

## BASES PARA EL CONTROL INTEGRADO DE LA CEPA AGRESIVA DE LA GRAFIOSIS DEL OLMO EN ESPAÑA (\*)

R. IPINZA CARMONA<sup>1</sup>, A. MARTÍNEZ DE AZAGRA<sup>1</sup> y E. GARCÍA-NIETO<sup>1</sup>

### RESUMEN

El presente trabajo pretende dar una visión crítica de los antecedentes biológicos de los escolítidos vectores de la cepa agresiva de la grafiosis producida por *Ceratocystis ulmi* (Buisson) C. Moreau.

Se discuten y analizan los requerimientos necesarios para establecer un programa de *control integrado*. Entre estos requerimientos se incluyen aspectos legales, biológicos, estrategias de recolecta de datos y la necesidad de minimizar el uso de productos químicos. Cuando es imprescindible el uso de compuestos químicos se propone una estrategia de control en *tiempo real*.

Por último, se establecen algunas recomendaciones tácticas para el control integrado de la cepa agresiva de la enfermedad de la grafiosis.

### 1. INTRODUCCION

El control integrado es un programa de manejo de una plaga y/o enfermedad donde se combinan o integran varias técnicas de control. La efectividad de dos o más técnicas de control no sólo se observa en el efecto sinérgico, sino también en el coste total; éste es menor que si cualquiera de cada una de ellas se aplicase por separado. También es probable que la forma de aplicación de una determinada técnica sea distinta cuando es usada en combinación con otras que cuando se la utiliza por separado (SMITH y PIMENTEL, 1978). En España, el control integrado ha sido discutido y analizado por CADAHÍA y ROBREDO (1985), los cuales realizan una completa revisión, pasando revista a las técnicas que en la actualidad se practican en el mundo. *El objetivo básico de esta técnica es mantener, en un marco de factibilidad social, la interacción hombre, enfermedad y/o plaga, y ambiente en un estado en que la ecología y la economía sean compatibles.*

Las olmedas no son sólo un grupo de árboles, sino una comunidad de seres vivos que forman un todo orgánico, cuyas funciones ecológicas no son del todo conocidas. La Tabla I indica cien especies entre insectos, ácaros, hongos, bacterias y micoplasmas que se han detectado en España viviendo sobre los olmos. Estudios llevados a cabo en Inglaterra por ARCHIBALD y STUBBS (1980) indican valores similares; dichos autores (*op. cit.*) estiman que 37 especies de insectos dependen totalmente de esta especie y 120 en forma parcial.

La destrucción de esta biota por la cepa agresiva (*sensu* VANDERPLANK, 1968) lleva a plantearnos una serie de interrogantes sobre el futuro de estos seres, a los cuales hay que agregar innumerables aves y mamíferos que la utilizan como nicho ecológico. La presencia de estos seres permite contar con un material básico para su uso en programas de control biológico; es así como SCHRÖDER (1974) indica que en Austria la mortalidad de los huevos (16 a 25%) de *Scolytus scolytus* y *S. multistriatus* fue causada por factores físicos; las pérdidas por depredación permanecieron por debajo del 2,5%. La mortalidad del primer y segundo estado larval para *S. scolytus* alcanzó el 48 y 64% para *S. multistriatus*. Entre el 6 y 25%, respectivamente, de esta mortalidad fue causada por depredación, siendo el principal causante el díptero *Medetera nitida* Macq.,

(\*) Esta investigación es parte del proyecto: «Control de la enfermedad de la grafiosis mediante mejora genética», financiado por el Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA).

<sup>1</sup> Departamento de Silvopascicultura. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

TABLA I  
LISTA PRELIMINAR DE HONGOS, BACTERIAS, MICOPLASMAS, ACAROS E INSECTOS OBSERVADOS  
O CITADOS COMO ASOCIADOS AL OLMO EN LA PENINSULA IBERICA

O R G A N I S M O	NOMBRE CIENTIFICO	A R T I C O L O S	H O N G O S	R A I Z	T R O N C O	R O M A S	H O J A S	V I V E R O	REFERENCIAS
A	<i>Eriophyes campestricola</i>	Frauenfeld	P	0	0	0	1	0	Castmopolita en <i>Ulmus procera</i>
A	<i>Pyemotes scolytus</i>	Oud.	P	0	0	0	0	1	Pajares (1987)
B	<i>Erwinia nimipressuralis</i>	Cart. (fluido = Wetwood)	PF	1	1	1	1	1	Casa de Campo (Madrid)
B	(*)	Quemadura bacterial	PF	0	0	0	1	0	Guadalajara, Soria y Zaragoza
H	<i>Agroclype cilindrica</i>	(D. C. Fr.) Maire	S	1	1	0	0	0	Calonge (1975)
H	<i>Armillaria mellea (sensu lato)</i>	(Vahl.: Fr.) Kummer	PF	1	1	0	0	0	Calonge (1988). Com. personal
H	<i>Auricularia auricula-judae</i>	(Bull. ex St. Amans) Wettst.	S	0	1	1	0	0	Calonge (1988). Com. personal
H	<i>Auricularia mesenterica</i>	(Dicks ex. S. F. Gray) Pers.	S	0	1	0	0	0	Calonge (1988). Com. personal
H	<i>Bjerkandera adusta</i>	(Fr.) Karsten	PF	0	1	1	0	0	Calonge (1988). Com. personal
H	<i>Ceratocystis ulmi</i>	(Buisson) C. Moreau	P	1	1	1	1	0	Muñoz y Rupérez (1980)
H	<i>Coprinus domesticus</i>	(Bolton ex Fr.) S. F. Gray	S	1	1	0	0	0	Moreno, García y Zugaza (1986)
H	<i>Coprinus extinctorius</i>	(Bull.: St. Amans) Fr.	S	0	1	0	0	0	Moreno, García y Zugaza (1986)
H	<i>Coprinus micaceus</i>	(Bull.: Fr.) Fr.	S	0	1	0	0	0	Moreno, García y Zugaza (1986)
H	<i>Coriolum versicolor</i>	(L. ex. Fr.) Quéf.	S	1	1	1	0	0	Calonge (1988). Com. personal
H	<i>Cylindrosporella inconspicua</i>	(Cav.) v. Arx	P	0	0	0	1	0	Muñoz y Rupérez (1980)
H	<i>Cylindrosporella ulmea</i>	(Milex) v. Arx	P	0	0	0	1	0	Muñoz y Rupérez (1980)
H	<i>Cyrtella punctiformis</i>	(Fr.) Karst	S	0	1	1	0	0	García-Rollán (1984)
H	<i>Daldinia concentrica</i>	(Bolton ex Fr.) & de Notaris	S	0	1	1	0	0	Mendoza y Díaz (1987)
H	<i>Euryachora ulmi</i>	(= <i>Dothidella ulmi</i> )	P	0	0	0	1	1	Muñoz y Rupérez (1980)
H	<i>Eutypella stellulata</i>	(Fr.) Saccardo	S	0	0	1	0	0	Calonge (1988). Com. personal
H	<i>Guepinopsis buccina</i>	(Pers. ex Fr.) Kennedy	S	0	1	0	0	0	Moreno, García y Zugaza (1986)
H	<i>Heteroporus biennis</i>	(Bull. ex Fr.) Láz-Ibiza	S	1	1	0	0	0	Tellería (1978)
H	<i>Inonotus hispidus</i>	(Bull. ex Fr.) Karsten	PF	0	1	0	0	0	Calonge (1988). Com. personal
H	<i>Inonotus obliquus</i>	(Pers. ex Fr.) Pil.	PF	0	1	0	0	0	García-Rollán (1984)
H	<i>Leucogyrophana mollusca</i>	(Fr.) Pouzar	S	1	1	1	0	0	Moreno, García y Zugaza (1986)
H	<i>Meripilus giganteus</i>	(Pers. ex Fr.) Karsten	S	1	0	0	0	0	Moreno, García y Zugaza (1986)
H	<i>Mycena pachyderma</i>	Kühn	S	0	1	0	0	0	García-Rollán (1984)
H	<i>Mycocacia aurea</i>	(Fr.) Erikss. et Ryv.	S	0	1	0	0	0	Tellería (1978)
H	<i>Nectria</i> sp.		PF	0	1	1	0	0	Las Aldehuelas (Soria)
H	<i>Oxyporus obducens</i>	(Pers.) Donk	S	1	1	0	0	0	Tellería (1978)
H	<i>Phellinus torulosus</i>	(Pers.) Bourd. et Galz.	PF	0	1	1	0	0	García-Rollán (1984)
H	<i>Phyllactinia guttata</i>	(Fr.) Lév	P	0	0	0	1	0	Mercé (1984)
H	<i>Pleurotus cornucopiae</i>	(Paul. ex Pers.) Gill	S	0	1	0	0	0	García-Rollán (1984)
H	<i>Pleurotus dryinus</i>	(Pers. Fr.) Kummer	S	1	1	0	0	0	Moreno, García y Zugaza (1986)
H	<i>Pleurotus ostreatus</i>	(Jacq.: Fr.) Kummer	PF	0	1	0	0	0	Moreno, García y Zugaza (1986)
H	<i>Pleurotus ulmarius</i>	Bull. (= <i>Lyophyllum ulmarius</i> )	PF	0	1	1	0	0	García-Rollán (1984)
H	<i>Pluteus coccineus</i>	(Mass.) Lange	S	0	1	0	0	0	García-Rollán (1984)
H	<i>Pluteus petasatus</i>	(Fr.) Gillet	S	1	1	0	0	0	Moreno, García y Zugaza (1986)
H	<i>Polyporus squamosus</i>	Huds. ex Fr.	PF	0	1	0	0	0	Calonge (1975)
H	<i>Polyporus umbellatus</i>	Pers. ex Fr.	S	1	1	0	0	0	Moreno, García y Zugaza (1986)
H	<i>Rhodotus palmatus</i>	(Bull. ex Fr.) Maire	S	1	1	0	0	0	Moreno, García y Zugaza (1986)
H	<i>Rigidoporus ulmarius</i>	(Sow. ex Fr.) Imaz	PF	1	1	0	0	0	Calonge (1988). Com. personal
H	<i>Sarcocypha coccinea</i>	(Fr.) Lamb.	S	0	1	0	0	0	Moreno, García y Zugaza (1986)
H	<i>Schizophyllum commune</i>	Fr.	S	0	1	1	0	0	Calonge (1988). Com. personal
H	<i>Spongipellis spumeus</i>	(Sow. ex Fr.) Pat.	S	0	1	0	0	0	García-Rollán (1984)
H	<i>Tapbrina ulmi</i>	(Fck.) Johans	P	0	0	0	1	0	Reniebla (Soria)
H	<i>Tyromyces fissilis</i>	(Berk. et Curt.) Donk	S	1	1	0	0	0	Tellería (1980)
H	<i>Uncinula clandestina</i>	(Bivona-Bernardi) Schroeter	P	0	0	1	1	0	Mercé (1984)

