mar.
- Velocidad de crucero de alrededor de 160 km.h⁻¹ combinada con baja velocidad de "stol" (velocidad mínima de sustentación entre 65 y 100 km.h⁻¹).
- Buena estabilidad y maniobrabilidad, sobre todo en los virajes, y que el sistema de comando del equipo agrícola requiera poco esfuerzo del piloto, de tal manera que se reduzca la fatiga.
- Visibilidad lo más irrestricta posible hacia atrás, el frente y lateral, en especial en los virajes.
- Como protección en caso de accidentes, el motor y el tanque de productos agrícolas deberían estar colocados al frente de la cabina, con una estructura especial del fuselaje suficientemente fuerte para proteger al piloto de daños físicos.
- Otros aspectos de seguridad importantes incluyen controles y comandos simples, de fácil identificación manual, y dispositivos de seguridad retráctiles y con fijación segura en el fuselaje del avión, además de ausencia de salientes y palancas puntiagudas.
- Cabina presurizada que impida el ingreso de vapores de los productos aplicados.
- Los productos líquidos se deben poder inyectar en el tanque por tubos desde el fondo de éste. Los productos sólidos pueden ser colocados

por la abertura superior del tanque, que en este caso debe ser de grandes dimensiones.

- El revestimiento del fuselaje del avión debe permitir una sencilla y rápida inspección de la estructura, motor y equipo agrícola, así como una fácil y rápida limpieza y lavado del avión, interna y externa.
- El proyecto y construcción deben garantizar un fácil mantenimiento, y los materiales utilizados deben ser resistentes a la corrosión.

Se acostumbra subdividir las aeronaves agrícolas en dos categorías:

- Livianas: con motores de potencia baja de 300 HP y capacidad de carga por debajo de 1.000 litros.
- Pesadas: con motores de potencia superior a 300 HP, pudiendo llegar a 1.200 HP, y capacidad de carga por encima de 1.000 litros, llegando a 3.000 litros en equipos destinados al combate de incendios forestales.

Es importante resaltar también que, a pesar del uso en menor escala, las aplicaciones aéreas pueden ser realizadas con helicópteros o aeronaves de ala móvil. En estos equipos, de forma similar a las aeronaves de ala fija, también hay un vórtice de punta de ala que puede perjudicar la uniformidad de distribución, en el caso de que las boquillas o cabezales no sean colocados en la barra de forma adecuada. No obstante, el efecto vórtice ocasionado por las hélices del rotor, unido a las velocidades más bajas, favorece la deposición de las gotas en el objetivo.

En general, el costo de aplicación y mantenimiento de los helicópteros es superior al de los aviones. Pese a ello, los primeros presentan ventajas tales como facilidad de trabajo en pequeñas áreas y lugares con topografía irregular, posibilidad de empleo en tareas no relacionadas con el medio agrícola en épocas de baja utilización, buena maniobrabilidad y facilidad de aterrizaje y decolaje.

Quantick (1990) destaca en su libro "Manual del piloto agrícola" que la técnica de vuelo agrícola exige del piloto una habilidad y conocimientos diferente, ya que además de la conducción de la aeronave, éstos deben tener entrenamiento en lo que respecta a agroquímicos, su manejo y sus riesgos.

13.4. Equipos para aplicación por vía líquida

En una aeronave agrícola, el circuito hidráulico para la aplicación de productos por vía líquida es semejante a un pulverizador terrestre. En general, los métodos de formación de gotas más usados son los que utilizan energía hidráulica y centrífuga.

Las boquillas hidráulicas pueden ser de abanico o de cono y se montan sobre una barra, de sección circular o con formato aerodinámico, colocada atrás y debajo del borde de las alas.

Algunos de los siguientes factores también pueden influir en la calidad de la pulverización producida en una aeronave agrícola: tipo de boquilla de pulverización, presión de servicio, caudal de las boquillas, viento aparente (velocidad de vuelo + velocidad del viento), orientación de las boquillas (en relación al flujo de aire) y velocidad relativa líquido/aire.

El cambio de ángulo de la boquilla en relación al viento aparente altera de forma significativa el tamaño de las gotas en las aplicaciones por vía aérea, producto del impacto de la salida de la gota con el viento aparente (Figura 13.3).

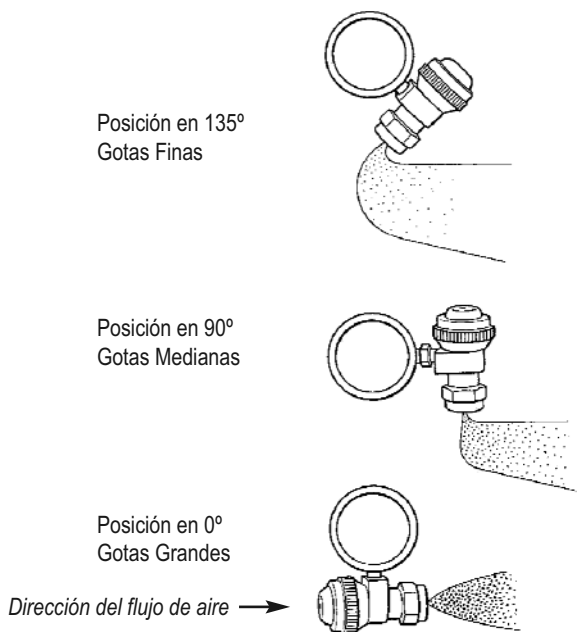


Figura 13.3 Tamaño de las gotas en la pulverización aérea en función de la posición de la boquilla en relación al flujo de aire (Fuente: Christofolletti, 2005)

Un sistema muy utilizado para la formación de gotas en aplicaciones aéreas son los cabezales rotativos, los que requieren elevada precisión en su fabricación. Como fue mencionado, la mayor velocidad de rotación implica un menor tamaño de gotas. El ajuste de la velocidad se consigue con la modificación del ángulo de las aspas del cabezal, las que generan el movimiento rotativo impulsadas por la velocidad de viento aparente.

Se acostumbra subdividir los cabezales rotativos en dos grupos: de malla y de discos. En los primeros, como el "Micronair" fabricado por Micron Sprayers®, un cilindro de malla gira sobre un eje fijo en un soporte, por medio de la acción del aire en movimiento que incide en las aspas de la hélice. El líquido se conduce a esta malla después de pasar por la unidad de restricción variable (URV), responsable del ajuste del flujo del líquido (Figura 13.4).

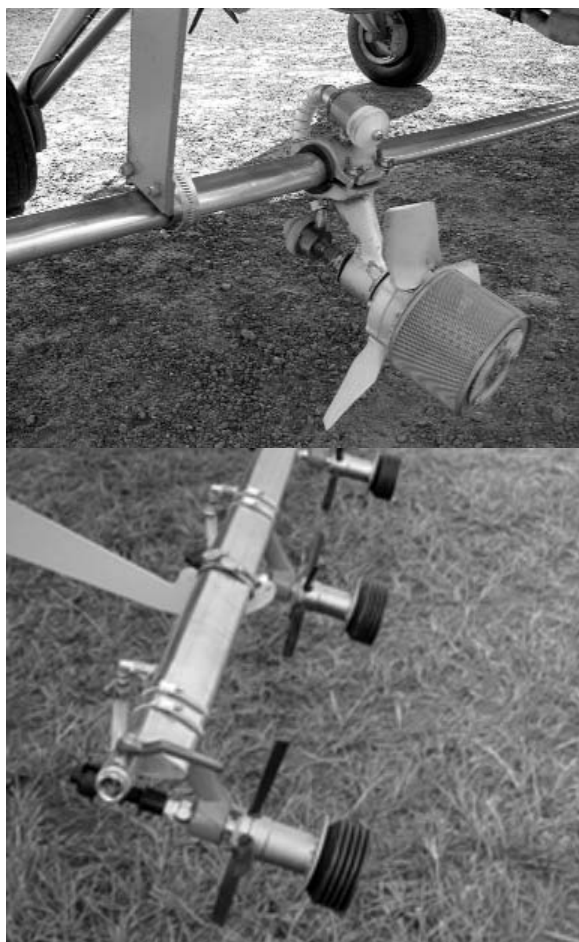


Figura 13.4. Detalle de un atomizador rotativo de malla y de disco

Algunos beneficios de la pulverización centrífuga son:

a) *Aplicación controlada de gotas*

En virtud de las limitaciones de las boquillas hidráulicas en cuanto a uniformidad del espectro de gotas se desarrollaron los pulverizadores centrífugos que, en algunos casos, recibieron un nuevo término: aplicación de gotas controladas (del inglés "*Controlled Drop Application*" y abreviado como CDA).

De esta forma, los cabezales rotativos en el régimen adecuado de trabajo producen gotas cuya uniformidad permite clasificarlas como CDA, con coeficiente de homogeneidad CH menor a 1,4.

b) *Aplicación a bajo y ultra bajo volumen*

El pequeño tamaño de las gotas que se pueden formar y su gran uniformidad de tamaño permiten que se haga un tratamiento con dosis de hasta cinco litros por hectárea.

13.5. Determinación de las franjas de aplicación de aeronaves agrícolas

Uno de los aspectos de mayor relevancia es determinar correctamente las franjas de aplicación. Para esto es necesario seguir ciertos procedimientos operacionales.

El resultado de la selección de mayor cubrimiento con calidad de tamaño de las gotas o una densidad de partículas en el caso de la aplicación de productos sólidos resultará en un mayor rendimiento operacional con una mayor franja de aplicación.

Con los datos obtenidos a través de "muestreadores" es posible determinar las mejores franjas de trabajo para las tasas de aplicación, equipos y condiciones meteorológicas de cada situación. Actualmente existen varios programas de computación que ayudan en el procesamiento de las muestras, ampliando los niveles de precisión de las observaciones.

La franja total de aplicación debe ser entendida como aquella donde se forman los depósitos,

independientemente de los niveles de deposición. Ésta representa el ancho en el cual las partículas fueron depositadas. Su identificación es muy importante, principalmente en la verificación de la deriva.

La franja de deposición efectiva es aquella donde los niveles de depósito satisfacen las necesidades recomendadas. No obstante, en la práctica ésta se confunde con la franja de deposición efectiva operacional (FDEfOp) que resulta de las superposiciones de las sucesivas pasadas de la aeronave.

La FDEfOp se obtiene alcanzando una buena deposición con la mayor distancia entre las pasadas de la aeronave, y se asocia a los menores índices de variación. El piloto deberá estar atento al estudio de esta tasa y al sentido del vuelo, porque en caso de una variación significativa de los valores obtenidos durante la determinación de la franja de deposición total, con una distribución asimétrica de los datos (curva irregular). La selección entre los procedimientos operacionales va y viene ("*back to back*") o del carrusel podrá presentar valores discrepantes entre las aplicaciones.

Esa irregularidad se podrá corregir con la distribución adecuada de la posición de las boquillas en la barra o ajustes del equipo en el caso de productos sólidos, lo que compensará variaciones provocadas por acciones aerodinámicas o por el vórtice de la hélice, distribución de las boquillas y/o equipos acoplados a la máquina.

13.5.1. Prueba de deposición de gotas

Estas pruebas son realizadas con el propósito de evaluar los niveles de deposición y verificar las distancias necesarias del paso para obtener una superposición que produzca las menores variaciones a lo largo de la franja tratada. Generalmente, estas evaluaciones son efectuadas con el apoyo de programas de computación que facilitan el conteo de los depósitos en los papeles hidrosensibles, para su posterior análisis. También es importante evaluar el espectro de gotas.

El primer paso es determinar la malla de muestreo y la planificación del ensayo. A nivel de campo, se utilizan papeles hidrosensibles colocados a una distancia de 1 metro entre cada uno, en una franja

transversal a la pasada del avión, con un ancho cercano al doble del ancho esperado. El avión debe volar preferencialmente con viento cruzado. A continuación se procede al conteo y determinación del tamaño de las gotas.

13.5.2. Determinación de la franja de deposición

Una de las normas utilizadas para la regulación de equipos de aplicación aérea es la ASAE S 386.2. El procedimiento consiste en las siguientes etapas: (1) determinación de la tasa de salida del líquido/sólido de la aeronave, (2) determinación del patrón de distribución por franja, y (3) determinación del ancho de la franja efectiva y de la correspondiente uniformidad de distribución de las franjas superpuestas.

La tasa de salida para los líquidos debe ser determinada midiendo la descarga del líquido del tanque por unidad de tiempo, bajo condiciones normales de vuelo.

Una vez obtenidos los datos de deposición, se procede a construir un gráfico de depósito, que

permite evaluar el perfil de distribución individual y posteriormente se estudian las superposiciones, para determinar las franjas de distribución asociadas a los coeficientes de variación de la distribución conjunta. Ese análisis se debe efectuar simulando el pasaje del avión en los dos sentidos posibles (transversales a la línea de colectores). La franja de deposición efectiva será, entonces, determinada de acuerdo con el coeficiente de variación máximo admitido (Figura 13.5).

Establecer estos parámetros es muy importante porque permite definir el volumen de pulverización y el ancho de la franja de aplicación, corregir errores de uniformidad de aplicación, obtener el número medio de impacto por unidad de área, determinar la uniformidad de distribución volumétrica y establecer la forma más conveniente del sentido del vuelo.

Si el viento no está en calma (superior a $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, medido a 1 y a 3 metros sobre la superficie o el follaje de la planta) el vuelo deberá efectuarse con los efectos del viento minimizados. Los vuelos se deberán hacer paralelos o en el límite de 20° en dirección al viento.

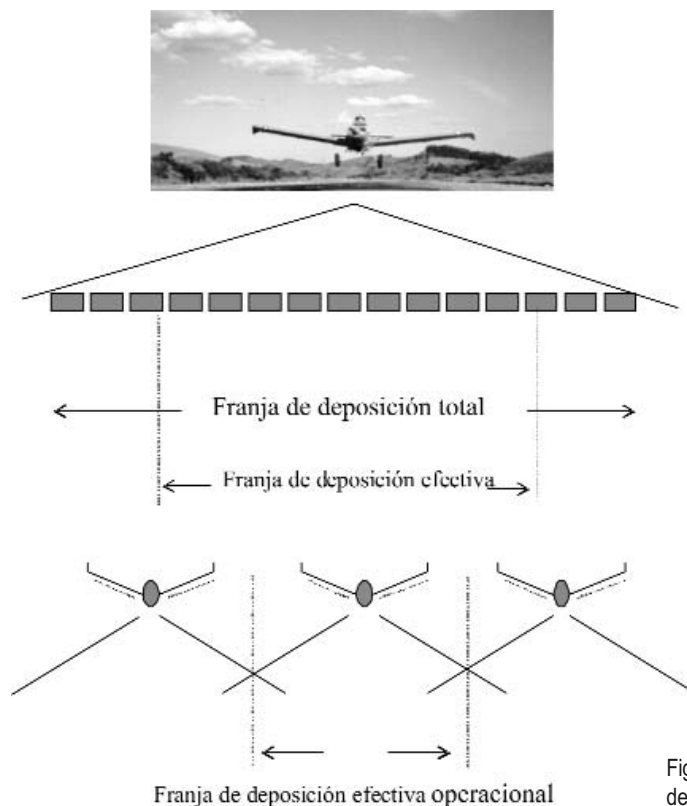


Figura 13.5. Esquema de ensayo de franja de deposición

13.6. Efecto de la aerodinámica en la aplicación aérea: vórtices de punta del ala y hélice

Las diferencias de presión cuando la aeronave está volando, y la tendencia de equilibrio entre las presiones de las partes inferiores y superiores del ala y de los efectos aerodinámicos generan una turbulencia en las extremidades de las alas, llamada vórtice. Estas turbulencias se hacen más notables en condiciones de estabilización atmosférica y en la operación en vuelos bajos.