TABLA I (Continuación)

O R G A N I S M O	NOMBRE CIENTIFICO	A R T I C U L O	R E F E R E N C I A S						
			H O S	O N G I S	R A N I C O	T R A N S A C S	R H O J A S	V I E R O	
H	<i>Valvarietella bombycina</i>	(Pers. ex Fr.) Singer	S	1	1	0	0	0	Mendoza y Díaz (1987)
I	<i>Agrilus cyanescens</i>	Ratz.	X	0	1	1	0	0	Cobos (1986)
I	<i>Ampedus pomorum</i>	Steph.	X	0	1	1	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Anibaxia deaurata</i>	Gmelin	X	0	1	1	0	0	Cobos (1986)
I	<i>Anibaxia manca</i>	L.	X	0	1	1	0	0	Cobos (1986)
I	<i>Aulonium trisulcum</i>	Four.	K	0	0	0	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Cacocia rosana</i>	L.	O	0	0	0	1	0	Bachiller <i>et al.</i> (1981)
I	<i>Cephalonomia hypobori</i>	Kieff	P	0	0	0	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Cerocephala cornigera</i>	Westw.	P	0	0	0	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Coeloides scolyticida</i>	Westm.	P	0	0	0	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Corticus bicolor</i>	Ol.	K	0	0	0	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Corticus linearis</i>	F.	K	0	0	0	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Corticus longulus</i>	Geb.	K	0	0	0	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Cossonus linearis</i>	F.	X	0	1	1	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Cryptolestes ferrugineus</i>	Step.	K	0	0	0	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Cherotachus colon</i>	L.	P	0	0	0	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Chrysobothris affinis</i>	(F.)	X	0	1	1	0	0	Cobos (1986)
I	<i>Dendroster protuberans</i>	(Nees)	P	0	0	0	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Ephelus silesiacus</i>	(Ratz.) Russo	P	0	0	0	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Ennadesmus trispinosus</i>	Ol.	X	0	1	1	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Entodon ergias</i>	Walk	P	0	0	0	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Eriosoma lanuginosum</i>	Hartig	A	0	0	0	1	0	Mezalocha (Zaragoza)
I	<i>Eucremis capucina</i>	Ahr.	X	0	1	1	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Eupelmus urozonus</i>	Dalm.	P	0	0	0	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Euprostyi chrysothoea</i>	Linnaeus	O	0	0	0	1	0	Serranillo (Guadalajara)
I	<i>Eurytoma morio</i>	Boh.	P	0	0	0	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Gossyparia ulmi</i>	Geoffroy	O	0	0	1	0	0	Muñoz y Rupérez (1980)
I	<i>Hexarhynchus exiguum</i>	Boh.	X	0	1	1	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Laelius fulvipes</i>	Kieff	P	0	0	0	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Lecanium corni</i>	(Bouché)	O	0	0	1	0	0	Casa de Campo (Madrid)
I	<i>Luxis ferrugatus</i>	Ol.	X	0	1	1	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Luperus flavus</i>	Ros.	O	0	0	0	1	0	Bachiller <i>et al.</i> (1981)
I	<i>Lycisca silvestrii</i>	Russo	P	0	0	0	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Lyctus brunneus</i>	Steph.	X	0	1	1	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Magdalis atterrims</i>	Fabr.	X	0	1	1	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Malacosoma neustria</i>	Linnaeus	O	0	0	1	1	0	Serranillo (Guadalajara)
I	<i>Melasis buprestoides</i>	L.	X	0	1	1	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Pedostrangalia revestita</i>	F.	X	0	1	1	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Phymatodes testaceus</i>	L.	X	0	1	1	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Platypus cylindrus</i>	F.	X	0	1	1	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Pteleobius kraatzi</i>	Eichhoff	X	0	1	1	0	0	Gil (1980)
I	<i>Pteleobius vittatus</i>	Fabricius	X	0	1	1	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Raphistelus maculatus</i>	Walk.	P	0	0	0	0	0	Pajares (1987)
I	<i>Scintillatrix mirifica</i>	Mull	X	0	1	1	0	0	Cobos (1986)
I	<i>Scolytus kirschii</i>	Skalitzky	X	0	1	1	0	0	Gil (1980)
I	<i>Scolytus multistriatus</i>	Marsham	X	0	1	1	0	0	Jordana (1870)
I	<i>Scolytus pygmaeus</i>	Fabricius	X	0	1	1	0	0	Amor y Mayor (1859-1861), Pajares (1987)
I	<i>Scolytus scolytus</i>	Fabricius	X	0	1	1	0	0	Jordana (1870)
I	<i>Spathius rubidus</i>	(Rossi) Nees	P	0	0	0	0	0	Pajares (1987)

TABLA I (Continuación)

O R G A N I S M O	NOMBRE CIENTIFICO		A							REFERENCIAS
			R	H	T	R	H	V		
I	<i>Synoxylon sexdentatus</i>	Ol.	X	0	1	1	0	0	Pajares (1987)	
I	<i>Temnochila coerules</i>	Ol.	K	0	0	0	0	0	Pajares (1987)	
I	<i>Tetraneura ulmi</i>	Linnaeus	A	0	0	0	1	0	Casa de Campo (Madrid)	
I	<i>Tetrastichus cestrae</i>	Russo	P	0	0	0	0	0	Pajares (1987)	
I	<i>Thanasimus formicarius</i>	F.	K	0	0	0	0	0	Pajares (1987)	
I	<i>Trichoferus fasciculatus</i>	Fal.	X	0	1	1	0	0	Pajares (1987)	
I	<i>Trogosylon impressum</i>	Com.	X	0	1	1	0	0	Pajares (1987)	
I	<i>Xanthogaleruca luteola</i>	Müll (= <i>Galerucella luteola</i> )	O	0	0	0	1	0	Tornos (1859)	
I	<i>Xyleborinus saxeseni</i>	Ratz.	X	0	1	1	0	0	Pajares (1987)	
I	<i>Xyleborus monographus</i>	F.	X	0	1	1	0	0	Pajares (1987)	
M	Micoplasma (*)			P	1	1	1	1		

ORGANISMO: A = ácaros.  
B = bacterias.  
H = hongos.  
I = insectos.  
M = micoplasmas.

ARTROPODOS: O = defoliador de olmos.  
P = parásito escoli.  
K = depredador esco.  
X = xilófagos.  
A = agalla.

HONGOS: P = parásito.  
PF = parásito facultativo.  
S = saprofito.

(\*) Especies aún no identificadas.

género también encontrado en España por PAJARES (1987). El estudio de SCHRÖDER señala un 30% de mortalidad causada por ectoparásitos en los estados larval L<sub>3</sub>-L<sub>5</sub>. Entre éstos destaca *Coeloides scolyticida* Wesm. como el más importante parásito de *S. scolytus*; este braconídeo fue detectado por PAJARES (1987) durante 1986, específicamente en Puerta de Hierro (Madrid), Revenga (Segovia) y Budia (Guadalajara). *D. protuberans* Nees fue el parásito predominante de *S. multistriatus* (SCHRÖDER, 1974); este insecto, que ha sido utilizado en ensayos de lucha biológica, también ha sido encontrado en España (PAJARES, 1987): Revenga (Segovia), Puerta de Hierro (Madrid) y Ciudad Real.

Es necesario destacar que en otros países han existido numerosos fracasos en la lucha biológica, tal como la utilización de la bacteria antimicótica *Pseudomonas syringae* y la utilización de los competidores de *Ceratocystis ulmi* (Buisson) C. Moreau, tales como *Trichoderma viride* Pers. ex. S. F. Gray (= *T. lignorum* [Tode] Harz), forma perfecta = *Hypocrea rufa* (Pers. ex Fr.) Fr., *Fusarium solani* (Mart.) Sacc., forma perfecta = *Nectria haematococca* Berk. et Br. o *Phomopsis oblonga* (este último puede, en situaciones muy particulares, ser una buena herramienta en el control biológico).

En relación a otros organismos parásitos de los escolítidos no existen referencias en España de la presencia de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill., *Plistiphora scolytis* Weiser, *Verticillium lecanii*, *Aerobacter scolyti* Pesson et al., *Escherichia klebsiellaeformis* Pesson et al. Estas dos bacterias aisladas en escolítidos en Francia (RICHENS, 1983) pueden causar una septicemia en estos insectos, aunque algunos autores, como SCHRÖDER (1974), sugiere que bajo condiciones naturales no son factores de mortalidad importantes. Dicha opinión concuerda con los estudios de KERSERLINGK (1982), que establece que *Beauveria bassiana* no es un candidato muy promisorio para controlar a *Scolytus scolytus*. De igual forma, no se dispone de datos de mortalidad de larvas de escolítidos asociados a la acción de nemátodos. A pesar de los escasos estudios llevados a cabo en España, el material indicado en la Tabla I nos ofrece un cúmulo de posibilidades que hasta ahora no han podido cristalizar en un procedimiento operativo. Su destrucción a raíz de la grafiosis o de la aplicación indiscriminada de productos químicos puede cortar una vía que hasta ahora no se ha agotado.

En el diseño de programas de control integrado es común abarcar una amplia gama de parásitos (Ta-

bla 1) que afectan a un hospedante, pero en este caso ninguno es comparable al nivel de virulencia de la cepa agresiva, por lo que todo nuestro esfuerzo estará concentrado en dicha enfermedad. En vista de la entropía que ésta origina en las olmedas (destrucción total), quizá pueda ser útil para definir este estado la segunda ley de la termodinámica, la cual establece que los «procesos espontáneos tienden hacia estados de baja energía y de un gran desorden». Si suponemos que ésta es la situación de nuestras olmedas y quisiéramos retornar hacia una situación pre-cepa agresiva; es decir, hacia un alto grado de orden, no tendríamos otra alternativa que aplicar una gran cantidad de energía, que se traduce en grandes inversiones en investigación, recursos técnicos, humanos y financieros.

Las posibilidades técnicas son factibles a través de un programa de control integrado, tal como ha sido bosquejado por numerosos autores, entre los que destacan: EUALE, *et al.* (1977, 1978, 1980) y O'CALLAGHAN y ATKINS (1981). En éstos, el número de posibles estrategias de control aumenta de forma exponencial en la medida que aumenten las tácticas de control (resistencia, insecticidas, control biológico, saneamiento, feromonas, etcétera). Esto significa que la planificación de un programa de manejo integrado es mucho más complicado y difícil que la planificación de un programa que sólo utilice una técnica de control. Muchos de los avances de los programas de manejo de control integrado (PMCI), en adelante control integrado, son el resultado de una combinación de control químico, control silvicultural (podas y claras) y utilización de variedades resistentes.

En el control integrado, el tipo de insecticida utilizado y la época de aplicación son seleccionados de tal manera que se minimicen los efectos negativos sobre la biocenosis. Una de las metas de un programa de control integrado es desarrollar insecticidas más selectivos y variedades resistentes; sin embargo, puede pasar algún tiempo hasta que estos nuevos insecticidas y variedades puedan ser desarrollados. Mientras tanto, es necesario dar respuestas a la sistemática destrucción de los olmos, tratando de ser más eficientes en la aplicación de estos productos tóxicos. También es necesario tener en cuenta que a pesar del considerable avance en las técnicas de control integrado, la capacidad operativa de éstas se encuentra en sus etapas iniciales.

Para minimizar las pérdidas de la cepa agresiva de la grafiosis se pueden aplicar muchas estrategias (SINCLAIR, 1978). Los principios básicos que sustentan nuestra proposición son básicamente cuatro:

- a) Conocer en detalle el ciclo de infección de la enfermedad (Fig. 1).
- b) Eliminar o reducir el inóculo inicial o demorar su aparición.
- c) Aminorar la tasa de aumento de la enfermedad.
- d) Acortar el tiempo de exposición de las olmedas a la enfermedad.

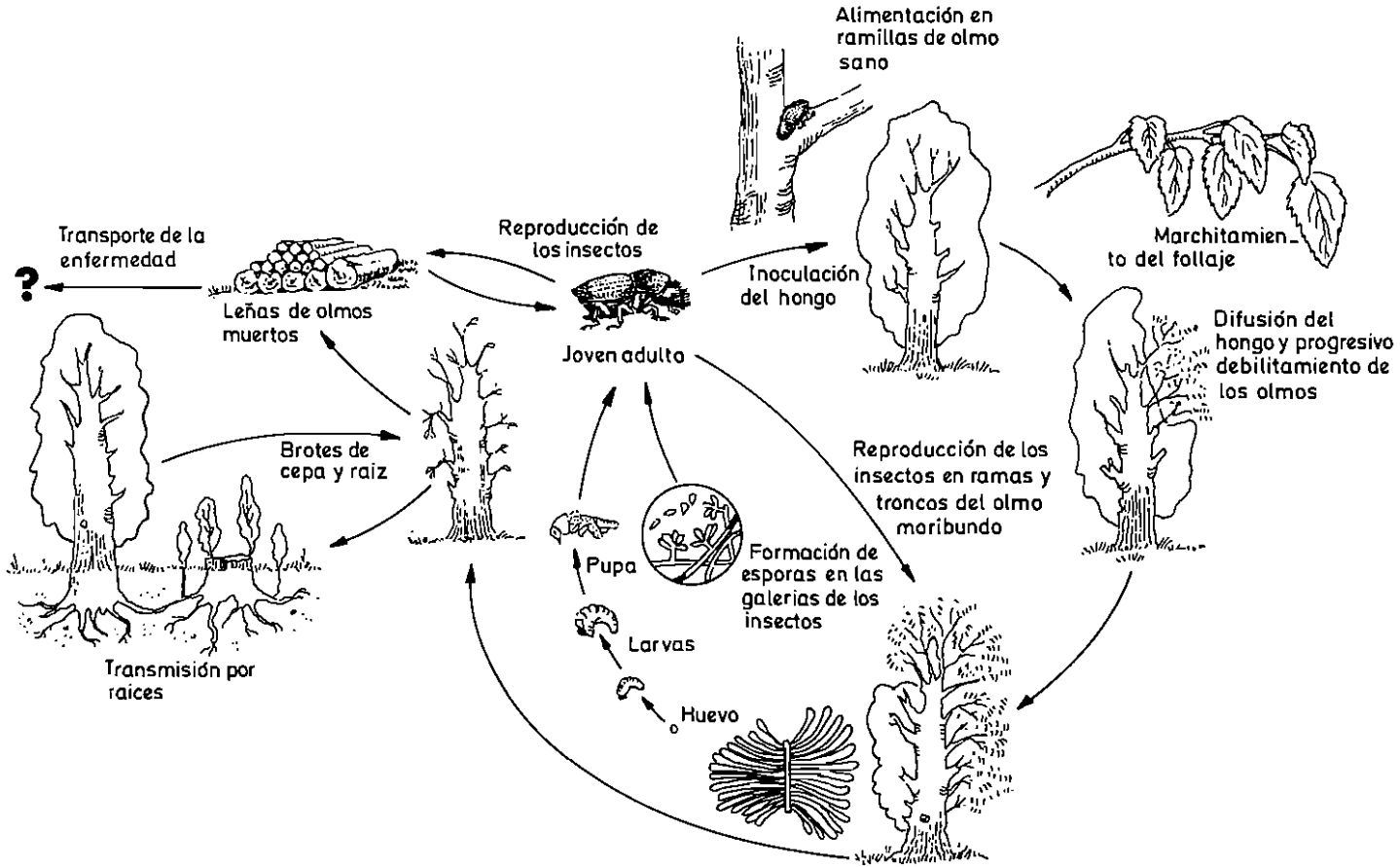
Las respuestas operativas se traducen en las siguientes acciones:

- Aumentar la selectividad y algunos insecticidas actuales, variando su dosis, formulación y época de aplicación.
- Eliminar, mediante claras y saneamiento, los olmos o parte de ellos que comprometan la salud de las olmedas u olmos, respectivamente.
- Vigilar de forma sistemática en el tiempo la aparición de síntomas de la enfermedad de la grafiosis, para actuar inmediatamente.
- Aplicar fungicidas sistémicos siempre y cuando el valor del olmo lo justifique. La época de aplicación de estos productos es de importancia vital para que resulten eficaces.

Mediante la experiencia lograda en la olmeda «El Plantío» durante estos últimos cuatro años, intentaremos demostrar dos aspectos:

1. El control de la cepa agresiva es posible.
2. La eficiencia del control puede ser incrementada significativamente si se aplica un enfoque de control integrado en tiempo real, utilizando la tecnología computacional y con un modelo predictivo a corto plazo.

Por último, el control de la cepa agresiva, a diferencia del resto de las enfermedades y/o plagas que afectan a la agricultura o a los bosques, no admite situaciones intermedias, no vale buscar un equilibrio entre los costos y los beneficios. La disyuntiva es simple: se controla con todas las herramientas técnicas al alcance o se asume la responsabilidad de la destrucción de los olmos.



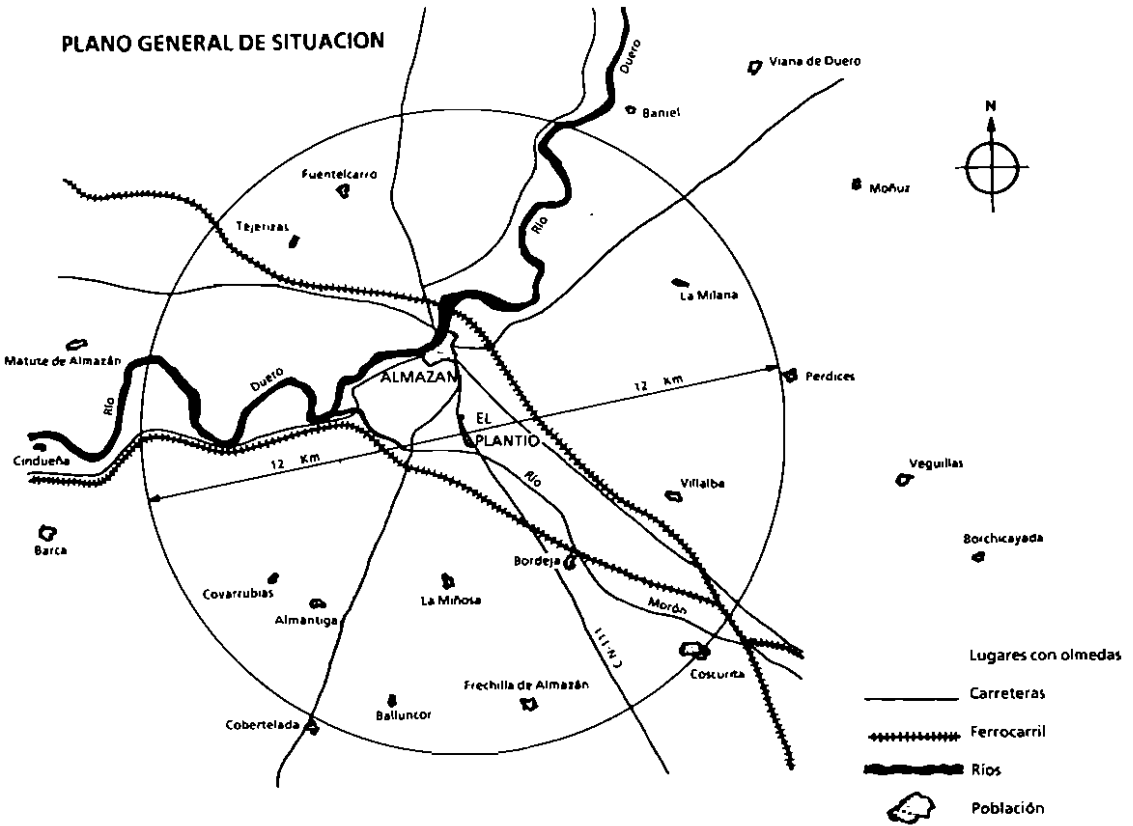


Fig. 2. Plano de localización de la zona de estudio.

## 2. MATERIAL

Aunque gran parte de los antecedentes han sido recogidos en la olmeda «El Plantío», también se analiza información obtenida por PAJARES (1987) en Puerta de Hierro (Madrid) y observaciones de la enfermedad en distintas provincias de España (IPINZA y GIL, 1986).

La olmeda «El Plantío» está situada en el término municipal de Almazán, provincia de Soria. La localización de esta olmeda se ilustra en la Fig. 2 y un plano de la misma en la Fig. 3.

Su superficie total aproximada es de 13.500 m<sup>2</sup>. De esta superficie más de la mitad (alrededor de 7.700 m<sup>2</sup>) está cubierta por una masa pura de olmos. Las restantes zonas están compuestas por una masa mixta de olmos, chopos lombardos (*Populus nigra* var. *pyramidalis* Rozan) y álamos (*Populus al-*

*ba* L.) en la que, a veces, los olmos pierden su habitual hegemonía. Fresnos (*Fraxinus ornus* L.) y acacias (*Gleditsia triacanthos* L.) aparecen sólo esporádicamente. Las especies de olmos representadas abarcan casi todo el espectro existente en España: *Ulmus minor* y sus numerosas variedades, como son los clones *Ulmus glabra* x *U. minor*, y también genotipos presumiblemente resistentes a la grafiosis. La plantación de olmos fue realizada entre 1940 y 1945, pero debido a la gran capacidad de regeneración a través de semillas y brotes de raíz que las especies de tipo *minor* presentan, existen individuos más jóvenes.

La olmeda presenta un alto riesgo fitosanitario, debido a:

— Está junto a una carretera con fuerte tránsito de vehículos (Carretera Nacional 111, de Madrid a Pamplona).

OLMEDA "EL PLANTIO"  
(Croquis general)