Una alternativa para minimizar el vórtice del ala es limitar el largo de la barra de pulverización que se va a colocar en la aeronave. La distribución de las boquillas a lo largo de la barra no debe ser superior al 75% de la semi-envergadura. Además, se busca minimizar estos efectos, mejorar el des-

empeño de la aeronave, disminuir el arrastre aerodinámico y uniformizar la deposición. Se están desarrollando nuevas barras con perfiles aerodinámicos, conjuntamente con la adopción de sistemas especiales junto a la punta del ala, conocidos como “wing-lets” o “ag-tips”.

En el caso de cabezales rotativos, su disposición a lo largo del ala también es muy importante. Los fabricantes recomiendan el número de cabezales por aeronave y sus posiciones a lo largo de la barra, con el fin de evitar el vórtice del ala y de la hélice (Figura 13.6.)

Este último tiende a concentrar la neblina en un lado del avión. Por eso, es necesario estudiar la altura de vuelo y la posición de las boquillas o cabezales junto al cuerpo del avión, para reducir el coeficiente de variación de la distribución transversal.

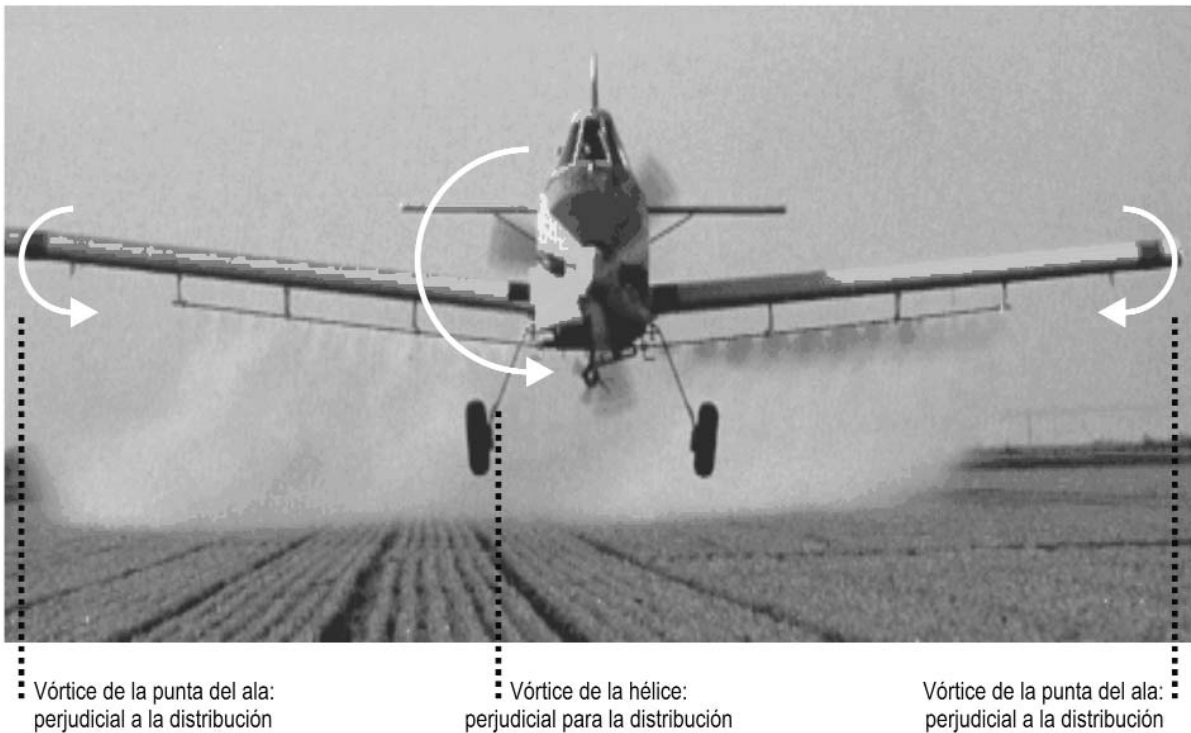


Figura 13.6. Efecto de la aerodinámica en la aplicación aérea

13.7. Identificación de las áreas de aplicación

Una óptima orientación en estas áreas es fundamental para el éxito de la operación. En condiciones de campo, el piloto, bajo la orientación de un coordinador, deberá efectuar un croquis del área, dibujar los puntos de peligro (redes, árboles en la línea de tiro, posición del sol, obstáculos, carreteras, etc.) para planificar las operaciones (Figura 13.7).

Durante muchos años, la orientación fue realizada casi exclusivamente por auxiliares en tierra conocidos como "banderilleros". Este proceso, a pesar de su sencillez en términos operacionales, traía serios inconvenientes, como la necesidad de un entrenamiento intensivo del personal que realizaba esta tarea y el riesgo de contaminación con los productos aplicados.

Con el objetivo, entonces, de sustituir el proceso de banderilleo humano, surgió inicialmente el semi-automático, donde cintas del tipo "serpentina" eran acondicionadas en un tubo y, bajo el comando del piloto se lanzaban sobre el área. Su precisión de orientación no siempre permitía la calidad de los ajustes de la franja. Este método fue completamente sustituido por el banderilleo satelital, adoptado con el surgimiento de las barras de luces acopladas al sistema de GPS y DGPS. La barra de luz es un equipo utilizado para la orientación del operario durante una operación agrícola, de tal forma que éste pueda localizarse en el campo de forma precisa.

La adopción de sistemas de orientación espacial presenta los siguientes beneficios: economía de tiempo y reducción de costos, confiabilidad, eficiencia, precisión y registro de las áreas donde se realizó la aplicación para ser presentadas al cliente (Figura 13.8).

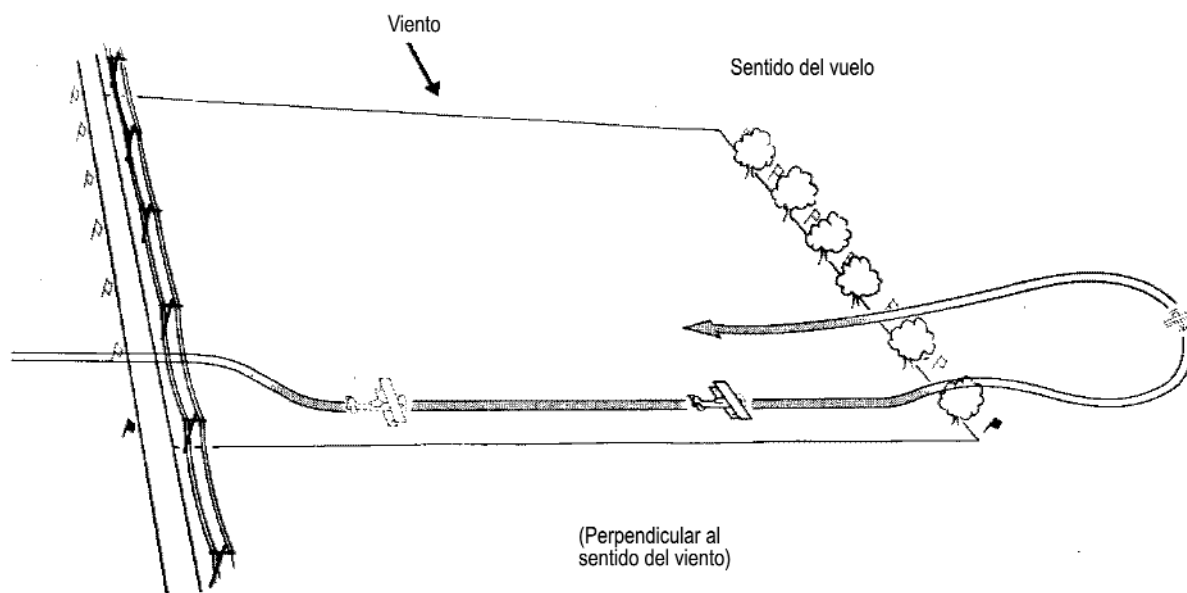


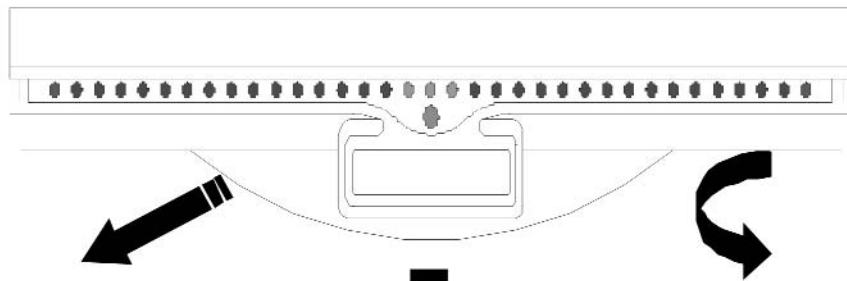
Figura 13.7. Sentido del vuelo en función del viento (Fuente: Akesson y Yates, 1975)



Columna de informaciones

Barra de luces

Indicación de inicio de la aplicación
SOL = Inicio de la Línea / S = Segundos



Luz de Zona de Aproximación Rojo: 4 s para SOL, Amarillo: 2 s para SOL y Verde: en SOL

Luces iluminadas a la derecha o izquierda del centro indican desvío

Texto del monitor

Figura 13.8. Detalle de un sistema de barra de luz instalado en una aeronave agrícola para banderilleo

13.8. Regulación de aeronaves agrícolas

En la actualidad, los pilotos disponen de instrumentos para monitorear y ajustar inmediatamente durante la aplicación, como los medidores de flujo. Estos mecanismos acoplados al sistema DGPS permiten un alto grado de precisión (Figura 13.9).

En la determinación de los cálculos de regulación de aeronaves agrícolas, para mayor facilidad y comprensión se deben seguir algunas etapas. En principio, se determinan la velocidad de vuelo y el ancho de la franja de aplicación.

Los pasos son:

Determinación de la capacidad operativa

La velocidad de las aeronaves, en su mayoría, es expresada en millas por hora, y la capacidad operativa deberá calcularse en hectáreas aplicadas por minuto.

$$Co = \frac{V \times 1.609 \times FDEfOp}{60 \times 10.000} \quad \text{Ecuación 13.1}$$

Donde:

Co: Capacidad operativa (*ha.min⁻¹*)

V: Velocidad (*mph*)

FDEfOp: Franja de deposición efectiva (*m*)

Simplificando:

$$Co = \frac{V \times FDEfOp}{373}$$

Determinación del caudal total del equipo

$$Q_t = n^\circ \text{ Boquillas} \times q \quad \text{Ecuación 13.2}$$

Donde:

Qt: Caudal total (*L.min⁻¹*)

q: Caudal por boquilla (*L.min⁻¹*)

Determinación de la tasa de aplicación (L.ha⁻¹)

$$Q = \frac{Qt}{Co} \quad \text{Ecuación 13.3}$$

El error máximo admitido será del 5%.

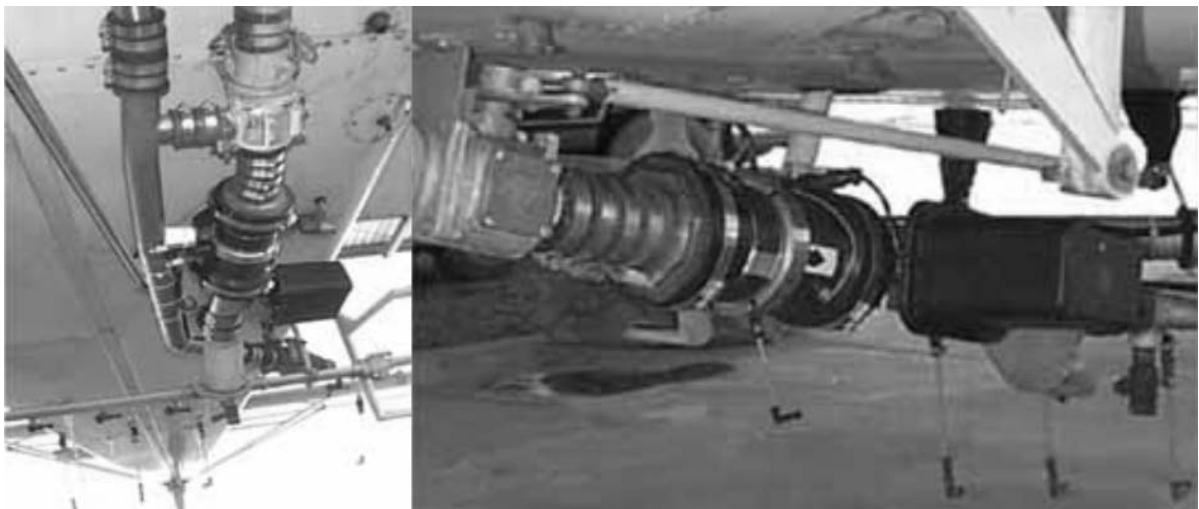


Figura 13.9 Controladores de flujo automático (Fuente: Satloc, 2008)

13.9. Referencias consultadas

- Akesson, N. B.; Yates, W. E. 1975. El empleo de aeronaves en la agricultura. FAO, Roma, 227 pp.
- Balastreire, L. A. 1990. Máquinas agrícolas. Manole, São Paulo, Brasil, 307 pp.
- Carvalho, W.P.A. 1990. Normas para calibração e distribuição de produtos aplicados por via aérea. Apostila do Curso de Coordenação em Aviação Agrícola. CENEA, Sorocaba, Brasil, 22 pp.
- Carvalho, W.P.A. 2003. Desempenho de um controlador de fluxo com dgps para máquinas de pulverização. Tesis Doctoral. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, Brasil, 100 pp.
- Christofoletti, J.C. 2005. Desempenho dos bicos de pulverização em aeronaves agrícolas. Sorocaba, Brasil, 48 pp.
- Hewitt, A.J. 2000. Spray drift: impact of requirements to protect the environment. *Crop Protection* 19: 623-627.
- Lefebvre, A.H. 1989. Atomization and sprays. International Series: Combustion. Hemisphere Publishing Corporation, New York, 421 pp.
- Marquéz, L. 1997. Tecnología para la aplicación de defensivos agrícolas. XXVI Congreso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Campina Grande, Brasil. CD-Rom.
- Monteiro, M.V.M. 2006. Compêndio de aviação agrícola. CBB, Sorocaba, Brasil, 298 pp.
- Owen, M.D.K. 2000. Herbicides labeled for aerial application Disponible en: <http://extension.agron.iastate.edu/extweeds>. Activo enero 2000.
- Ozeki, Y. y Kunz, R.P. 1994. Manual de aplicação aérea. Ciba Agro, São Paulo, 46 pp.
- Quantick, H.R. 1985. Aviation in crop protection, pollution and insect control. Collins, London, 428 pp.
- Quantick, H.R. 1990. Manual del piloto agrícola. Mundi-Prensa, Madrid, 254 pp.
- Satloc. 2008. Aerialace. Guia do usuário. Disponible en www.hemispheregps.com. Activo abril 2008.
- Schroder, E.P. 2002. Pulverização eletrostática aérea: perspectivas e experiências no Brasil. Pelotas, Brasil, 66 pp.

Capítulo 14

Manejo de agroquímicos

Cid, R.; Masiá, G.