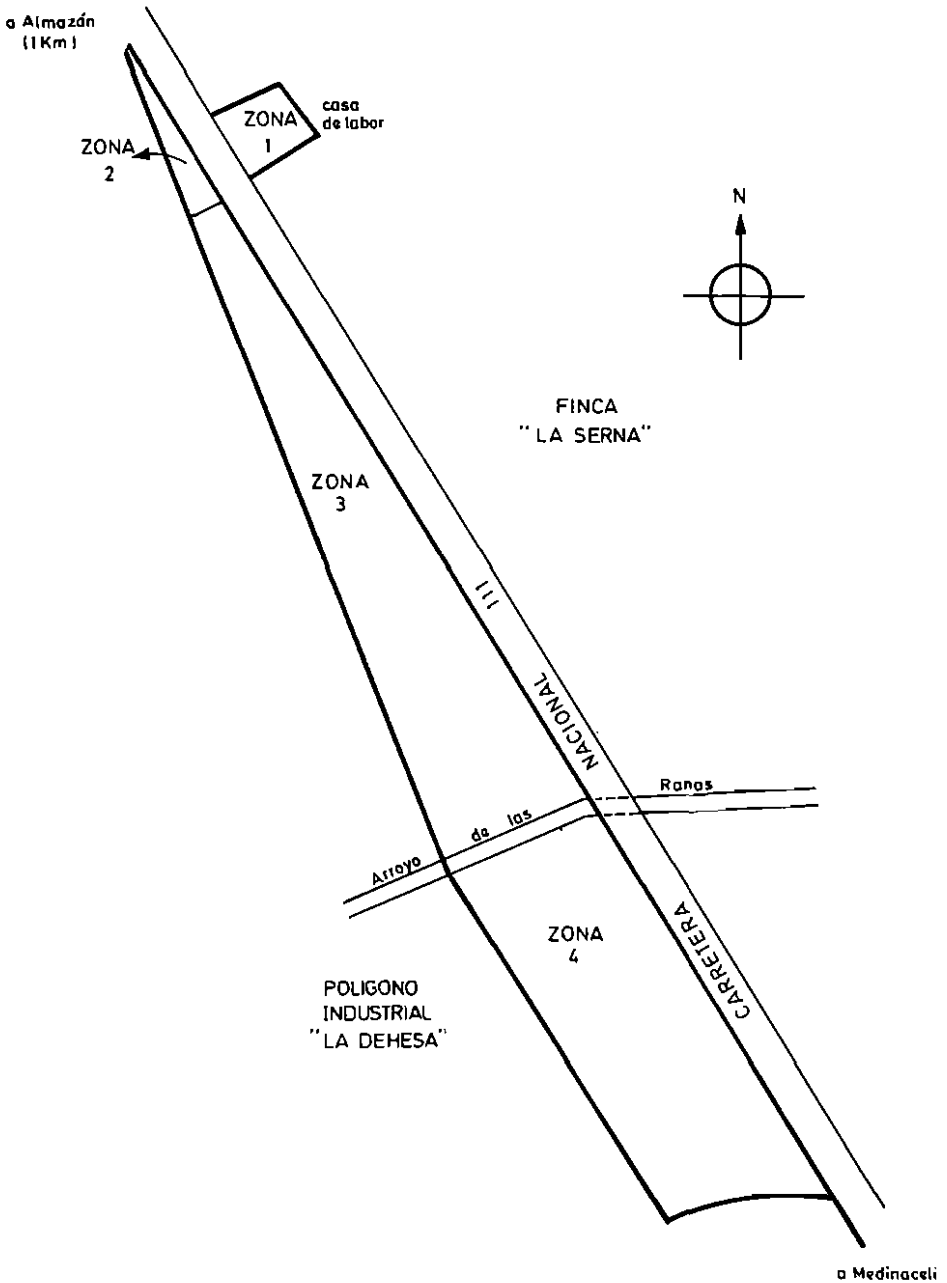


Fig. 3. Plano de la olmeda «El Plantío», situado en la finca «La Serna».



— Linda con un polígono industrial en donde existen dos fábricas de muebles.

— Dista 1,5 km del núcleo urbano de Almazán, que incluye varias serrerías y otras industrias de la madera.

— No es una olmeda puntual ni aislada, sino que a corta distancia existen otros enclaves con olmos (Fig. 2).

El riesgo se concretó durante el período vegetativo de 1986 al aparecer algunos focos de la cepa agresiva, de la raza *NAN*, la cepa más virulenta de esta temida enfermedad.

A partir de 1984 se viene siguiendo un plan de actuación que se ha ido mejorando sistemáticamente, en un principio, a través de la vía ensayo y error, y luego se ha perfeccionado al aplicar un enfoque científico a la problemática de la grafiosis. El presente estudio pretende, bajo un prisma epidemiológico, analizar el avance de la enfermedad, proponer un esquema mínimo de actuación, analizar el problema del control óptimo y, por último, utilizar la experiencia en el control de la grafiosis en la olmeda de «El Plantío», para esbozar un Programa de Control Integrado con el que proteger a las olmedas de otros lugares.

La olmeda presenta una inestimable variabilidad genética, debido a que sus «olmófilos» propietarios se dedicaron durante años a coleccionar distintas especies. En la actualidad constituye un valioso enclave para aprovechar y proteger dicho recurso genético.

### 3. DISCUSION Y ANALISIS DE RESULTADOS

#### 3.1. El saneamiento

Es un proceso que reduce, excluye o elimina el inóculo inicial a partir del cual empieza una epidemia (VANDERPLANK, 1963). El saneamiento es una palabra nueva, para un viejo y eficiente sistema de controlar una enfermedad.

Antes de explicar y aplicar las técnicas del saneamiento es necesario recordar los patrones epidemiológicos de la grafiosis. Algunos estudios sostienen que la propagación y expansión de la epidemia de la cepa agresiva corresponde a un proceso

de retroalimentación positivo (IPINZA y GIL, 1987); es decir, un constante incremento de la enfermedad, tan sólo limitado por la disponibilidad de olmos. Es más, puede considerarse que esta enfermedad se propaga a través de una tasa de interés compuesto, ya que un olmo afectado en una estación de crecimiento servirá de fuente alimenticia para varias generaciones de escolítidos capaces de iniciar nuevas infecciones en el mismo período y, por otro lado, el mismo olmo enfermo puede contaminar a otros más cercanos a través de injertos radiculares o de raíces-puente. Este proceso epidémico es policíclico, ya que concurren varios ciclos de infección sucesivos. Esto nos viene a indicar claramente lo difícil que resulta controlar esta enfermedad y que el saneamiento no es la panacea, aunque su utilidad esté fuera de toda duda, tal y como señalan MEYER y NORRIS (1965), HEYBROEK (1966), SCHREIBER y PEACOCK (1974), BARGER (1977), CANNON *et al.* (1977), MAKSIMOVIC y MOTAL (1983), RUETZE y HEYBROEK (1987) y LANIER, SCHUBERT y MANION (1988).

No existen evidencias que indiquen que el progreso epidémico de la enfermedad de la grafiosis sea igual con y sin saneamiento. Aún más, esta técnica, mal realizada o llevada a cabo de forma parcial, puede acelerar el proceso infeccioso.

El saneamiento ha demostrado ser una técnica útil en la disminución de la tasa de infección en la agricultura. En el campo forestal, dentro de una silvicultura extensiva, constituye la alternativa más eficaz a un coste mínimo para el control de plagas y enfermedades.

Debido a la controversia que suscitan algunos términos y vocablos utilizados en la actividad de saneamiento, hemos decidido definir operacionalmente los distintos elementos que la componen, como también las épocas en que se realizaron. Estas definiciones serán completadas en capítulos posteriores.

En este análisis se han considerado los árboles enfermos, muertos, apeados (por claras y cortas sanitarias) y desmochados (poda fuerte).

Arboles enfermos: olmos que presentan los síntomas de la grafiosis y que son detectados y señalados en el período vegetativo.

Arboles muertos: olmos que murieron al final del

período vegetativo más los olmos apeados en dicho período.

Árboles apeados: número total de olmos apeados; es decir, los olmos apeados durante el período vegetativo más los apeados en invierno.

Árboles desmochados: número de olmos enfermos que se podan o desmochan durante el reposo invernal del año considerado.

Para estimar la intensidad y éxito de una práctica de saneamiento para el control de la grafiosis hemos utilizado la tasa de infección aparente de VANDERPLANK (1963).

### 3.2. Estimación de la tasa de infección aparente

VANDERPLANK (1963) propuso dos métodos para estimar la tasa media de infección aparente ( $r$ ) a partir de datos muestrales. Una técnica establece que  $r$ , conocida también como la tasa de infección logística, es la pendiente de una regresión lineal determinada al hacer la gráfica de  $\text{Ln}[x/(1-x)]$  en función del tiempo ( $t$ ), donde ( $x$ ) es la proporción de árboles afectados y ( $1-x$ ) es la proporción de árboles sanos pero susceptibles de ser atacados. El otro método es similar, pero utiliza datos colectados en dos tiempos,  $t_1$  y  $t_2$ . Estos datos son también transformados por  $y_i = \text{Ln}[x_i/(1-x_i)]$  y  $r$  es estimado a través de  $r = (y_2 - y_1) / (t_2 - t_1)$ . Nuestros cálculos están basados en esta segunda opción. Además, es necesario recalcar que el  $r$  estimado es anual, a menos que se explicito lo contrario.

En la Fig. 4 se indica cómo ha evolucionado la olmeda «El Plantío» (Almazán-Soria), en el período 1984-1987. Lo primero que llama la atención es la drástica disminución de la enfermedad (cepa no agresiva) hacia 1985. En el invierno 1984-85 se realizaron cortas de baja intensidad, que no sobrepasaron el 17% en número de árboles. Aunque se había detectado la presencia de escolítidos, la principal preocupación era controlar al año siguiente la actividad del insecto desfoliador *Xanthogaleruca luteola* Müll., debido a que una menor densidad del arbolado le es desfavorable para su desarrollo. En el período de 1985-86, y a pesar de un descenso inicial de los árboles enfermos, éstos comienzan a ascender. El incremento de la grafiosis observado durante este año quizá tenga tres explicaciones, la

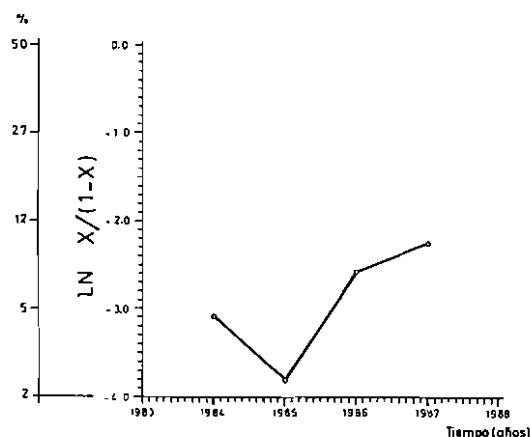


Fig. 4. Desarrollo epidémico de la grafiosis en la olmeda «El Plantío» (Almazán, Soria).

primera es que la severidad de la epidemia depende de la intensidad y eficiencia del saneamiento del año anterior. Es indudable que las claras y cortas realizadas disminuyen la competencia entre los hospedantes y, por ende, se obtiene un mayor vigor para la masa residual, lo que directa e indirectamente reduce el inóculo actual y potencial. Pero, lamentablemente, la intensidad de la corta sanitaria y clara fue insuficientemente para aminorar la enfermedad, que se incrementó más de tres veces al final del período, tal como lo indica el valor de  $r = 1.233$ . Segundo, la presencia en el intervalo 1984-85 de sólo la cepa no agresiva, bien pudo ser la causa de este fenómeno, aunque por sí sola ésta es resistida por los olmos, pero el trío galeruca, sequía y cepa no agresiva tienen un largo historial de ataques a estos árboles (IPINZA y GIL, 1986; PARDÉ y PINÓN, 1987). Por último, durante 1986 fue detectada la cepa agresiva proveniente de escolítidos que emergieron de una fábrica de muebles cercana a la finca en estudio.

En el verano de 1985 se aplicó a la olmeda Fenitrotión en líquido emulsionable al 50%; luego se emplearon 62,5 kg de metoxicloro en polvo para cubrir toda la olmeda. Los efectos de estas dos aplicaciones tuvieron un escaso éxito frente a los escolítidos. Durante el otoño e invierno se apearon los árboles afectados con escolítidos y se quemaron los desechos.

En vista del fenómeno de demora observado en la dinámica de la epidemia de la grafiosis, en el año

1986 se procedió a aplicar fuertes medidas de saneamiento. En este período se apeó una gran cantidad de árboles enfermos de grafiosis agresiva y sin porvenir, las ramillas pequeñas se quemaron, las trozas mayores se trataron con lindano + gasoil para su posterior uso como leña. Se realizaron podas y desmoches, aplicándoles pintura fungicida a las heridas. El saneamiento tuvo un efecto al año siguiente, es decir, en 1987. En este período el  $r$  fue sólo de 0,322; es decir, la tasa de infección aparente bajó su tendencia en forma considerable, alcanzando sólo un incremento de un 50% y no un 300%, como era la trayectoria del período anterior (1986). Este descenso obedece exclusivamente a las actividades de saneamiento; dentro de éstas ocupa un sitio importante el desmoche y poda. El éxito es más claro al tener la seguridad experimental que se luchaba en contra de la cepa agresiva de la grafiosis.

En este programa de saneamiento el desmoche y la poda se convierten en un elemento muy activo, ya que se intenta favorecer la recuperación de aquellos olmos que tienen porvenir, es decir, aquellos que tienen posibilidades de recuperarse. Dicha actividad fue valorada en función de los árboles muertos, cuyo nivel, muy bajo, se debió, probablemente, a la presencia de injertos radiculares o de raíces-puente, elemento hasta esa fecha no considerado por problemas de costos. Esta forma de propagación del hongo, en conjunto con los ingresos de escolítidos desde fuera del área de control, es la que impide que se consiga un nivel de infección igual a cero.

### 3.3. Simulación

Una vez analizada la situación actual es necesario estudiar las posibles trayectorias de la epidemia en curso. Para esto continuamos utilizando la ecuación epidemiológica propuesta por VANDERPLANK (1963), en su forma diferencial:

$$dx/dt = r \cdot x \cdot (1-x)$$

$$\int_{x_i}^{x_f} dx/x(1-x) = \int_{t_i}^{t_f} r dt$$

$$x_i = x_f / e^{r(t_f - t_i)} (1 - x_f) + x_f$$

$$x_f = x_i \cdot e^{r(t_f - t_i)} / (1 - x_i) + x_i \cdot e^{r(t_f - t_i)}$$

donde

- $x_i$  = número inicial de árboles enfermos;
- $x_f$  = número final de árboles enfermos;
- $t_i$  = tiempo inicial en años;
- $t_f$  = tiempo final en años;
- $r$  = tasa de infección aparente.

La ecuación logística fue integrada numéricamente mediante el algoritmo de Runge-Kutta de cuarto orden con intervalo fijo. Las simulaciones fueron realizadas con el programa CSMP (Continuous System Modeling Program), versión III. Este ha sido descrito en detalle por SPECKART y GREEN (1976).

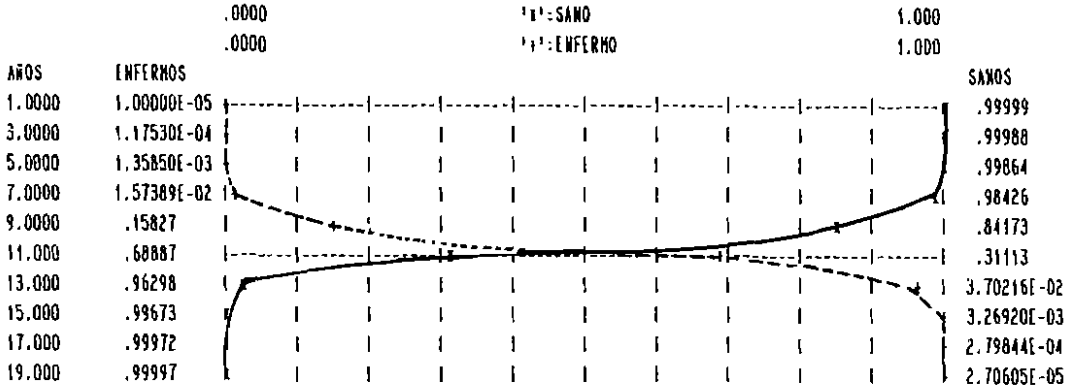
En la Fig. 5 se muestran tres proyecciones con la misma tasa de infección aparente del período 1985-86, y que corresponde a  $r = 1,233$ . Para cada una de las simulaciones se ha considerado un valor inicial en número de árboles distinto, expresado en tanto por uno. Estos son, respectivamente,  $x_0 = 0,00001$ , 0,022 y 0,05. El primer valor es muy hipotético, ya que significa que el número inicial de árboles enfermos tiende a cero. El segundo valor es realista, debido a que corresponde al nivel de enfermedad en el inicio de ese período. Por último, un supuesto pesimista en el sentido que suponemos que existe el doble de la cantidad actual (detectados) de árboles enfermos al comienzo de la simulación.

En relación a la primera condición inicial, el supuesto optimista, la olmeda se extinguiría al cabo de 17 años. Al mantener el nivel actual de árboles enfermos, es decir, la segunda condición, el número de árboles sanos llega al mínimo a los 9 años. Bajo el supuesto pesimista dicha olmeda sucumbiría a los 7 años. Es necesario indicar que estas opciones y las que más adelante se indican requieren un gran esfuerzo de control para mantener un valor bajo de la tasa de infección logística ( $r$ ).