- 14.1. PELIGROSIDAD DE LOS PLAGUICIDAS PARA LA SALUD. INTOXICACIONES
 - 14.1.1. POBLACIÓN EXPUESTA AL RIESGO
 - 14.1.2. INGRESO EN ÁREAS RECIÉN TRATADAS
 - 14.1.3. EXPOSICIÓN
 - 14.1.3.1. TIPOS DE EXPOSICIÓN Y VÍAS DE ABSORCIÓN
 - 14.1.3.2. CAUSAS DE LA EXPOSICIÓN
 - 14.1.4. TOXICIDAD
 - 14.1.5. EFECTOS NOCIVOS
 - 14.1.5.1. EFECTOS NOCIVOS AGUDOS
 - 14.1.5.2. EFECTOS NOCIVOS RETARDADOS
 - 14.1.5.3. EFECTOS ALERGÉNICOS
 - 14.1.6. SIGNOS Y SÍNTOMAS DE INTOXICACIONES
- 14.2. PREVENCIÓN DE INTOXICACIONES POR AGROQUÍMICOS
 - 14.2.1. CARGA DEL PRODUCTO EN EL EQUIPO DE APLICACIÓN
 - 14.2.2. APLICACIÓN SEGURA DE AGROQUÍMICOS
 - 14.2.3. PROTECCIÓN PERSONAL
 - 14.2.3.1. NIVELES DE ABSORCIÓN EN DIFERENTES PARTES DEL CUERPO
 - 14.2.3.2. EQUIPOS PARA LA PROTECCIÓN DE LA PIEL
 - 14.2.3.3. EQUIPOS PARA LA PROTECCIÓN RESPIRATORIA
- 14.3. MODO DE ACTUAR ANTE EMERGENCIAS POR INTOXICACIONES. PRIMEROS AUXILIOS
- 14.4. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE AGROQUÍMICOS
 - 14.4.1. PAUTAS GENERALES DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE
 - 14.4.2. ALMACENAMIENTO DE AGROQUÍMICOS
 - 14.4.2.1. MANEJO DE DERRAMES
 - 14.4.2.2. RESIDUOS DE AGROQUÍMICOS
 - 14.4.2.3. DISPOSICIÓN FINAL DE LOS ENVASES Y RESIDUOS DE AGROQUÍMICOS
- 14.5. REFERENCIAS CONSULTADAS

14.1. Peligrosidad de los plaguicidas para la salud. Intoxicaciones

Los agroquímicos son sustancias químicas desarrolladas para eliminar o disminuir determinadas plagas, las que muchas veces tienen procesos químico-biológicos similares a los de los humanos, motivo por el cual también estos pueden ser afectados.

Existen dos maneras de que generen un compromiso para la salud humana.

Toxicidad: Mediante el ingreso del producto al interior del cuerpo, afectando o produciendo lesiones a los órganos.

Lesiones externas: Irritación o daño dérmico más severo.

Algunos agroquímicos son extremadamente tóxicos; bastan muy pequeñas cantidades para causar algún daño. Otros, menos tóxicos, bajo exposiciones prolongadas también son riesgosos.

Riesgo = Toxicidad x Tiempo de exposición

14.1.1. Población expuesta al riesgo

Las personas que están en contacto directo con los agroquímicos son quienes asumen los riesgos principales y quienes deberán adoptar las mayores medidas de prevención. En el primer nivel de riesgo se ubican los aplicadores, luego los productores y trabajadores rurales y, por último, la población en general. Sin embargo, los controles y límites máximos aceptados minimizan los riesgos para los consumidores.

14.1.2. Ingreso en áreas recién tratadas

Se denomina “plazo de seguridad” al intervalo de tiempo que debe transcurrir entre la aplicación de un agroquímico y el ingreso a la zona tratada. Si por algún motivo es necesario entrar al cultivo antes de cumplido el plazo de seguridad, se lo debe hacer con el Equipo de Protección Personal (EPP) adecuado. La indicación sobre tiempo de reingreso se debe buscar en la etiqueta del producto agroquímico. De no contar con esa información se debe seguir el siguiente criterio:

- Productos muy peligrosos (banda roja): tres días.
 - Productos moderadamente peligrosos (bandas amarilla y azul): dos días.
 - Productos que normalmente no ofrecen peligro (banda verde): 1 día.
 - Fumigantes: doce horas, previa ventilación durante 1 hora luego de retiradas las coberturas.
- Siempre que se aplica un agroquímico, en el ingreso del lote tratado se debe colocar un cartel indicador “Peligro – Zona tratada con pesticidas” durante el período de seguridad.

14.1.3. Exposición

Es el contacto de un agroquímico con un organismo. Implica que el producto ingrese o bien se deposite en éste.

14.1.3.1. Tipos de exposición y vías de absorción

Pueden ser:

- Oral: es el caso de ingestión del pesticida.
- Por inhalación. Al respirar los vapores (o polvos) del pesticida.
- Ocular: Al salpicar o entrar en contacto con los ojos.
- Dermal (o dérmica): Por la piel.

La única forma de evitar los efectos de los agroquímicos es prevenir las exposiciones. Esto se puede lograr trabajando con sistemas cerrados, como cabinas aisladas, o mediante el uso de ropa de protección, lavando con frecuencia las áreas de carga y limpieza, y manteniendo los equipos en buenas condiciones de operatividad. En la mayoría de los casos la piel es la parte más expuesta.

Las zonas del cuerpo en las que la piel tiene mayor capacidad de absorción son: genitales, canal auditivo, parte superior de la cabeza y nuca. Además, cuando existen lesiones o la piel está a mayor temperatura y, consecuentemente, con mayor humedad por transpiración aumenta la velocidad de penetración.

El riesgo de inhalación es alto cuando se trabaja con fumigantes, con agroquímicos volátiles y al momento de preparar polvos solubles o mojables.

14.1.3.2. Causas de la exposición

Las causas más comunes de exposición oral cuando se está trabajando con agroquímicos son provocadas por no higienizarse antes de comer, beber o fumar, o mojarse accidentalmente el rostro con plaguicida. Son también causas de exposición oral ingerir pesticidas confundidos por bebidas o comidas o ingerir alimentos contaminados accidental o desaprensivamente con pesticidas.

La exposición por inhalación puede presentarse por contacto con pesticidas en lugares cerrados o mal ventilados, por aspiración de vapores de fumigantes, polvos o nieblas sin equipo de protección, por ingreso en lugares recientemente tratados, por exposición a deriva o por mal uso de respiradores (filtros incorrectos o saturados). Para evitar la exposición dérmica es necesario lavarse las manos y la cara luego de aplicar pesticidas, evitar el uso de ropa contaminada o equipos de protección inadecuados, y no aplicar en días muy ventosos.

Las causas más comunes de exposición ocular son provocadas por realizar las aplicaciones sin la protección adecuada, o bien por frotarse los ojos con los guantes o manos contaminadas.

14.1.4. Toxicidad

Es la capacidad de un agroquímico de causar efectos nocivos dependiendo del tipo y cantidad de ingrediente activo (IA) de los solventes, los inertes y la formulación.

Se expresa a través de la denominada dosis letal del 50% (LD50), que es la cantidad de producto que causa una mortandad del 50% en la población de animales de laboratorio. Estos estudios permiten inferir el riesgo sobre humanos y son la base de la clasificación toxicológica de los agroquímicos.

14.1.5. Efectos nocivos

14.1.5.1. Efectos nocivos agudos

Los efectos nocivos agudos son aquellos síntomas o enfermedades que se producen inmediatamente después del contacto con el pesticida, dentro de las 24 horas. En general, son los pará-

metros que se utilizan con mayor frecuencia para la clasificación toxicológica de los pesticidas. Pueden ser efectos agudos orales, dermales, por inhalación y oculares.

14.1.5.2. Efectos nocivos retardados

Por efectos retardados se entienden todas aquellas enfermedades o lesiones por exposición a los pesticidas, que no aparecen inmediatamente después del contacto con estos. Pueden comprender: efectos crónicos, sobre el desarrollo, sobre la reproducción y sistémicos.

14.1.5.3. Efectos alérgicos

Las alergias son efectos nocivos que se producen en determinadas personas ante la presencia de ciertas sustancias extrañas. Luego de un primer contacto el cuerpo genera defensas inmunitarias, que son sustancias químicas repelentes. Los síntomas aparecen en los contactos posteriores con la misma sustancia extraña y se denominan "respuesta alérgica". Este proceso se conoce como "sensibilización", y a las sustancias que lo producen se las llama "sensibilizantes".

14.1.6. Signos y síntomas de intoxicaciones

Las irritaciones externas se pueden manifestar como: enrojecimientos, ampollas o erupciones, pústulas, dolor de piel, hinchazón, sensación de aguijoneo y dolores oculares, nasales, de boca y/o garganta.

Los síntomas de envenenamiento se pueden manifestar como náuseas, vómitos, diarrea, fiebre, calambres estomacales, dolores de cabeza, mareos, debilidad generalizada, estado de confusión, transpiración excesiva, transpiración fría, escalofríos, sed, dolores de pecho, dificultad para respirar, ritmo cardíaco acelerado, calambres musculares, dolores generalizados, etc.

Las intoxicaciones producidas por determinadas familias de pesticidas producen síntomas que suelen ser muy característicos. Por ejemplo, en el caso del metilcarbamato y los organofosfatos se produce un notable achicamiento de las pupilas.

14.2. Prevención de intoxicaciones por agroquímicos

Por el riesgo que implica el trabajo con agroquímicos se requieren ciertos conocimientos en cada una de las tareas.

Antes de comenzar a trabajar se debe leer exhaustivamente la etiqueta que proporciona datos de dosis, equipos de protección personal (EPP) necesarios, grado de toxicidad, información para el médico ante accidentes, etc.

Se debe contar con un plan de capacitación de los operarios y un plan de emergencia.

El personal que entra en contacto con agroquímicos debe utilizar siempre el EPP indicado en la etiqueta y asegurarse de que se han seguido las pautas de mantenimiento de dicho equipo, además de cuidar su higiene personal, tanto durante como luego de la aplicación. Por otra parte, se deben tomar precauciones durante tareas tales como transporte y almacenamiento del agroquímico, limpieza de derrames, limpieza y/o eliminación de elementos contaminados, regulación y mantenimiento de máquinas pulverizadoras, etc.

También deben prevenir situaciones de contacto con otras personas y evitar el ingreso a vehículos y viviendas con el equipo de protección personal.

El establecimiento deberá estar provisto de material absorbente, agua en abundancia, limpiador de ojos, elementos de limpieza e higiene personal, EPP de repuesto, información de los centros médicos disponibles, la etiqueta y la hoja de seguridad del producto.

14.2.1. Carga del producto en el equipo de aplicación

Es uno de los puntos de mayor riesgo de accidentes, en especial en los casos en que se utilizan productos de elevada toxicidad. El lugar de carga debe ser de uso exclusivo para el manejo de agroquímicos y debe estar ubicado en un sitio elevado y lo más aislado posible para evitar la contaminación de fuentes de agua.

En todo momento se deberán respetar las indicaciones establecidas en la etiqueta del producto para manipular adecuadamente el envase. La carga del producto se llevará a cabo de acuerdo con estándares de seguridad para cada caso y la capacidad nominal del tanque (Figura 14.1).



Figura 14.1. Centro de cargas de equipos pulverizadores

14.2.2. Aplicación segura de agroquímicos

El operario debe trabajar en el interior de una cabina aislada con filtración de aire y vapores orgánicos, de modo que los riesgos de intoxicación se reduzcan notablemente. Dado que en la mayoría de los casos esta condición no es posible de cumplir, surge la necesidad de maximizar las condiciones de seguridad durante la aplicación (elección del EPP y las condiciones ambientales y operativas).

Para cambiar o destapar boquillas, solucionar pérdidas o cualquier otro tipo de tarea, siempre se debe trabajar con el equipo apagado y con el EPP colocado.

14.2.3. Protección personal

La denominación Equipos de Protección Personal (EPP) se refiere a todo tipo de ropa o accesorios para proteger al cuerpo (o alguna de sus partes) de la acción nociva del contacto con agroquímicos o residuos de ellos. Se incluyen trajes de protección, calzado, guantes, delantales, máscaras y respiradores, protectores faciales y/u oculares y cobertura de la cabeza.

Los equipos que mejor resisten a los químicos son confeccionados con plásticos o gomas (butilo, nitrilo, neoprene o PVC). Existen otros materiales -llamados "respirables"- que permiten el intercambio gaseoso y son impermeables al agua y resistentes frente a los agroquímicos. En cuanto al calzado, éste debe tener suela de goma e impermeabilización plástica. En el caso de las formulaciones secas (pellets, cebos, gránulos, polvos) la protección es más simple, ya que cualquier material plástico o de goma es resistente a éstas. El caso más complicado lo constituyen las formulaciones líquidas no hidrosolubles, como EC, LV, ULV, soluciones de baja concentración, floables, aerosoles y emulsiones invertidas. Para esto se usan como solventes el xileno, el fueloil, el gasoil y algunos alcoholes, entre otros. En todos estos casos se debe consultar en la etiqueta el tipo de material del EPP a utilizar.

14.2.3.1. Niveles de absorción en diferentes partes del cuerpo

La parte del cuerpo que presenta menor capacidad de absorción de agroquímicos es el antebrazo. A ese nivel de absorción se le asigna el valor 1. A continuación se detallan los niveles para otras partes del cuerpo, en orden decreciente (Fuente: Superintendencia de Riesgos del Trabajo).

Genitales:	11,8
Zona auditiva:	5,4
Frente:	4,2
Cuero cabelludo:	3,7
Abdomen:	2,1
Planta del pie:	1,6
Palma de la mano:	1,3
Antebrazo:	1,0

14.2.3.2. Equipos para la protección de la piel

Más del 90% de los casos de intoxicaciones se producen por contacto con la piel. Por lo tanto, se debe prestar atención a cubrir adecuadamente la mayor superficie posible. Una vez que el agroquímico se pone en contacto con la parte interna del EPP, éste actúa como un agravante, ya que mantiene al pesticida contra la piel impidiendo su salida tanto tiempo como se use el equipo. En estos casos se absorbe mayor cantidad de producto usando un EPP que sin utilizarlo.

Protección de torso y piernas

La mayor protección se consigue con los EPP de telas impermeables y "respirables", los que se tienen que colocar sobre otra ropa, aunque siempre para pesticidas de baja toxicidad. Dentro de este grupo se puede incluir a las telas de algodón con algún tipo de tratamiento impermeabilizante, cuya duración se limita a unos pocos lavados. En los casos en que se manipulan pesticidas de mediana a alta toxicidad, siempre se debe utilizar equipo impermeable y resistente a los químicos (Figura 14.2).



Figura 14.2. Equipos de protección personal para la aplicación de agroquímicos

Los trajes resistentes a los químicos, de plástico o goma, presentan como desventaja que son muy calurosos, por lo que debajo de ellos debe usarse ropa absorbente.

Otra opción son los delantales químico-resistentes, muy prácticos para los trabajos de preparación, carga y limpieza del equipo pulverizador porque evitan la contaminación del resto del EPP.

Protección de manos y pies

Para la protección de las manos se indica el uso de guantes, aún con agroquímicos de muy baja toxicidad. Los guantes deben ser largos y cubrir hasta el codo o la mitad del antebrazo si se combinan con un EPP que proteja los brazos. Deben ser impermeables, de látex, butilo o nitrilo, entre

otras opciones. Para evitar contaminaciones se deben lavar antes de sacárselos.

En cuanto al calzado, lo ideal son las botas de goma hasta debajo de la rodilla, con el pantalón montado sobre éstas. Para aplicaciones menos riesgosas puede ser suficiente el uso de botines de trabajo impermeables.

Protección de ojos y cara

Las etiquetas deben indicar la necesidad de emplear protección ocular. Para ello se dispone de anteojos, anteojeras, antiparras o pantallas de protección facial completa (Figura 14.3). La protección ocular puede estar incluida dentro del sistema de protección respiratoria.



Figura 14.3. Protección de ojos y cara

14.2.3.3. Equipos para la protección respiratoria

A través de la vía respiratoria la absorción del pesticida es mayor que por la piel. Por ello, la mayoría de los envases de agroquímicos indica en su etiqueta la utilización obligatoria de algún tipo de protección respiratoria. Esta recomendación es más importante cuando se está trabajando en un lugar cerrado, ya que se incrementa el tiempo de exposición y la peligrosidad del agroquímico.

Existen dos tipos de máscaras: con filtración de aire y con entrega de aire (u oxígeno) suplementario. Las primeras son las de mayor uso agropecuario.

Máscaras con filtración de aire

Según el producto que se esté aplicando, puede ser necesario filtrar polvos y nieblas o gases y vapores orgánicos.

Las mascarillas son en general descartables y se usan para filtrar polvos y nieblas, aunque existen modelos con carbón activado que permiten respirar gases y vapores orgánicos por breves períodos o en situaciones de no muy alta concentración. Pueden tener una válvula (respirador) que las hace más cómodas y efectivas (Figura 14.4)

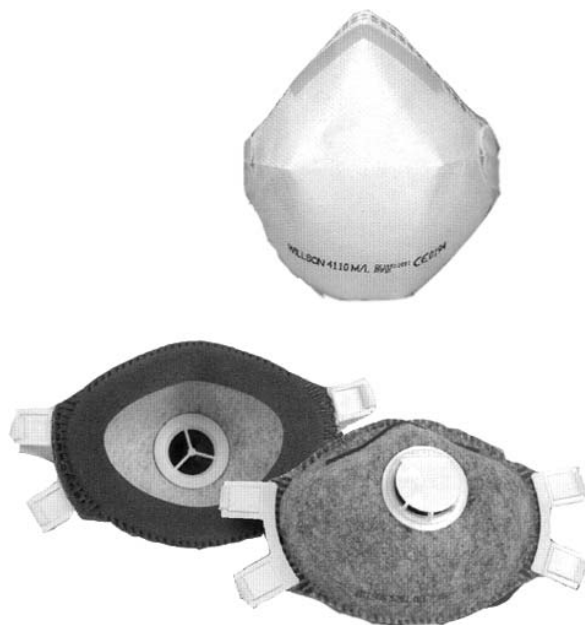


Figura 14.4. Equipos para protección respiratoria. Mascarillas

Las máscaras con filtro pueden contar con uno o dos elementos filtrantes, los que deben reemplazarse con cierta frecuencia en función de la cantidad de partículas de pesticida en el aire, la concentración del vapor, la capacidad del elemento filtrante, el ritmo respiratorio del usuario y la temperatura y humedad ambiental (Figura 14.5).



Figura 14.5. Equipos para protección respiratoria. Máscaras con filtro.

La máscara debe ceñirse al rostro para evitar el ingreso de aire por los bordes.

Aquellas que cuentan con suplementación de aire pueden ser de dos tipos: con conexión por mangueras hasta la fuente suplementaria de aire o con tanques de aire recargables. El primero de los sistemas limita la distancia y el segundo limita el tiempo de trabajo (Figura 14.6).

Estos equipos son recomendables para la aplicación de fumigantes, ya que superan los requerimientos habituales de uso en tareas de carga, preparación y aplicación de otras formulaciones de plaguicidas.



Figura 14.6. Equipos para protección respiratoria. Máscaras con suplementación de aire

14.3. Modo de actuar ante emergencias por intoxicaciones. Primeros auxilios

Ante los primeros síntomas se debe concurrir al centro de atención de intoxicaciones más cercano. Es imprescindible contar con la etiqueta del producto y/o la hoja de riesgos.

Los primeros auxilios son las medidas que deben adoptarse antes de que el accidentado sea atendido por el personal médico. En función de la complejidad del accidente, que depende de los diferentes tipos de exposición, vías de absorción, grado de peligrosidad de los pesticidas, etc, pretender realizar una descripción exhaustiva de los primeros auxilios excede los alcances de este libro. Por lo tanto, se recomienda que toda persona que esté involucrada en el proceso de aplicación de agroquímicos reciba una capacitación continua que le permita actuar de manera inmediata y con pautas claras ante las situaciones que se puedan presentar, teniendo en cuenta que dicha capacitación asegure la apropiación de las destrezas necesarias. Además de ello, es conveniente que al menos una persona capacitada en primeros auxilios esté presente supervisando la tarea del operario que efectúa la aplicación.

14.4. Transporte y almacenamiento de agroquímicos

14.4.1. Pautas generales de seguridad en el transporte

La forma correcta de transportar pesticidas es en la caja de una camioneta o camión, con las correspondientes barandas y/o compuertas colocadas. Para facilitar la limpieza ante eventuales derrames es recomendable plastificar los pisos de las cajas de carga. Los agroquímicos se deben transportar en sus envases originales, con sus etiquetas intactas, correctamente hermetizados e inmovilizados.

Si los envases de agroquímicos líquidos se transportan en cajas, éstas deben ser las originales y respetar las recomendaciones del fabricante para su transporte y almacenamiento, o bien otras cajas correctamente acondicionadas e identificadas.

El transporte de agroquímicos es incompatible con el de cualquier otro producto o tipo de sustancia. De ser necesario un traslado conjunto, los agroquímicos deberán ubicarse en un contenedor específico.

En todos los casos deben transportarse de tal manera que no queden expuestos a las condiciones climáticas ni al alcance de otras personas.

14.4.2. Almacenamiento de agroquímicos

En el establecimiento sólo se debe almacenar la cantidad de agroquímico que se utilizará durante el año. El depósito debe ser exclusivo para los agroquímicos y su tamaño debe guardar relación con el requerimiento anual de almacenamiento. Debe estar aislado, ventilado, separado de otras instalaciones, identificado y provisto con carteles de seguridad pertinentes (Figura 14.7).

La ubicación del depósito será en lugares no inundables y fuera de cualquier área ecológicamente sensible. Además, debe tener un cerco perimetral a fin de impedir el ingreso de personas no autorizadas o animales a sus inmediaciones.

Los materiales constructivos del depósito no deben ser combustibles; sus puertas deben ser amplias a fin de movilizar los productos con comodidad, y con sistema de apertura de seguridad. El piso debe ser de material no absorbente, con un sendero de tránsito definido, y debe poseer algún sistema de drenaje interno con caída hacia

una cisterna, que permita una rápida descontaminación ante eventuales derrames. Debe disponer de elementos de seguridad contra derrames e incendios (matafuego para materiales sólidos, líquidos inflamables y materiales eléctricos) en cantidad suficiente, que dependerá del volumen del depósito y de la carga de fuego.

Los agroquímicos deben ser guardados en sus envases originales, adecuadamente hermetizados, sobre estanterías construidas con materiales no absorbentes, respetando una distancia mínima entre el primer estante y el piso para favorecer la limpieza y la ventilación. Además, deben adecuarse al criterio de almacenar los productos en formulaciones secas en la parte superior de las estanterías y las formulaciones líquidas o los envases pesados en las estanterías inferiores. Por otra parte, las formulaciones volátiles deben ubicarse separadas del resto y próximas a las ventilaciones. La posición de los envases debe asegurar la lectura de las etiquetas sin necesidad de moverlos, la detección de eventuales pérdidas o derrames y facilitar su limpieza.

Deberá mantenerse actualizado el inventario de los productos almacenados, y ubicarlo en una cartelera de fácil acceso y visualización. La información contenida en el inventario deberá permitir la gestión de disponibilidad y el procedimiento ante emergencias.

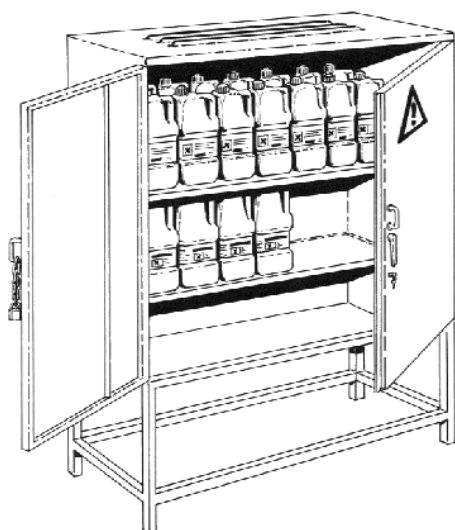


Figura 14.7. Depósitos de agroquímicos

14.4.2.1. Manejo de derrames

Los responsables del almacenamiento y manejo de los agroquímicos deben estar capacitados para actuar con conocimiento y celeridad. No obstante, la secuencia general a seguir en caso de derrame, independientemente de su magnitud, debe ser: control, contención y limpieza. Los contactos telefónicos de los organismos de seguridad más cercanos deben estar disponibles y a la vista.

14.4.2.2. Residuos de agroquímicos

Si bien los agroquímicos almacenados deberían utilizarse durante el año, en la práctica suelen quedar remanentes, los que se deberían destinar a los primeros usos de la próxima campaña. Si ello no fuera posible o hubieran alcanzado su fecha de vencimiento, deberán ser considerados como residuos de agroquímicos.

Bajo esta denominación también se incluye a los materiales contaminados en derrames y los EPP inutilizados. En todos los casos deben almacenarse de manera segura, en envases cerrados y con indicación de su contenido hasta su deposición final.

14.4.2.3. Disposición final de los envases y residuos de agroquímicos

Se deben respetar los procedimientos para la descontaminación e inutilización de los envases vacíos, como así también para su almacenaje previo a su traslado fuera del establecimiento, para que instituciones públicas y/o empresas privadas se ocupen del procesamiento e inactivación de estos envases y de los residuos.

14.5. Referencias consultadas

- Reigart, R.; Roberts, J. 1999 Recognition and Management of Pesticide Poisoning. En: <http://www.epa.gov/pesticides/safety/healthcare/handbook/handbook.htm>
<http://www.npic.orst.edu/rmpp.htm> Fifth Edition 223 pp. Disponible el 1 abril de 2010.
Superintendencia de riesgos de trabajo 2010 Anuario Estadístico de accidentalidad 2008. En: <http://www.srt.gov.ar/data/fdata.htm>. Disponible el 1 de abril de 2010.

Capítulo 15

Agricultura de precisión y aplicación de productos fitosanitarios *Escolà, A.*

- 15.1. INTRODUCCIÓN
- 15.2. LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN
- 15.3. AGRICULTURA DE PRECISIÓN BASADA EN MAPAS
 - 15.3.1. ELABORACIÓN DE MAPAS DIGITALES DE INFORMACIÓN
 - 15.3.2. TOMA DE DECISIONES
 - 15.3.3. TECNOLOGÍA DE DOSIFICACIÓN VARIABLE (VRT)
- 15.4. AGRICULTURA DE PRECISIÓN BASADA EN SENSORES Y EN TIEMPO REAL
- 15.5. AGRICULTURA DE PRECISIÓN BASADA EN MAPAS Y SENSORES Y EN TIEMPO REAL
- 15.6. CARACTERIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN
 - 15.6.1. DETECCIÓN DE LA PRESENCIA DE VEGETACIÓN
 - 15.6.2. CUANTIFICACIÓN DE LA VEGETACIÓN
- 15.7. APLICACIÓN DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS EN CULTIVOS BAJOS
 - 15.7.1. DOSIFICACIÓN VARIABLE SELECTIVA (ON/OFF)
 - 15.7.2. DOSIFICACIÓN VARIABLE PROPORCIONAL
- 15.8. APLICACIÓN DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS EN CULTIVOS ARBÓREOS Y ARBUSTIVOS
 - 15.8.1. DOSIFICACIÓN VARIABLE SELECTIVA (ON/OFF)
 - 15.8.2. DOSIFICACIÓN VARIABLE PROPORCIONAL
 - 15.8.3. Proyecto PULVEXACT
 - 15.8.4. Proyecto ISAFRUIT
- 15.9. CONSIDERACIONES FINALES
- 15.10. REFERENCIAS CONSULTADAS

15.1. Introducción

La agricultura de precisión es una manera reciente de llevar a cabo la práctica agrícola. Las primeras publicaciones científicas sobre este tema datan de los años 90, y recién en 1992 y 1997 se realizaron las primeras conferencias específicas: la *International Conference on Precision Agriculture* (Estados Unidos) y la *European Conference on Precision Agriculture* (Gran Bretaña), respectivamente. Es por este carácter novedoso que muchos de los desarrollos todavía no han llegado al mercado y se encuentran en etapa de estudio. Por este motivo, el presente capítulo se basa en referencias bibliográficas.

15.2. La agricultura de precisión

El enfoque de la agricultura de precisión es multidisciplinario y, por lo tanto, tiene aplicaciones en todos los campos relacionados con la agronomía. Este hecho implica que sea difícil considerar una única definición. La más completa, y también la más oficial, es la que recoge el Código de Leyes de los Estados Unidos, publicada en 2002:

El término "agricultura de precisión" significa un sistema de cultivo integrado basado en la información y la producción, que está diseñado para incrementar la eficiencia de producción, la productividad y la rentabilidad de toda la explotación a largo plazo y de manera localizada minimizando el impacto no deseado sobre la fauna y el medio, todo ello:

- A. combinando las ciencias agrícolas, las entradas de insumos agrícolas y prácticas, las bases de datos de producción agronómica, y las tecnologías de agricultura de precisión para manejar de forma eficiente los sistemas de producción agronómicos, hortofrutícolas y ganaderos;*
- B. recopilando información de la explotación sobre el terreno relativa a la variación y a la interacción de factores espaciales y temporales locales y específicos que afecten a la producción agrícola y ganadera;*
- C. integrando esta información con datos apropiados derivados de la exploración del terreno, de la*

teledetección, y de otras tecnologías de agricultura de precisión de manera oportuna con tal de facilitar la toma de decisiones en la explotación;

- D. empleando esta información para prescribir y generar aplicaciones locales específicas de entradas agrícolas y prácticas de manejo en sistemas de producción agrícolas; o*
- E. empleando esta información para permitir la recolección mecanizada inteligente y los sistemas de clasificación para cultivos hortofrutícolas".*

En este capítulo se empleará la expresión agricultura de precisión para hacer referencia al conjunto de prácticas, técnicas y tecnologías que participan en la recopilación de información, la toma de decisiones y el manejo específico localizado.

Todos los autores coinciden en que la agricultura de precisión se basa en medir la variabilidad espacial y/o temporal de diferentes parámetros del proceso productivo agrícola como la producción del cultivo, la composición del suelo, la masa vegetal y otros, con el objeto de elaborar una estrategia de manejo específica que permita incrementar la eficiencia productiva. La escala utilizada debe ser menor que la parcela para localizar el manejo. Esto permite invertir más recursos en las zonas con potencial de mejora de productividad y reducir las aportaciones en las zonas saturadas sin chances de producir más ni mejor.

Su implementación se justifica si:

- a) Existe una variabilidad espacial significativa dentro la parcela que afecte a la producción.
- b) Las causas de la variabilidad son identificables y mensurables.
- c) La información generada permite modificaciones en el manejo del cultivo de forma diferenciada.

La práctica de la agricultura de precisión se puede llevar a cabo siguiendo tres posibles metodologías basadas en mapas digitales de información, sustentadas en sensores y en tiempo real y en la combinación de éstas.

15.3. Agricultura de precisión basada en mapas

Se fundamenta en la generación de mapas digitales que representen la distribución espacial en la parcela de uno o varios parámetros del cultivo, del suelo o de otros factores en un instante determinado. A partir del análisis de estos mapas se elaboran estrategias de actuación que indicarían qué, cómo, cuándo, cuánto y dónde haría falta realizar una determinada operación de manejo dentro de la parcela.