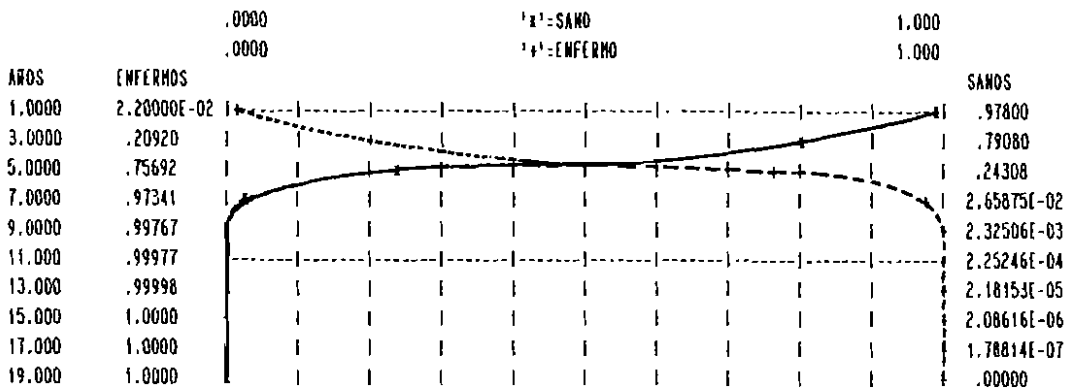
Un análisis superficial de esta figura indica que mantener una determinada tasa de infección, que se presume que es baja, no es una condición óptima para preservar una olmeda. Al incluir en este enfoque la táctica de reposición de olmos enfermos por olmos más resistentes, originado por el programa de mejora genética (IPINZA y GIL, 1988), quizá la primera condición aún pueda ser factible.

Las labores de saneamiento realizadas en el período 1985-86, provocaron una tasa de infección de

SIMULACIÓN DE LA ENFERMEDAD DE LA GRAFIOSIS A PARTIR DE 1986, MANTIENIENDO LA TASA DE INFECCIÓN DEL PERÍODO 1985-86  
 LA TASA DE INFECCIÓN APARENTE ( $r$  DE YANDERPLANK) ES 1,233  
 PRIMERA CONDICIÓN INICIAL : .10000E-04



SEGUNDA CONDICIÓN INICIAL : .22000E-01



TERCERA CONDICIÓN INICIAL : .50000E-01

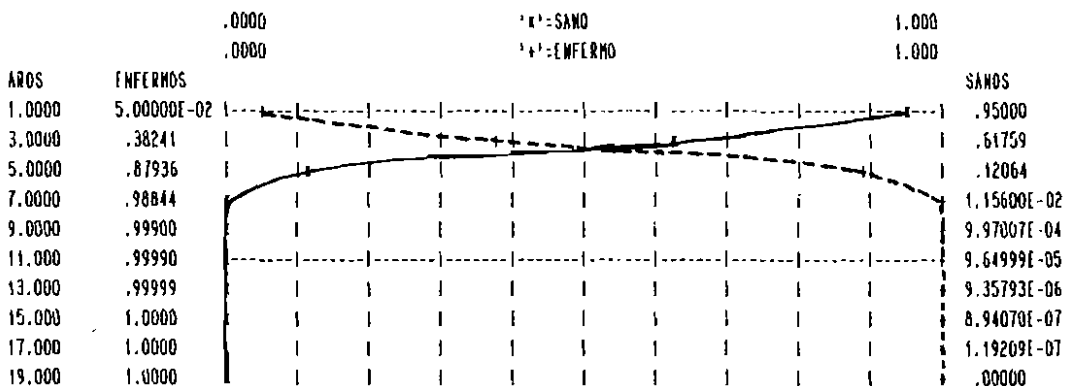


Fig. 5. Proyecciones epidemiológicas para el período 1985-86 basadas en el valor  $r=1,233$  y considerando los siguientes tres niveles iniciales de enfermedad: 0,10000E-04, 0,22000E-01 y 0,50000E-01.

$r=0,322$  durante 1986-87. Esta tasa se utilizó para realizar las siguientes simulaciones. En este caso se consideraron cinco valores iniciales:  $x_0=0,00001, 0,001, 0,01, 0,1$  y  $0,5$ . Las tres primeras pueden ser consideradas situaciones optimistas, la cuarta se ajusta al nivel de enfermedad existente en dicho momento y la última es marcadamente pesimista. En la Fig. 6 se indica la simulación de la primera condición inicial: la trayectoria de la enfermedad es muy lenta, el 50% de árboles afectados se produce a los 37 años y la mortandad total de los olmos actuales a los 50 años. Una situación igualmente interesante se observa en la Fig. 7, donde se alcanza un 50% de infección a los 23 años y casi 100% a los 37 años. La siguiente condición inicial optimista se indica en la Fig. 8, en donde a los 15 y 29 años se logra el 50 y 100% de ataque, respectivamente. Al mantenerse la tendencia real en el nivel inicial de árboles afectados, el umbral de 50% se sobrepasa a los 8 años y la destrucción total de la olmeda a los 23 años, tal como se indica en la Fig. 9. Por último, en la Fig. 10 se refleja un supuesto pesimista que logra un 100% de olmos muertos a los 15 años.

En las Figs. 6 a la 10 se aprecia que a medida que se incrementa el número inicial de olmos afectados menos se tarda en alcanzar los umbrales máximos de daño. Al comparar las dos situaciones simuladas,  $r_1=1,233$  y  $r_2=0,322$ , con las distintas restricciones en las condiciones iniciales se nota la mayor ponderación que presenta la tasa de infección aparente. Debido a que la epidemia crece con una mayor aceleración en  $r_1$ , a pesar de las semejantes condiciones iniciales.

### 3.4. Comparaciones epidemiológicas

La difusión de la enfermedad de la grafiosis y su relación con los programas de control ha sido analizada por varios autores, entre los que destacan GIBBS (1978), SINCLAIR (1978), MANION (1981) y LANIER, SCHUBERT y MANION (1988).

La tasa de aumento anual de la grafiosis en relación a otras enfermedades es una de las más elevadas. En la Tabla II se indica un cuadro comparativo del valor de  $r$  de varias enfermedades y sus respectivas localidades.

VAN SICKLE y STERNER (1976) demostraron que el saneamiento disminuyó dos a tres veces la tasa

de infección aparente de la grafiosis en New Brunswick, en Canadá.

Quizá uno de los programas de control más documentados es el de Syracuse en Nueva York (Estados Unidos), en donde durante el período de saneamiento mínimo se verificó una tasa fluctuante, que luego se estabilizó entre 1954 a 1957 a una tasa promedio de 0,87. Durante el período de máximo saneamiento la tasa fue más constante y, en promedio, alcanzó un 0,15. Finalmente, cuando se deja de actuar en las olmedas la tasa se incrementa en promedio de 0,43 ó 0,88. Es importante dejar claramente establecido que el omitir el control lleva irremediablemente a la desaparición de los olmos. La cepa agresiva de la grafiosis no admite situaciones intermedias.

Los valores iniciales obtenidos en Soria, específicamente el  $r_1=1,233$ , corresponde, a nuestro juicio, a la fase inicial de la epidemia, en donde existen múltiples ingresos de escolítidos en la olmeda. Esto es debido a que el aumento de la enfermedad está conformado de nuevas introducciones y propagaciones secundarias desde los centros de infección y probablemente en una segunda etapa de distintas fuentes de emisión externas. El segundo valor,  $r_2=0,32$ , aunque es bajo, por acción del saneamiento, pudiera corresponder a los valores bajos que se obtuvieron inicialmente en Syracuse (Estados Unidos), debido a que existen aún elementos poco estudiados.

Sin embargo, bajar la tasa de infección a niveles inferiores es posible a la luz de las investigaciones llevadas a cabo en esta ciudad norteamericana, con todo el nivel de dificultad que significa realizar una silvicultura urbana. Por último, es necesario introducir un segundo elemento dentro de este análisis, la enfermedad del «amarillo de los olmos» (*elm yellows*), producida por un micoplasma que es letal para *Ulmus americana* L. En cambio, las especies españolas presentan una gran resistencia. Un estudio llevado a cabo por LANIER, SCHUBERT y MANION (1988) en el centro de Nueva York demostró que las únicas especies que sobrevivieron al «amarillo» fueron especies europeas.