15.3.1. Elaboración de mapas digitales de información

Un mapa es la representación de la distribución espacial de una determinada variable en el momento en que se realizó la medida. Un mapa digital es un archivo informático que consta de una trama de píxeles en la que cada unidad contiene, como mínimo, tres datos: la coordenada X, la coordenada Y y el valor numérico de la variable estudiada en aquel punto. Las coordenadas X e Y sirven para posicionar el píxel en un sistema georeferenciado de tipo relativo o absoluto. Es evidente que el desarrollo de los sistemas satelitales de navegación global, SSNG, (en inglés GNSS, sigla de *Global Navigation Satellite System*) y los diferentes sistemas de corrección de la posición facilitaron en gran medida que se implantara esta tecnología y se accediera a la georeferenciación instantánea de las medidas. El sistema que permitió el desarrollo inicial de la agricultura de preci-

sión, y actualmente el más utilizado, fue el GPS americano (sigla de *Global Positioning System*, sistema de posicionamiento global), el único disponible hasta hace poco. Además, existen otros como el GLONASS (sigla de *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*), de origen ruso, y el futuro sistema de posicionamiento europeo, el GALILEO.

La disciplina que permite el análisis estadístico de las muestras georeferenciadas para su posterior mapeado es la geoestadística. Mediante procedimientos matemáticos, ésta permite interpolar las diversas mediciones puntuales o discretas realizadas sobre el terreno (Figura 15.1).

Aparte de los mapas de cosecha, también es habitual mapear otros parámetros del cultivo o del suelo para tener información adicional que pueda ayudar en el momento de tomar decisiones de manejo. Una parte importante de la investigación que se hace actualmente en agricultura de precisión se centra en el desarrollo de sensores que permitan el muestreo y análisis de las muestras en continuo, a medida que el dispositivo avanza sobre el terreno (en inglés, *on-the-go*). Una fuente de información clásica es la teledetección o radiometría. Esta disciplina se basa en la interpretación de imágenes tomadas desde plataformas remotas (vuelos con aviones a gran altura o desde satélites) hasta vehículos terrestres, pasando por plataformas aéreas próximas (como vuelos con modelos teledirigidos o vuelos con avionetas convencionales).

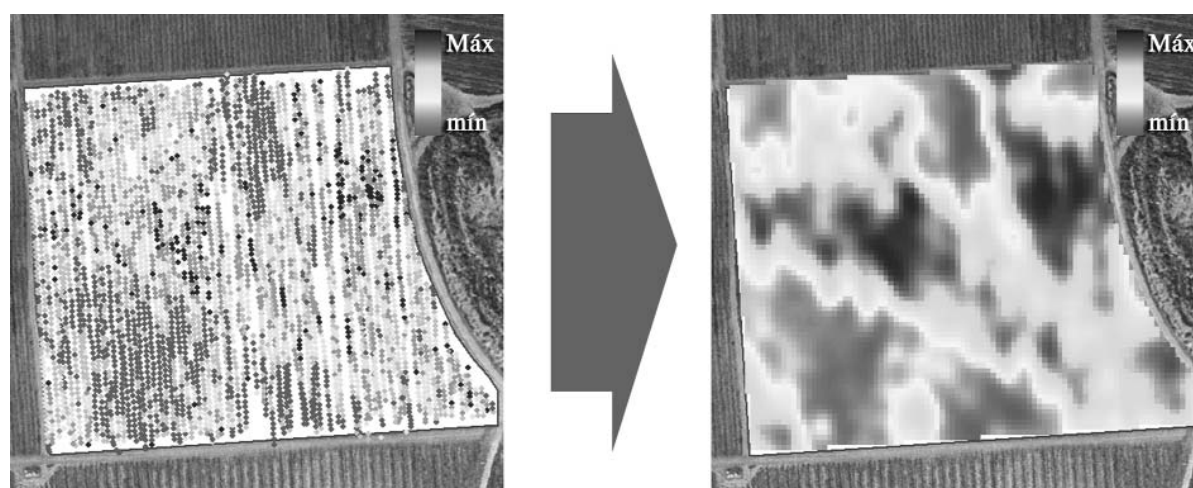


Figura 15.1. Datos de producción discretos tomados por una vendimiadora y representados en un mapa vectorial (izquierda) y mapa ráster de la vendimia (derecha) después del tratamiento geoestadístico correspondiente (Fuente: Agelet-Fernández, 2007; Arnó et al., 2009b)

En todos los casos, las imágenes se toman con cámaras fotográficas multispectrales capaces de cuantificar y registrar la reflectividad de la superficie, que enfocan para diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético. En función del vehículo o plataforma donde se embarque el sensor radiométrico se pueden obtener imágenes de la reflectividad del cultivo o del suelo con diferentes características.

Algunas de las variables estimables a partir de imágenes remotas son el contenido de humedad del suelo, el estado fenológico del cultivo, su biomasa o productividad, tasa de evapotranspiración, posibles deficiencias nutricionales, enfermedades e infestaciones de malezas y de insectos. El índice más empleado en agricultura es el *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), que se relaciona con el vigor del cultivo. Para obtener mayor flexibilidad y resolución espacial hay trabajos basados en medidas tomadas desde plataformas terrestres y con sensores manuales. El inconveniente de usarlo es que hace falta desplazar el sensor por toda la explotación para obtener las medidas para elaborar un mapa suficientemente representativo. Por otro lado, la resolución espacial de los mapas elaborados con estas técnicas será muy superior a la obtenida con imágenes satelitales.

Otro campo en el que la metodología de trabajo basada en mapas tiene aplicaciones importantes es el mapeado de malezas. En este caso el objetivo es georeferenciar las zonas infestadas para aplicar

el herbicida sólo en las zonas afectadas. En los inicios de la agricultura de precisión los mapas de malezas se realizaban a partir de observaciones visuales durante las cuales se grababa la localización de los diferentes manchones (parches o rodales) con dispositivos electrónicos portátiles conectados a un sistema de posicionamiento. Más adelante se reemplazó la observación visual por la artificial. Estos trabajos recopilan simultáneamente información de posicionamiento suministrada por receptores satelitales y de imágenes del terreno obtenidas mediante cámaras digitales. Søggaard (2005) fue más allá y diseñó algoritmos capaces de reconocer varios tipos de malezas a partir de imágenes digitales.

Los sistemas de información geográfica (SIG) son la herramienta informática más adecuada para la representación y manipulación de los mapas de una misma parcela, tanto si son de variables diferentes como de un mismo parámetro medido en instantes de tiempos diferentes. El uso de un sistema de información geográfica permite visualizar los datos de los diferentes mapas y solaparlos (Figura 15.2).

El paso siguiente es analizar la distribución espacial de las variables y verificar la existencia de algún patrón o tendencia que permita crear zonas dentro de la parcela, con valores similares al parámetro estudiado. La identificación de zonas de características similares puede justificar la aplicación de un manejo diferenciado para cada una, si así se cree oportuno.

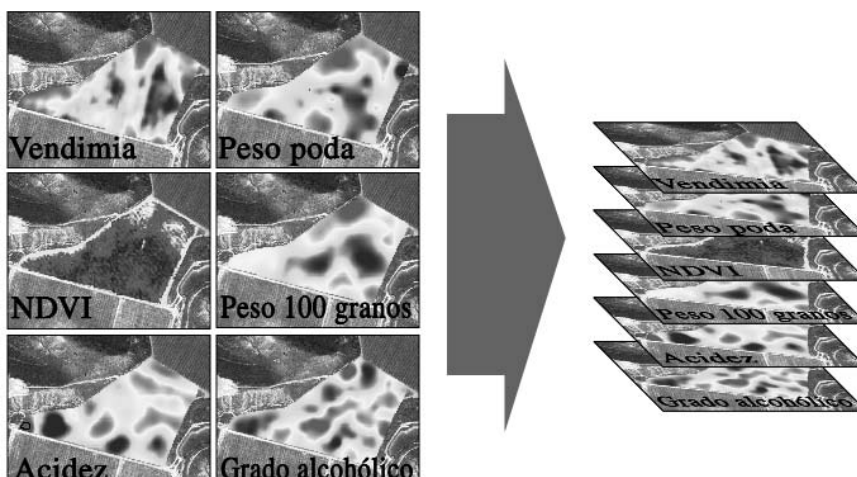


Figura 15.2. Superposición de las distintas capas de información obtenidas de una parcela de viña correspondientes a los distintos mapas digitales de información generados (Fuente: Agelet-Fernández, 2007; Arnó et al., 2009)

15.3.2. Toma de decisiones

Una vez creados los mapas de distribución de las variables con las zonas correspondientes, es necesario integrar toda la información recopilada junto con los conocimientos agronómicos de la zona y otras informaciones de interés, para elaborar la estrategia de manejo más adecuada (Figura 15.3). Es importante remarcar que el conocimiento y la experiencia local nunca podrán ser sustituidos por datos recopilados por sensores y sin una correcta interpretación agronómica.

Los sistemas de apoyo a la decisión sirven para analizar conjuntamente toda la información disponible y decidir qué operación es necesario llevar a cabo y si ésta debe ser homogénea en toda la parcela, o bien es necesario crear zonas de actuación diferenciada. La salida de un sistema de apoyo a la decisión podría ser un mapa digital de actuación donde se reflejarán la zonificación de la parcela y las acciones a realizar en cada zona. Es posible que exista un desfase temporal importante entre la toma de datos y el momento en que el usuario ejecuta el manejo decidido.

En la actualidad, es habitual que los sistemas de decisión integren el análisis de los parámetros mapeados con los modelos de simulación y sistemas expertos ya existentes desarrollados para la agricultura convencional.

En el caso del manejo de malezas mediante una aplicación selectiva de herbicida, la decisión re-

sulta relativamente sencilla cuando se dispone de un mapa de infestación. El primer paso consiste en establecer un umbral de infestación a partir del que se decide efectuar un tratamiento; luego se genera un mapa de actuación que indica la aplicación del producto sólo en las zonas infestadas por encima del umbral. Sin embargo, para conseguir un control eficaz pero también eficiente es necesario tener en cuenta otros parámetros como las características biológicas de la maleza y los riesgos ambientales.

Esto es más complejo cuando se trata de decisiones de manejo como la dosis de producto a aplicar (fitosanitarios, fertilizantes, etc.). En lo que hace a la determinación de la dosis en fertilización de cultivos o en otras operaciones de distribución, queda todavía mucho trabajo por hacer para llegar a optimizar las dosis. En el marco del proyecto español PULVEXACT se han desarrollado varias herramientas para el soporte a la decisión del volumen de aplicación unitario y, por tanto, de la dosis de producto fitosanitario. Éstas se denominan DOSAVIÑA, DOSAFRUT y DOSACÍTRIC para cultivos de viña, frutales y cítricos, respectivamente. En la actualidad se encuentran en fase de validación en explotaciones comerciales. Aunque estos sistemas no están específicamente diseñados para la agricultura de precisión, se está estudiando la posibilidad de embarcarlos en un pulverizador para la toma de decisiones en tiempo real.

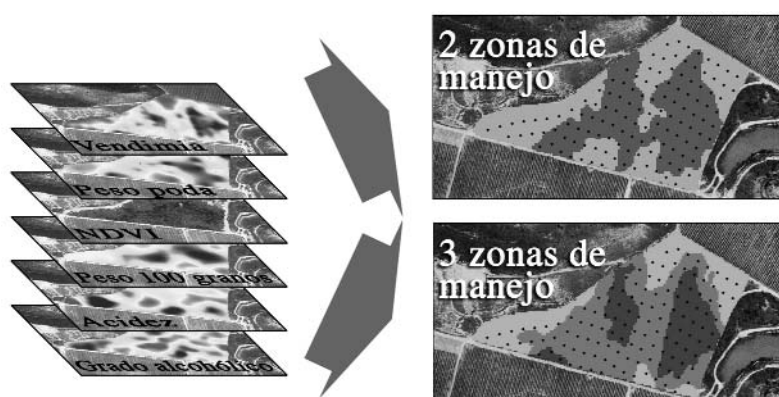


Figura 15.3. Zonificación de una parcela de viña en dos o tres zonas de manejo diferenciado a partir del análisis de los mapas digitales (Fuente: Agelet-Fernández, 2007; Armó et al., 2009)

Un problema importante en esta etapa de toma de decisiones es la falta de formación de muchos agricultores y técnicos en el manejo de las nuevas tecnologías pero, sobre todo, en la interpretación de la información generada y la obtención de información de calidad.

15.3.3. Tecnología de dosificación variable (VRT)

El ciclo de la agricultura de precisión se cierra con la realización de las operaciones de manejo. Si el mapa generado contempla actuaciones diferenciadas por zonas, es recomendable disponer de maquinaria con una tecnología tal que permita un ajuste automático continuo de los parámetros de trabajo en función de la posición sobre el campo a partir de la información del mapa de actuación. Esta tecnología se denomina “de dosificación variable” (*Variable Rate Technology*, VRT) y se puede clasificar, según su finalidad, en:

- a) **Tecnología de dosificación variable selectiva:** en el momento en que se requiere efectuar una aplicación, la salida del producto (caudal másico o volumétrico) es constante. El resultado es que la dosis usada en las zonas donde se ha aplicado producto, entendida como cantidad de producto por unidad de superficie cultivada, es constante. Sin embargo, si se analiza a nivel de parcela, la cantidad de producto aplicada es variable. Si no se llevó a cabo una aplicación de cobertura total, habrá zonas tratadas y zonas no tratadas.
- b) **Tecnología de dosificación variable proporcional:** la distribución del producto se realiza de manera proporcional a algún parámetro relacionado con el cultivo o el suelo. El resultado es una dosis variable proporcional al parámetro o combinación de parámetros seleccionados. Esta tecnología mantiene las características de la dosificación variable selectiva y añade la posibilidad de variar la materia activa distribuida en forma continua.

La maquinaria agrícola ha ido incorporando tecnologías de dosificación variable en la aplicación de productos fitosanitarios (donde es relativamente sencillo modificar el caudal pulverizado) y la distribución de fertilizantes minerales y orgáni-

cos (donde se puede modificar el caudal másico de producto que sale de la tolva o de la cisterna).

15.4. Agricultura de precisión basada en sensores y en tiempo real

La metodología basada en sensores y en tiempo real se fundamenta en la medida de uno o varios parámetros con uno o varios sensores, y en decidir la dosificación a aplicar en el mismo momento en que el equipo de distribución pasa por la zona donde se acaba de realizar la lectura del o los sensores. Por este motivo se usa la expresión “tiempo real” en su denominación.

Llevar a cabo aplicaciones mediante dosificación variable basándose en sensores en tiempo real implica colocar sensores que midan los parámetros requeridos en el tractor o sobre la misma herramienta. Asimismo, es necesario incorporar dispositivos electrónicos para procesar la información adquirida y decidir la actuación correspondiente. Por último, se requiere la participación de un sistema de dosificación variable con sus elementos de control y todos los mecanismos electromecánicos o electrohidráulicos necesarios. Un aspecto limitante de importancia en esta metodología es la falta de tiempo para analizar la información y decidir una actuación. La disponibilidad de tiempo vendrá condicionada por la resolución espacial del muestreo y por la velocidad de avance del equipo. En el caso de la metodología basada en sensores y en tiempo real, la información que se genera con estos equipos no debe ser necesariamente georeferenciada y, por lo tanto, no es necesaria la presencia de un receptor satelital ni el posterior tratamiento geoes-tadístico. De esta manera se eliminan procesos complicados para la elaboración de acciones de manejo y el desfase temporal entre la recolección de información y la aplicación del insumo.

Una de las aplicaciones más conocidas de la tecnología de dosificación variable selectiva es la pulverización de herbicidas mediante dispositivos de reconocimiento de malezas como el *WeedSeeker* (Estados Unidos). Otra es la dosificación variable de insumos agrícolas. Los dispositivos más conocidos son tres sistemas para la dosificación variable de fertilizantes y fungicidas en cultivos bajos.

Dos de ellos se basan en sensores ópticos para la medida y análisis de la reflectividad del cultivo y la determinación de su vigor, y el tercero consiste en un sensor mecánico de tipo pendular para estimar la biomasa del cultivo (Figura 15.4).

15.5. Agricultura de precisión basada en mapas y sensores y en tiempo real

Esta metodología busca aprovechar las ventajas de las dos técnicas descritas. El mapa de aplicación, fruto del proceso de elaboración de la metodología basada en mapas, permite tener en cuenta información complementaria que puede enriquecer el proceso de toma de decisión y analizarla en profundidad. En tanto, los equipos que trabajan con sensores y en tiempo real proporcionan un ajuste fino de la dosis final utilizada.

En la aplicación de productos fitosanitarios, esta metodología permitiría ajustar la dosis con un enfoque “macro” a partir de la información reflejada en el mapa de aplicación, y refinar el ajuste “micro” a partir de la información recabada por los sensores que trabajan en tiempo real.

15.6. Caracterización de la vegetación

En numerosas ocasiones, tanto para la práctica de la agricultura de precisión basada en mapas digitales de información como para la basada en sensores y en tiempo real, puede ser necesario detectar y cuantificar la vegetación. El interés por la medida y la caracterización de los cultivos ha ido tradicionalmente ligado al proceso productivo (estudios de interceptación de la luz, estimación de

producciones, etc.). Inicialmente los trabajos se centraron en el desarrollo de metodologías para la caracterización del follaje a partir de medidas manuales o apreciaciones de los propios agricultores. La misma aplicación del método de dosificación *Tree Row Volume* (TRV) conlleva que el agricultor realice una serie de medidas en su plantación para determinar la altura y el ancho de sus árboles. Hacerlo en forma manual introduce un componente de variabilidad importante que puede afectar a la precisión y repetibilidad del resultado final. Más adelante, los mismos autores del método TRV y otros investigadores indicaron que, además de las dimensiones del follaje, también debería tenerse en cuenta su densidad.

En la actualidad, los sistemas para la medición del follaje utilizan diferentes tipos de sensores: mecánicos, fotoeléctricos, radiométricos o ultrasónicos, o bien aplican técnicas tales como el análisis de imagen, la estereometría, el radar (*radio detection and ranging*, es decir, detección de objetos y medida de la distancia mediante ondas de radio) o el lidar (*light detection and ranging*, o sea, detección de objetos y medida de la distancia mediante haces de luz láser) (Figura 15.5A).

15.6.1. Detección de la presencia de vegetación

Un primer paso para la caracterización electrónica de la vegetación en cultivos herbáceos fue la mera detección de su presencia. Los primeros dispositivos empleados fueron los sensores mecánicos; sin embargo, en los años 60 y 70 la electrónica y las computadoras empezaron a abrirse paso en la agricultura. Debido a estos avances se comenzaron a utilizar sensores eléctricos y electrónicos y, en la década del ochenta, de tipo fotoeléctrico para la detección de presencia de plantas.



Figura 15.4. Sistemas para la dosificación variable proporcional en tiempo real: A) Yara N-Sensor montado encima de la cabina del tractor; B) GreenSeeker montado sobre una plataforma terrestre; C) Crop-Meter montado en la parte delantera del tractor (Fuente: Yara, 2010; del autor; Agrom, 2010)

Para evitar falsos positivos debido a la presencia de objetos que pudieran confundirse con la vegetación, en la década del 70 se iniciaron los primeros trabajos para la implementación de sensores radiométricos. Estos son capaces de diferenciar las plantas de otros objetos gracias a que analizan la respuesta radiométrica del cultivo en varias longitudes de onda. Dicha respuesta se compara con un patrón guardado en la memoria para poder distinguir entre suelo desnudo y plantas, ya sean cultivo o malas hierbas.

El análisis de imagen es otra tecnología utilizada. En este campo ha habido muchos desarrollos, ya sea basados en fotografía digital o video. La mayoría de estos sistemas intenta discriminar formas o colores para distinguir las plantas del suelo, o bien diferenciar cultivo de maleza. Incluso se han llegado a diseñar algoritmos para el reconocimiento automático de malas hierbas (Søgaard, 2005; Gerhards y Oebel, 2006), sin que se tenga constancia de que éstos hayan llegado al mercado.

Otras técnicas más difundidas en la detección de presencia de follaje en cultivos arbóreos se basan en el uso de sensores de ultrasonidos (Figura 15.5B). Esta tecnología consiste en enviar un tren de ondas de ultrasonidos y estimar el tiempo transcurrido hasta la recepción de un hipotético eco, lo que permite calcular la distancia entre el sensor y la vegetación.

Paralelamente, a principios de los 90 se presentó en Estados Unidos una patente que consistía en un pulverizador capaz de detectar la presencia de las copas en plantaciones cítricas con un dispositivo desarrollado por la industria militar, el lidar. Estos sensores utilizan un haz de luz láser para estimar la distancia a un hipotético obstáculo situado en su trayectoria, de forma análoga a los sensores ultrasónicos. La diferencia con los demás radica en que el lidar es capaz de llevar a cabo un barrido de distancias en el plano deseado, debido a que emplea un espejo rotativo que permite proyectar el haz de luz en diferentes direcciones. La señal de respuesta de este sensor es una matriz de distancias con cada uno de los ángulos escaneados.

Más recientemente, y favorecidas por la mayor capacidad de cálculo que han ido adquiriendo los sistemas informáticos, las técnicas de análisis de imagen han ido aplicándose a la detección de la presencia de follaje de árboles. Del mismo modo, otros tipos de sensores diseñados y utilizados en otros sectores han hecho aparición en la agricultura para superar los posibles inconvenientes de las tecnologías empleadas hasta el momento. Este es el caso de un radar de corto alcance para detectar la presencia del follaje en plantaciones de frutales.

Sin embargo, los sensores más usados en la detección de vegetación se basan en la radiometría, los ultrasonidos y la tecnología lidar.

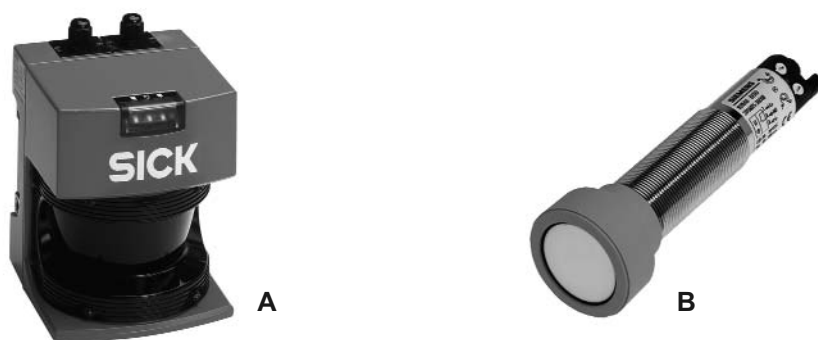


Figura 15.5: A) Lidar para el escaneado de distancias en un plano. B) Sensor de ultrasonidos para la estimación de distancias lineales; (Fuente: Siemens, 2010; Sick, 2010)

15.6.2. Cuantificación de la vegetación

Una vez disponibles las herramientas necesarias para detectar la vegetación, el siguiente paso es cuantificarla y caracterizarla. En este caso, las diferencias entre los cultivos bajos y los arbóreos y arbustivos hacen conveniente una división de las aplicaciones diseñadas, si bien las técnicas empleadas pueden ser similares. La mayoría de las técnicas que se usan en fruticultura han sido primero desarrolladas y utilizadas en cultivos bajos.

Cultivos bajos: los primeros trabajos para la cuantificación de la biomasa datan de la década del 80, y en ellos se utilizaron sensores de ultrasonidos. En esos trabajos se empleó la información de la estimación de la distancia de los sensores al cultivo y el análisis de la intensidad de la respuesta. Las primeras investigaciones indicaron una relación clara entre la señal recibida y las medidas manuales de densidad de cultivo. Un tren de ondas de respuesta más compacto indica una masa de cultivo más densa que un eco más difuso. Según las características técnicas de cada dispositivo y su montaje, un sensor de ultrasonidos podría escanear un ancho de hasta 50 cm. La tecnología lidar también ha sido utilizada en la cuantificación de la biomasa de cultivos herbáceos. En este caso, con un solo sensor es posible escanear mucha más superficie que con un sensor de ultrasonidos. Además, el impacto del haz de luz láser es menor que el producido por los ultrasonidos, lo que permite una caracterización mucho más precisa.

Otros sensores que sí han llegado a comercializarse son los mostrados en la Figura 15.4. Los sensores ópticos son el Yara N-Sensor (*Yara International ASA*, Oslo, Noruega) y el GreenSeeker (*NTech Industries, Inc.*, Ukiah, EE.UU.). Además de diferenciar entre vegetación y suelo desnudo, son capaces de cuantificar la respuesta radiométrica del cultivo y estimar su vigor. La aplicación comercial más conocida es la decisión de la dosis de fertilizante a aplicar en cada punto mediante una abonadora de dosificación variable. El sensor mecánico consiste en un péndulo suspendido en la parte delantera del tractor sobre el mismo cultivo. El péndulo dispone de un palpador que ofrece una determinada resistencia al avance y, en contacto dinámico con el cultivo, adquiere una

determinada inclinación en función de la cantidad de biomasa presente. La medición electrónica del ángulo del péndulo, corregido debidamente según la pendiente de la parcela, permite hacer una estimación bastante precisa de la densidad que presenta el cultivo.

Cultivos arbóreos y arbustivos: estos cultivos tienen una estructura más compleja que los bajos. A diferencia de lo que ocurre en los cultivos herbáceos, donde la altura de las plantas es relativamente poco importante respecto a las otras dos dimensiones, los cultivos leñosos deben ser considerados claramente tridimensionales. Tradicionalmente ha habido mucho interés en la caracterización del follaje de los árboles desde el punto de vista productivo, sobre todo en aspectos relacionados con la penetración y la intercepción de la luz. A lo largo de los años se fueron definiendo metodologías y expresiones matemáticas para cuantificar su volumen, estructura y otros parámetros interesantes, y en las últimas décadas se produjeron grandes avances en la utilización de sensores y otros dispositivos electrónicos, tanto en el sector agrícola como en el forestal.

Otros parámetros importantes en la aplicación de productos fitosanitarios, además del volumen, son la densidad del follaje y la superficie foliar. Se considera el volumen del follaje como el volumen contenido por la superficie externa envolvente definida por los límites exteriores de la copa. Cuanto mejor definida sea la caracterización exterior de la copa, más preciso será el volumen estimado. En cuanto a la densidad del follaje, si no se indica lo contrario, en este capítulo se considera que es la superficie foliar por unidad de volumen del árbol.

A principios de los 80 se propuso un primer sistema basado en sensores de ultrasonidos para estimar el volumen unitario del follaje y poder usar el método de dosificación del TRV de manera más precisa. El sistema consistió en un mástil vertical donde se montaban varios sensores separados unos 60 cm. La lectura de cada uno de ellos permitía estimar el ancho del follaje en ese punto y extrapolar ese valor en las zonas donde no había lectura.

Éstas se realizaban desde ambos lados de la fila, y mediante las operaciones matemáticas pertinentes en post-proceso se podía llegar a estimar el volumen total de la copa. En la actualidad existe algún modelo comercial; sin embargo, en el marco del proyecto de investigación español PULVEXACT se continúa desarrollando un sistema de caracterización en tiempo real.

En la Figura 15.6 se observa el principio de funcionamiento para la estimación de la semisección transversal instantánea del follaje. Cuantos más sensores se utilicen, tanto mayor resolución vertical se obtendrá y más precisa será la estimación. Para obtener el semivolumen instantáneo del tramo del árbol escaneado es necesario desplazar el sensor a lo largo de la fila y extrapolar la lectura obtenida hasta la semisección siguiente.

Dentro del proyecto de investigación europeo ISAFRUIT se emplean sensores de ultrasonidos para estimar la densidad de la vegetación. Se estudian las ondas ultrasónicas que llegan al sensor tras rebotar en el follaje, y se calcula la densidad de éste en función de sus características.

Otra metodología para estimar características del follaje es la que utiliza sensores láser con tecnología lidar. Estos sistemas permiten medidas pre-

cisas del follaje debido a la alta resolución de las medidas y a las elevadas frecuencias de muestreo. En los proyectos de investigación españoles PULVEXACT y OPTIDOSA, financiados con fondos públicos, se han desarrollado algoritmos que utilizan sensores lidar para caracterizar la vegetación. Los primeros trabajos datan de finales de los años 90 (Walklate 1997). En artículos más recientes se describe el estado actual de la cuestión (Rosell *et al.*, 2009a; Rosell *et al.*, 2009b).

En la Figura 15.7 se observa el principio de funcionamiento de la estimación de los semivolúmenes instantáneos de follaje mediante un sensor lidar y el resultado conseguido con un programa de diseño asistido por computadora.

En el marco del proyecto de investigación internacional PRECISPRAY se trabajó para caracterizar la vegetación en cultivos arbóreos usando la técnica de la estereofotografía aérea a partir de pares de imágenes obtenidos con cámaras analógicas. Una vez digitalizadas las imágenes, los autores desarrollaron un programa para construir un modelo digital de elevación de la plantación (Shimborsky y Meron, 2001). A partir de este modelo pueden estimar la forma y el contorno de la copa a diferentes alturas y su volumen (Shimborsky, 2003).

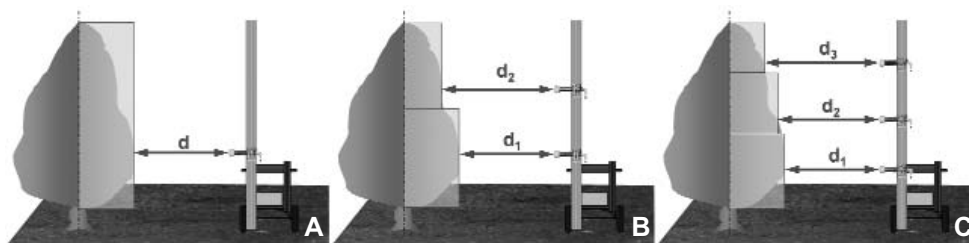


Figura 15.6. Estimación de la semisección transversal instantánea del árbol mediante la utilización de A) Un sensor; B) dos sensores; C) tres sensores de ultra sonido (Fuente: Escolà *et al.*, 2009)

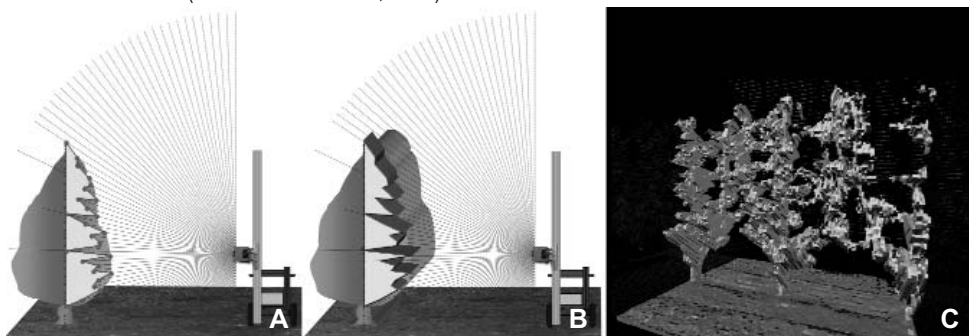


Figura 15.7: A) Estimación de la semisección transversal instantánea mediante sensor lidar; B) Estimación del semivolumen instantáneo; C) Modelo realizado con un programa de diseño asistido por computadora obtenido a partir de los datos tomados en campo (Fuente: Escolà *et al.*, 2009; Sanz, 2008)

Otra aplicación del análisis de imagen es la que intenta reconstruir la copa de árboles aislados en tres dimensiones a partir de varias imágenes bidimensionales (Phattaralerphong y Sinoquet, 2005). Una vez reconstruida, los autores pudieron estimar la altura y el ancho de la copa, su volumen y el índice de área foliar.

Una de las técnicas más empleadas en la agricultura de precisión para la caracterización de los cultivos es la radiometría, mediante el uso de imágenes satelitales de diferentes longitudes de onda. La gran mayoría de las aplicaciones han sido realizadas en cultivos herbáceos y han estado orientadas a la cuantificación del vigor o del estado sanitario del cultivo.

Más recientemente, en fruticultura se está trabajando en la estimación del estado sanitario del cultivo tanto desde la teledetección (Du *et al.*, 2008) como con el uso de sensores cercanos (van de Zande *et al.*, 2007). La técnica se basa en el principio de que la respuesta radiométrica de un follaje afectado por una plaga se empieza a diferenciar de la respuesta de un follaje sano a las pocas horas de producirse el ataque. Los sensores utilizados son capaces de detectar hojas afectadas sin que sea posible apreciar ningún efecto a simple vista. Esta tecnología, aún en fase de desarrollo, permitiría decidir la necesidad de aplicar productos agroquímicos antes de que se manifestaran los síntomas.

15.7. Aplicación de productos fitosanitarios en cultivos bajos

15.7.1. Dosificación variable selectiva (on/off)

Tratamientos localizados: tal como se mencionó, una de las aplicaciones más conocidas de la metodología basada en sensores y en tiempo real es la distribución selectiva de herbicida. Actualmente existen dispositivos en el mercado con este objetivo. Uno de los más conocidos es el WeedSeeker, cuyo funcionamiento se basa en analizar la respuesta espectral del objeto que enfoca el sensor y determinar si se trata o no de vegetación. El dispositivo integra en un solo elemento una fuente de emisión de luz, un fotoreceptor, una pequeña electroválvula y una boquilla de pulverización (Figura 15.8). El fotoreceptor analiza el haz de luz reflejado y el sistema de control deduce si el objeto iluminado es suelo o es vegetal. En caso de detectar suelo desnudo, el dispositivo no realiza ninguna acción, pero si detecta un vegetal, emite una señal de activación de la electroválvula. La electroválvula se activa justo cuando la boquilla pasa por encima de la maleza, con cierto margen de seguridad configurable, para pulverizar con herbicida únicamente la zona infestada. Este tipo de sistemas sólo se pueden utilizar en tratamientos herbicidas de preemergencia, porque el sensor no es capaz de discriminar entre cultivo y maleza. El ahorro de producto es inversamente proporcional al grado de infestación del campo tratado, y no es posible estimarlo *a priori*.

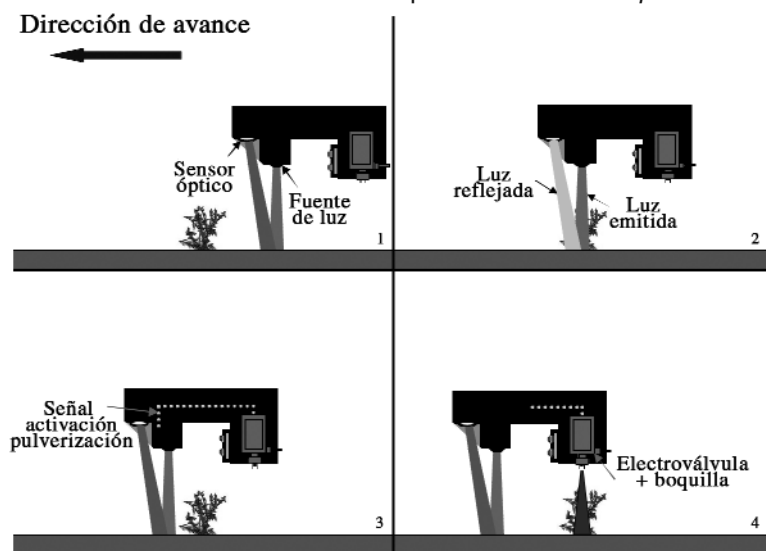


Figura 15.8. Diagrama del funcionamiento del dispositivo comercial de dosificación variable selectiva WeedSeeker (Fuente: NTech, 2010)

En Alemania, un grupo de investigación ideó un sistema de reconocimiento de malezas en función de su forma y otros parámetros que permiten clasificarlas en grupos. También desarrolló un equipo con triple barra de pulverización, capaz de interpretar hasta tres mapas de distribución de especies diferentes de malezas de una misma parcela y aplicar el herbicida más adecuado para cada especie, de manera simultánea. En este caso, la metodología utilizada se basa en mapas digitales de información.

Reducción de superposiciones: una de las aplicaciones más extendidas en la agricultura de precisión y, en concreto, en la aplicación de agroquímicos de precisión es la ayuda al guiado de los tractores mediante receptores satelitales que están sustituyendo paulatinamente a los sistemas de banderilleado y los marcadores de pasadas. Dan indicaciones al tractorista para poder trazar las sucesivas pasadas con el mínimo error y, por tanto, se minimizan las zonas de solapamiento. Sin embargo, la mejor solución para evitar solapamientos en cultivos bajos es el uso de controladores de los equipos pulverizadores que tengan en cuenta la posición del equipo en la parcela. Un controlador electrónico para pulverizadores puede abrir y cerrar independientemente cada una de las secciones de la barra. Si a esto se le añade la posibilidad de registrar los desplazamientos del equipo por la parcela, el resultado es que se puede determinar qué superficie ha sido tratada y cuál no.

De manera automática, el controlador cerrará las

secciones que estén pulverizando sobre una superficie ya tratada de manera individual, para evitar sobredosificaciones. Según el equipo empleado, el usuario podrá configurar el grado de solapamiento permitido, como se indica en los diagramas de la Figura 15.9. Además, algunos controladores permiten delimitar zonas de riesgo que no deben ser tratadas dentro de las parcelas. Cuando el pulverizador pase por una de estas zonas, las secciones dejarán de pulverizar de manera automática, reduciendo el riesgo de contaminación por error del operario.

15.7.2. Dosificación variable proporcional

Este tipo de dosificación requiere la cuantificación de algún parámetro del cultivo y aplicar una cantidad de producto proporcional, pudiendo ésta oscilar entre el 0% y el 100% de la dosis máxima.

El sensor Crop-meter ya descrito fue inicialmente ideado para la aplicación de fertilizantes. Sin embargo, dado que mide la biomasa del cultivo, las medidas obtenidas están relacionadas con la superficie foliar de éste y, por lo tanto, con el índice de área foliar. Por este motivo, algunos investigadores (Dammer *et al.*, 2003; Dammer y Ehlert, 2006) han ensayado el uso de este sensor para aplicaciones mediante dosificación variable proporcional de agroquímicos. Además del sensor, el pulverizador debe contar con un sistema de distribución equipado con tecnología de dosificación variable. Los ensayos realizados reportan ahorros medios del 22% de fungicida sin variaciones en las producciones, atribuibles a la dosificación variable.

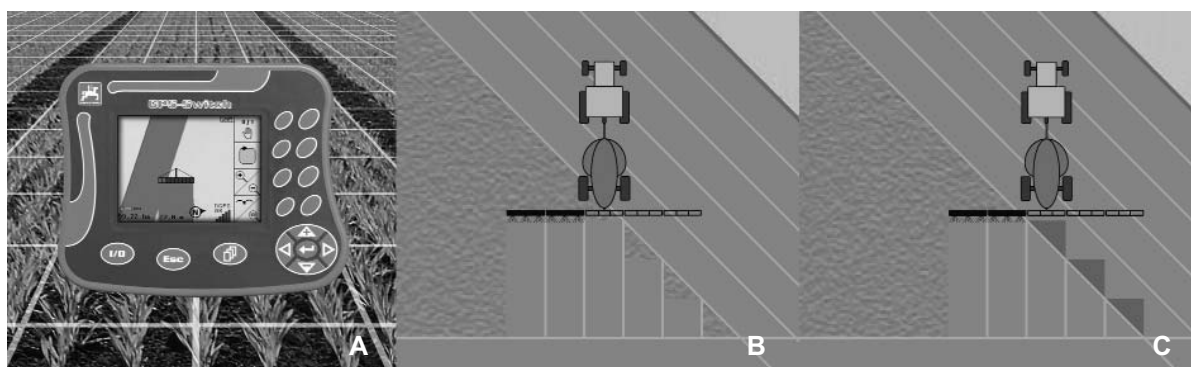


Figura 15.9: A) Controlador GPS-Switch para el control de secciones de un pulverizador en función de su posición en la parcela; B) permitiendo un 0% de solapamiento; C) o un 100% de solapamiento para cada sección (Fuente: Amazone, 2010)

Las variaciones de las dosis se pueden conseguir de tres formas distintas. La más directa sería modificando el caudal aplicado mediante electroválvulas proporcionales. Esta tecnología tiene el inconveniente de que la variación del caudal se consigue modificando la presión de trabajo y ello puede afectar el tamaño de las gotas generadas y el solapamiento entre boquillas, sobre todo con boquillas de abanico. En boquillas de cono, las variaciones no son muy importantes. Una alternativa es la variación del caudal mediante la tecnología PWM (*pulse width modulation* o modulación del ancho de pulso), que permite modificar el caudal pulverizado sin afectar la presión de trabajo. La tercera alternativa consiste en aplicar siempre un caudal constante de agua limpia mientras lo que se modifica es la concentración instantánea de materia activa mediante la inyección de la cantidad necesaria antes de entrar en la barra de pulverización.

15.8. Aplicación de productos fitosanitarios en cultivos arbóreos y arbustivos

Como se ha mencionado, la aplicación en montes frutales es más compleja que en los cultivos bajos, por sus características tridimensionales, su variabilidad en la superficie foliar y su disposición en el terreno.

15.8.1. Dosificación variable selectiva (on/off)

Uno de los primeros usos de la agricultura de precisión en cultivos arbóreos fue la dosificación variable selectiva en tiempo real, para no aplicar producto agroquímico entre árboles en plantacio-

nes con marcos de plantación grandes. Tradicionalmente era el mismo operario el encargado de abrir y cerrar las válvulas del pulverizador en estas zonas, siendo frecuentes los desajustes en la operación. La incorporación de sensores ópticos o de ultrasonidos para controlar la apertura y cierre de electroválvulas de seccionamiento incrementó la precisión de la operación y redujo el riesgo de contaminación del suelo (Figura 15.10). El empleo de varios sensores distribuidos en altura supone una intensificación de este sistema que permite detectar más zonas sin vegetación y, por tanto, un mayor ahorro de producto fitosanitario.

15.8.2. Dosificación variable proporcional

La primera incursión en la tecnología de dosificación variable fue llevada a cabo por Moltó y otros (2001) en plantaciones de cítricos valencianas. Estos investigadores implementaron un sistema de regulación a un pulverizador hidroneumático, que permitía pulverizar tres caudales distintos en función del ancho del árbol. Esto era detectado mediante sensores de ultrasonidos (Figura 15.11A). Sin conseguir una proporcionalidad continua, este sistema abrió el camino a la dosificación variable en cultivos arbóreos. Posteriormente se fabricaron otros sistemas de pulverización variable, con la posibilidad de emitir más variedad de caudales escalonados. Otra opción es la desarrollada en los proyectos PULVEXACT y OPTIDOSA, que consiste en conseguir una variación continua del caudal, sin escalonamiento, mediante la incorporación de electroválvulas proporcionales de solenoide de alta frecuencia (Figura 15.11B).

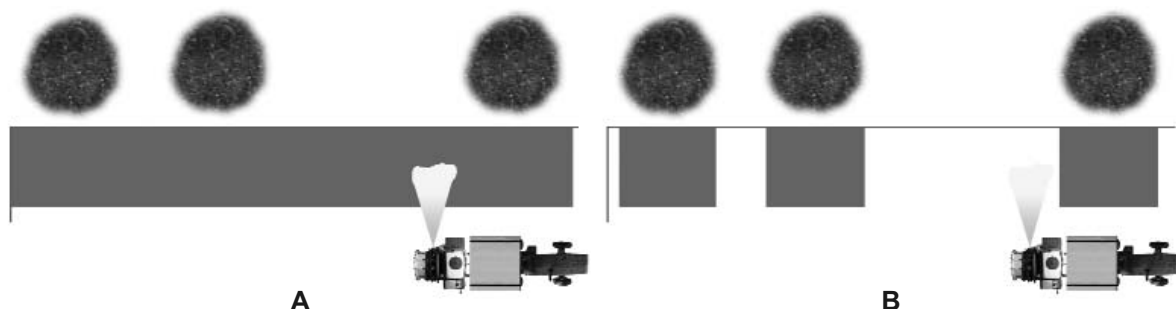


Figura 15.10: A) Representación esquemática de una aplicación convencional a caudal constante; B) y de una aplicación mediante dosificación variable selectiva

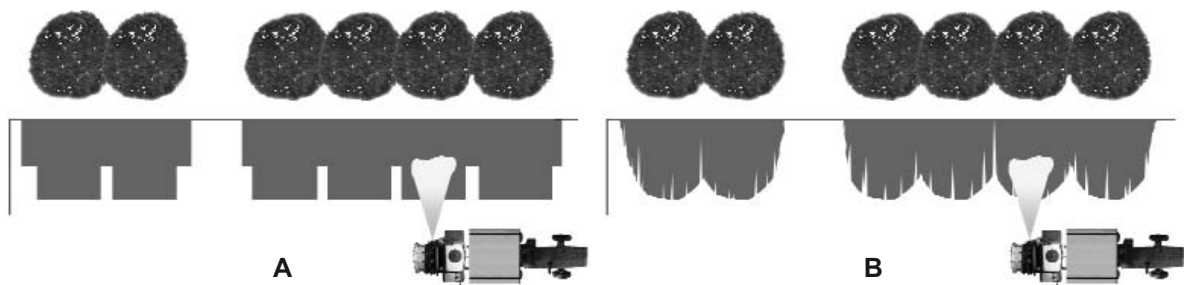


Figura 15.11. Representación esquemática de una aplicación mediante: A) dosificación variable proporcional escalonada; B) dosificación variable proporcional continua

15.8.3. Proyecto PULVEXACT

Los resultados del proyecto Ajuste de la dosis de producto fitosanitario en tratamientos de cultivos arbóreos (frutales, viñedo y cítricos) PULVEXACT han sido diversos (Planas y otros, 2006b; Planas, 2007). Por un lado, se desarrolló un sistema para medir electrónicamente la vegetación de la plantación. Por otro, se llevaron a cabo multitud de ensayos para determinar cuál era el volumen de aplicación unitario (volumen de agua para transportar la materia activa por unidad de superficie) más adecuado para cada plantación y estado vegetativo. La conclusión genérica a la que se llegó para plantaciones frutales y viña es que si el tratamiento se realiza con los equipos adecuados y con los parámetros de regulación idóneos, el volumen de aplicación no tiene una influencia significativa en la deposición de materia activa (Gil *et al.*, 2005; Escolà *et al.*, 2006; Solanelles *et al.*, 2007). En plantaciones de cítricos, sin embargo, el volumen de aplicación seleccionado sí influye en la cantidad de materia activa depositada. Es por este motivo que hace falta adaptar el volumen de aplicación a la medida de los árboles tratados (Ortí *et al.*, 2005; Ortí y Val, 2006).

Con esta información de partida se propusieron dos estrategias para ajustar la dosis de producto fitosanitario a aplicar. La primera consiste en un sistema de apoyo a la decisión que, una vez introducida la información del cultivo, de la plaga y del pulverizador que requiere el sistema, devuelve el volumen de aplicación más adecuado a la plantación que se quiere tratar. Los sistemas se denominaron DOSAVIÑA, DOSAFRUT y DOSACÍTRIC para viña, frutales y cítricos respectivamente. DOSAVIÑA se había empezado a desarrollar antes

del proyecto, pero durante el transcurso de PULVEXACT se pudo perfeccionar (Gil, 2003 y Gil y Escolà, 2009). Las versiones para frutales y cítricos se llevaron adelante a partir de la primera versión para viña (Planas *et al.*, 2004; Solanelles *et al.*, 2004; Planas *et al.*, 2006a).

La segunda estrategia propuesta de PULVEXACT para el ajuste de la dosis a la plantación fue un prototipo de pulverizador dotado de la capacidad de variar la dosificación en tiempo real, en función del volumen de vegetación estimado mediante sensores. El prototipo consta de tres elementos claramente diferenciados: el sistema de caracterización electrónica de la vegetación con sensores de ultrasonidos o bien con un sensor lidar, el sistema de regulación electrónica y los actuadores correspondientes. En el sistema de regulación se adquieren las señales de los sensores y se aplican los algoritmos correspondientes para pulverizar el caudal adecuado cada 10 o 20 cm en la dirección de avance del pulverizador. El prototipo actual estima el volumen de copa y decide el caudal a aplicar en función de un coeficiente de aplicación consigna (Figura 15.12). Dicho coeficiente debe introducirlo el usuario del equipo e indica al sistema de regulación la cantidad de caldo fitosanitario necesario para distribuir correctamente el producto en un volumen de copa unidad. El objetivo del sistema de regulación es conseguir que, sea cual fuere el volumen de copa estimado, el coeficiente de aplicación conseguido sea lo más parecido posible al de la consigna.

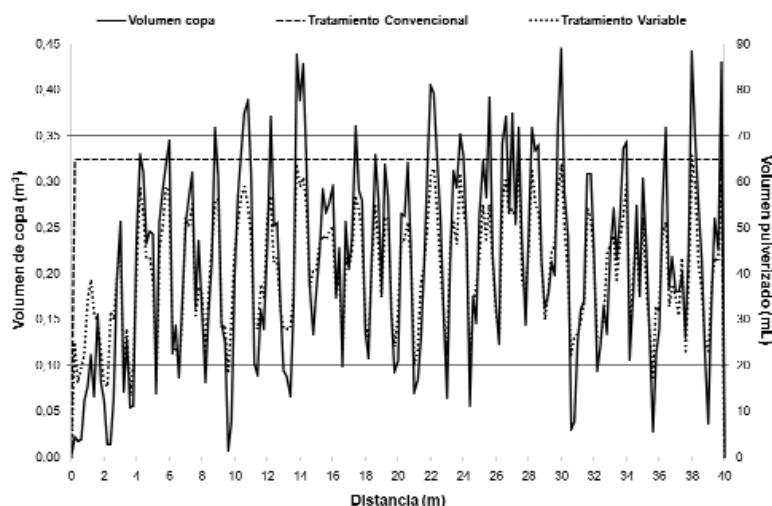


Figura 15.12. Volumen de caldo fitosanitario pulverizado en función del volumen de copa estimado por un tratamiento convencional y un tratamiento mediante dosificación variable proporcional (Fuente: Escolà et al., 2009)

15.8.4. Proyecto ISAFRUIT

El proyecto *Increasing Fruit Consumption through a trans disciplinary approach leading to high quality produce from environmentally safe, sustainable methods*, con acrónimo ISAFRUIT, es un macroproyecto que involucra a todos los ámbitos de la cadena alimentaria en la producción frutícola. Uno de sus apartados, el pilar 5.1, se denomina “*Fruta europea segura de medio ambiente saludable*” y se centra, entre otros aspectos, en mejorar las aplicaciones de productos fitosanitarios. Dentro del apartado dedicado a mejorar las técnicas de aplicación hay tres áreas en las que se quiere incidir para realizar aplicaciones precisas de productos fitosanitarios (van de Zande et al., 2008; Doruchowski et al., 2009):

- a) **Detección y cuantificación de la vegetación:** determinación de la densidad de la vegetación a partir del análisis de la respuesta de sensores de ultrasonidos (Balsari et al., 2008a; Balsari et al., 2008b).
- b) **Sistema de aplicación dependiente del entorno:** medida de los parámetros meteorológicos durante la aplicación para adaptar las características de la pulverización y respetar las zonas sensibles a los fitosanitarios de la explotación (Doruchowski et al., 2007).
- c) **Sensor para la detección del estado de salud del cultivo:** medida radiométrica del cultivo para conocer su estado de salud y determi-

nar si hace falta o no tratarlo y en qué rango (van de Zande et al., 2007).

Estos tres sistemas se concretan en tres módulos embarcados en un pulverizador que decide la dosis a aplicar en función de la información recopilada por todos los sensores embarcados y los algoritmos de regulación que están diseñando los investigadores del proyecto.

15.9. Consideraciones finales

La agricultura de precisión es una práctica muy reciente de la agricultura, si se compara con los milenios que lleva el hombre cultivando los campos. En este sentido, en los últimos años estamos asistiendo a infinidad de avances que comportan una sucesión de nuevas técnicas y tecnologías sin precedentes. Sin embargo, la implantación comercial generalizada de muchas de ellas está aún lejos de producirse. Esta nueva manera de trabajar la tierra conlleva cambios de hábitos y una formación adicional importante para la adquisición de los conocimientos necesarios, así como la necesidad de invertir en nuevas máquinas que permitan ponerla en práctica. El tiempo dirá si se avanza en la dirección correcta en términos de rentabilidad. Sin embargo, cualquier avance que se produzca en pos de la disminución del impacto ambiental de la agricultura y del incremento de la eficiencia de sus operaciones supone un paso adelante hacia la sostenibilidad de la agricultura.

15.10. Referencias consultadas

- Agelet-Fernández, J. 2007. Predicció de paràmetres de qualitat en vinya a partir d'imatges de satèl·lit d'alta resolució i índex de fertilitat del conreu. Proyecto Final de Carrera para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo (no publicado). Universitat de Lleida.
- Arnó, J., Escolà, A., Vallès, J.M., Sanz, R., Masip, J., Palacín, J. y Rosell, J.R. 2009a. Use of a ground-based LIDAR scanner to measure leaf area and canopy structure variability of grapevines. *Precision Agriculture '09*, Wageningen, pp. 177-184.
- Arnó, J., Martínez-Casasnovas, J. A., Ribes-Dasi, M. y Rosell, J. R. 2009. Review. Precision Viticulture. Research topics, challenges and opportunities in site-specific vineyard management. *Spanish Journal of Agricultural Research* 7 (4): 779-790.
- Balsari, P., Doruchowski, G., Marucco, P., Tamagnone, M., van de Zande, J. C. y Wenneker, M. 2008a. A System for Adjusting the Spray Application to the Target Characteristics. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal* X: 1-11.
- Balsari, P., Marucco, P. y Tamagnone, M. 2008b. Variable Spray Application Rate in Orchards according to Vegetation Characteristics. *International Conference on Agricultural Engineering AgEng2008 "Agricultural and Biosystems Engineering for a Sustainable World"*, Creta, Grècia.
- Dammer, K. H., Böttger, H. y Ehlert, D. 2003. Sensor-controlled variable rate real-time application of herbicides and fungicides. *Precision Agriculture '03*. Papers presented at the 4th European Conference on Precision Agriculture, Berlin, Germany, pp. 129-134.
- Dammer, K. H. y Ehlert, D. 2006. Variable-rate fungicide spraying in cereals using a plant cover sensor. *Precision Agriculture* 7 (2): 137-148.
- Doruchowski, G., Jedrachowcz, T., Holownicki, R., Godyn, A., Swiechowski, W., Balsari P., Marucco, P., van de Zande, J.C., Achten, V.T.J.M. y Wenneker, M. 2007. Environmentally Dependent Application System (EDAS) for adjusting the spray application parameters according to the environmental circumstances in orchards - ISAFRUIT project. 9th Workshop on Sustainable Plant Protection Techniques in Fruit Growing (SuProFruit), Alnarp, Sweden, pp. 15-16.
- Doruchowski, G., Balsari, P. y van de Zande, J. C. 2009. Development of a crop adapted spray application system for sustainable plant protection in fruit growing. *Acta Horticulturae* 824: 251-260.
- Du, Q., Chang, N. B., Yang, C. y Srilakshmi, K. R. 2008. Combination of multispectral remote sensing, variable rate technology and environmental modeling for citrus pest management. *Journal of Environmental Management* 86 (1): 14-26.
- Escolà, A., Camp, F., Solanelles, F., Planas, S., Gràcia, F., Rosell, J.R., Gil, E. y Val, L. 2006. Spray application volume test in apple and pear orchards in Catalonia (Spain) and Variable Rate Technology for dose adjustment. 2006 ASABE, Annual International Meeting, Portland, USA.
- Escolà, A., Arnó, J., Sanz, R., Camp, F., Masip, J., Solanelles, F., Rosell, J.R. y Planas, S. 2009. Sensing tree canopy parameters in real time for precision fruticulture/horticulture applications: methodology set-up and first results. *Precision Agriculture '09*, Wageningen, pp. 185-191.
- Gerhards, R. y Oebel, H. 2006. Practical experiences with a system for site-specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying. *Weed Research* 46 (3): 185-193.
- Gil, E. 2003. *Tratamientos en Viña. Equipos y técnicas de aplicación*. Edicions UPC, Barcelona, España, 169 pp.

- Gil, E., Bernat, C., Queraltó, M., López, A., Planas, S., Rosell, J.R. y Val, L. 2005. Pesticide dose adjustment in vineyard: Relationship between crop characteristics and quality of the application. VIII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing, Barcelona, Spain, pp. 19-20.
- Gil, E. y Escolà, A. 2009. Design of a decision support method to determine volume rate for vineyard spraying. *Applied Engineering in Agriculture* 25 (2): 145-151.
- Moltó E., Martín B. y Gutiérrez A. 2001. Pesticide loss reduction by automatic adaptation of spraying on globular trees. *Journal of Agricultural Engineering Research* 78 (1): 35-41.
- Ortí, E., Molina, J.M., Val, L. y de Miquel, E. 2005. Effect of different sprayer settings on droplet deposition in four different citrus varieties. VIII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing, Barcelona, Spain, pp. 23-28.
- Ortí, E. y Val, L. 2006. Adjustment of the Dose Distributed to the Size of the Tree in Different Citrus Varieties. 2006 ASABE, Annual International Meeting.
- Phattaralerphong, J. y Sinoquet, H. 2005. A method for 3D reconstruction of tree crown volume from photographs: Assessment with 3D-digitized plants. *Tree physiology* 25 (10): 1229-1242.
- Planas, S., Escolà, A., Gil, E., Camp, F., Rosell, J.R. y Val, L. 2004. Pesticide dose adjustment for spray application in tree crops. First approach. International Conference on Agricultural Engineering AgEng 2004. Engineering the Future, Leuven, Belgium.
- Planas, S., Gil, E., Escolà, A. y Solanelles, F. 2006a. DOSA, instrumento para la optimización de la dosis de los tratamientos fitosanitarios en cultivos arbóreos. *Phytoma* 182: 43-50.
- Planas, S., Rosell, J.R., Gil, E., Val, L., Escolà, A. y Solanelles, F. 2006b. Optimizing pesticide spray application in tree crops. 2006 ASABE Annual International Meeting, Portland, USA.
- Planas, S. 2007. Ajuste de la dosis de los tratamientos fitosanitarios en cultivos arbóreos (frutales, viñedos y cítricos). 10º Symposium Nacional de Sanidad Vegetal. Innovación y futuro, Sevilla, España, pp. 131-154.
- Rosell, J. R., Llorens, J., Sanz, R., Arnó, J., Ribes-Dasi, M., Masip, J., Escolà, A., Camp, F., Solanelles, F., Gràcia, F., Gil, E., Val, L., Planas, S. y Palacín, J. 2009a. Obtaining the three-dimensional structure of tree orchards from remote 2D terrestrial LIDAR scanning. *Agricultural and Forest Meteorology* 149 (9): 1505-1515.
- Rosell, J. R., Sanz, R., Llorens, J., Arnó, J., Escolà, A., Ribes-Dasi, M., Masip, J., Camp, F., Gràcia, F., Solanelles, F., Pallejà, T., Val, L., Planas, S., Gil, E. y Palacín, J. 2009b. A tractor-mounted scanning LIDAR for the non-destructive measurement of vegetative volume and surface area of tree-row plantations: A comparison with conventional destructive measurements. *Biosystems Engineering* 102 (2): 128-134.
- Sanz, R. 2008. Desarrollo, validación y simulación de un sistema de medición, basado en un sensor lidar, para la caracterización de cultivos arbóreos. Tesis doctoral. Universitat de Lleida.
- Shimborsky, E. y Meron, M. 2001. Automatic acquisition of tree shapes and foliage volume maps of tree orchards. Precision Agriculture '01. Papers presented at the 3rd European Conference on Precision Agriculture, Montpellier, France, pp. 313-318.
- Shimborsky, E. 2003. Digital tree mapping and its applications. Precision Agriculture '03. Papers presented at the 4th European Conference on Precision Agriculture, Berlin, Germany, pp. 645-650.
- Søgaard, H. T. 2005. Weed Classification by Active Shape Models. *Biosystems Engineering* 91 (3): 271-281.

- Solanelles, F., Escolà, A., Camp, F., Planas, S., Gràcia, F., Rosell, J.R., Val, L. y Gil, E. 2004. Pesticide dose adjustment in fruit crops in Spain. First results. Environmentally Friendly Spray Application Techniques. Research Centre of Excellence in Sustainable Pomology, Varsow, Polonia.
- Solanelles, F., Camp, F., Escolà, A., Planas, S. y Gràcia, F. 2007. Effect of volume application rate on the spray application efficiency in apple and pear orchards. 9th Workshop on Sustainable Plant Protection Techniques in Fruit Growing (SuProFruit), Alnarp, Sweden.
- Stafford, J. V. 1996. Essential technology for precision agriculture. Precision Agriculture. Proceedings of the third International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, Minnesota, USA, pp. 595-604.
- Van de Zande, J. C., Wenneker, M., Meuleman, J., Achten, V.T.J.M. y Balsari, P. 2007. Development of a Crop Health Sensor (CHS) to minimise spray applications in apple. 9th Workshop on Sustainable Plant Protection Techniques in Fruit Growing (SuProFruit), Alnarp, Sweden, pp. 13-14.
- Van de Zande, J. C., Achten, V. T. J. M., Michielsen, J. M. G. P., Wenneker, M. y Koster, A. T. J. 2008. Towards more target oriented crop protection. Aspects of Applied Biology 84: 245-252.
- Walklate, P. J., Richardson, G.M., Baker, D.E. y Cross, J.V. 1997. Light detection and range measurement of orchards. 5th Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing, Radziejowice, Poland.



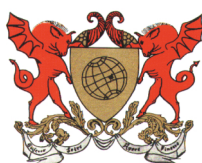
Universidad de Concepción



Universidad Nacional de Chile



Universidade de Passo Fundo



Universidade de Vicosa



Universidad Nacional de Colombia - Bogotá



Universitat de Lleida

En el marco del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), a inicios de 2007 se creó la Red Temática 107RT0319 “Técnicas sostenibles de distribución de Plaguicidas”, “PULSO”, con el objetivo de analizar la tecnología de aplicación de agroquímicos para minimizar su impacto sobre el ambiente y la salud humana.

El trabajo de esta red fue materializado en esta publicación, que tiene la riqueza de haber sido elaborada por 26 especialistas de doce Universidades y cuatro Institutos de Investigación agropecuaria de distintos países de Iberoamérica para responder a las necesidades de productores, profesionales y estudiantes de Ciencias Agrícolas de esa vasta región.