Comúnmente se señala que los olmos europeos tienen una base genética restringida; este elemento constituye una verdad relativa y debe ser analizada con mayor profundidad. En primer lugar, la ol-

SIMULACION DE LA ENFERMEDAD DE LA GRAFIOSIS A PARTIR DE 1987, MANTENIENDO LA TASA DE INFECCION DEL PERIODO 1986-87 LA TASA DE INFECCION APARENTE (r DE VANDERPLANK) ES 0,322

PRIMERA CONDICION INICIAL : .10000E-04

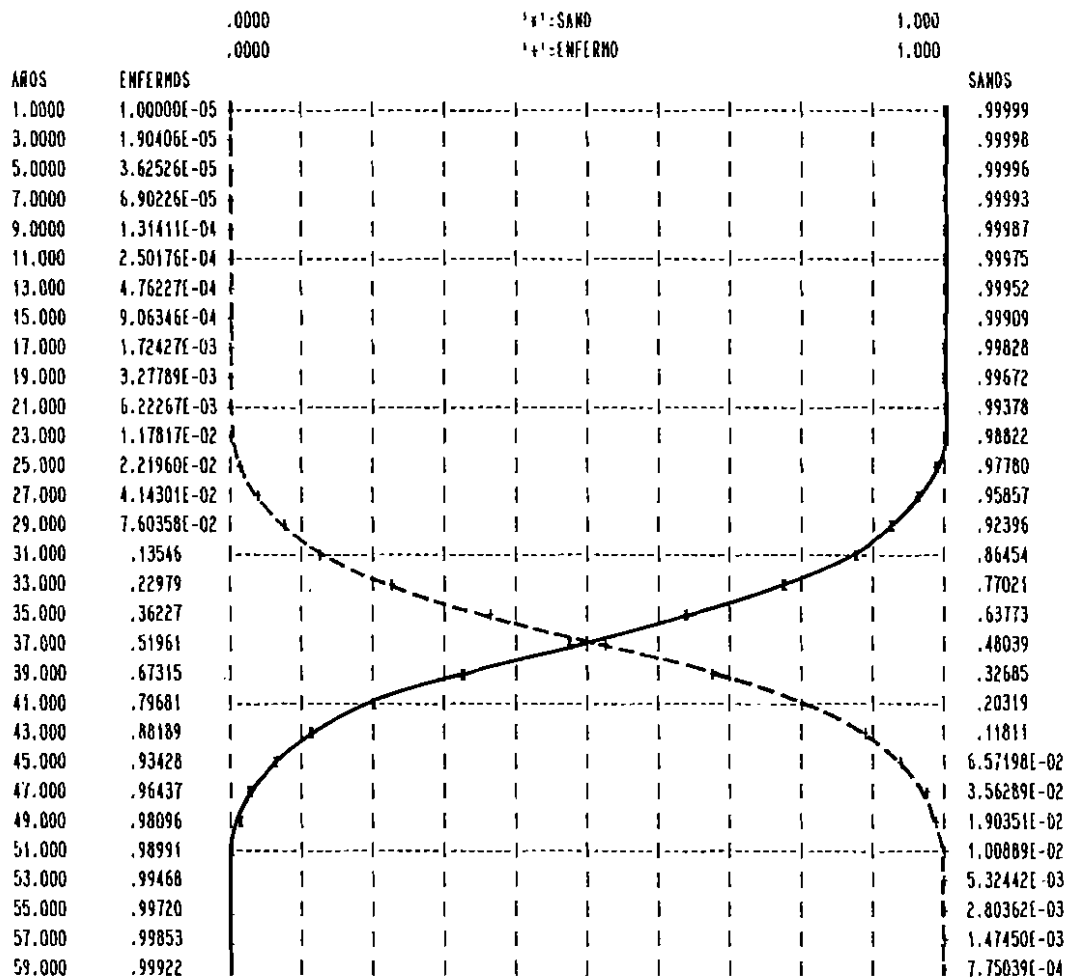


Fig. 6. Proyección epidemiológica para el período 1986-87 basada en el valor  $r=0,322$  y considerando la siguiente condición inicial en número de árboles enfermos (1/1):  $0,10000E-04$ .

meda piloto «El Plantío» presenta varias especies: *U. minor* var. *vulgaris* (= *U. procera*), *U. minor* var. *minor*, *U. x hollandica*, *U. minor* var. *cornubiensis* y otros numerosos híbridos. Estos olmos europeos presentan una resistencia mayor a la grafiosis que las especies norteamericanas, tal como lo demostró NEELY y CARTER (1965). Sin embargo, las espe-

cies europeas difieren entre sí, y es así como en Inglaterra se estimó un  $r$  promedio de 0,65 para *U. procera*, 0,44 para *U. glabra* y 0,46 para un heterogéneo grupo conformado por *U. minor* e híbridos de *U. x hollandica* (GIBBS, 1978). La especie asiática *U. pumila* L., conocida como el olmo siberiano, presenta cierta resistencia, que en algunos

SIMULACION DE LA ENFERMEDAD DE LA GRAFIDOSIS A PARTIR DE 1987, MANTENIENDO LA TASA DE INFECCION DEL PERIODO 1986-87 LA TASA DE INFECCION APARENTE (r DE VANDERPLANK) ES 0,322

SEGUNDA CONDICION INICIAL : .10000E-02

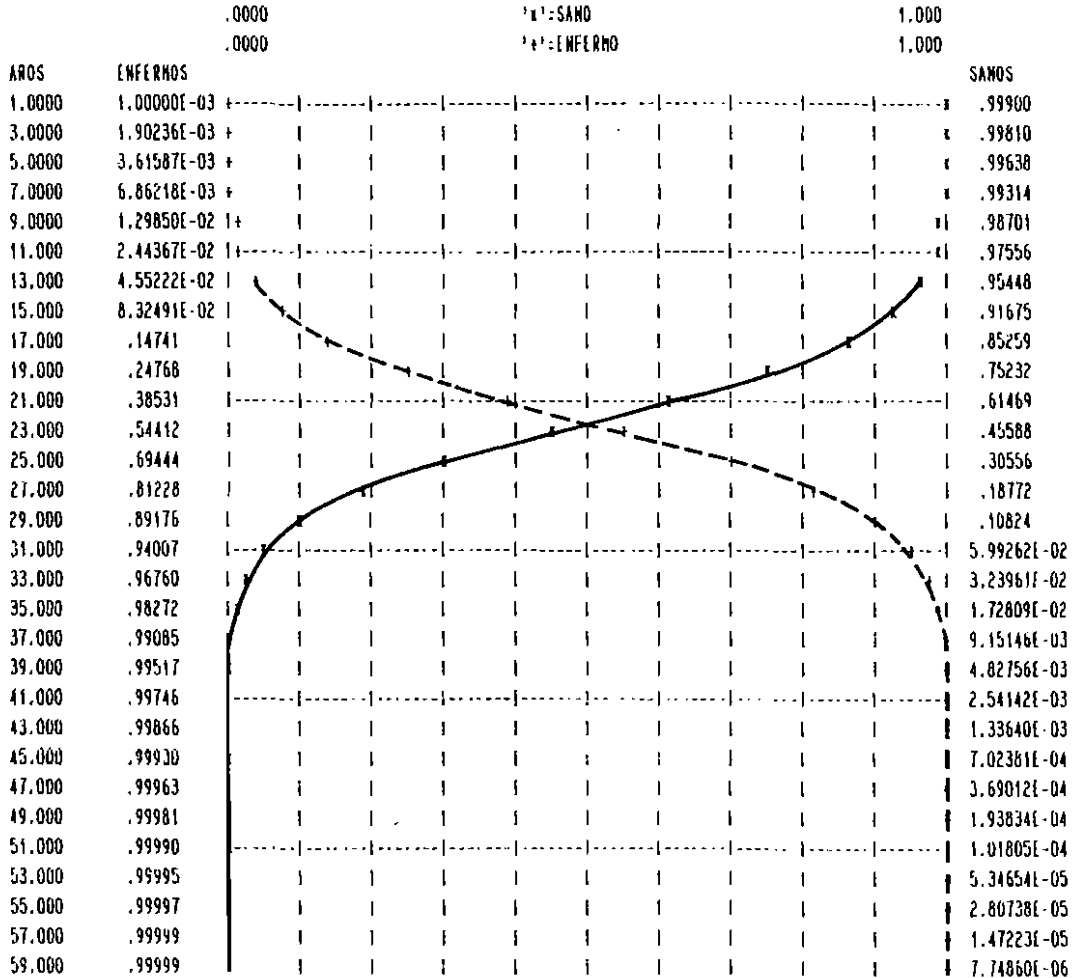


Fig. 7. Proyección epidemiológica para el período 1986-87 basada en el valor  $r=0,322$  y considerando la siguiente condición inicial en número de árboles enfermos (1/1): 0,10000E-02.

casos puede no ser suficiente para contrarrestar la virulencia de la cepa agresiva. Esta especie ha sufrido en España, como en el resto de Europa, continuas hibridaciones naturales, con lo que presenta una gran variación en resistencia.

Entonces, al aplicar en dos lugares distintos un idéntico programa de control (como saneamiento, aplicación de productos químicos en contra del vector y del hongo, utilización de la técnica del árbol cebo, feromonas, etcétera) sobre un material gené-

SIMULACION DE LA ENFERMEDAD DE LA GRAFIOSIS A PARTIR DE 1987, MANTENIENDO LA TASA DE INFECCION DEL PERIODO 1986-87 LA TASA DE INFECCION APARENTE (r DE VANDERPLANK) ES 0,322 TERCERA CONDICION INICIAL = .10000E 01

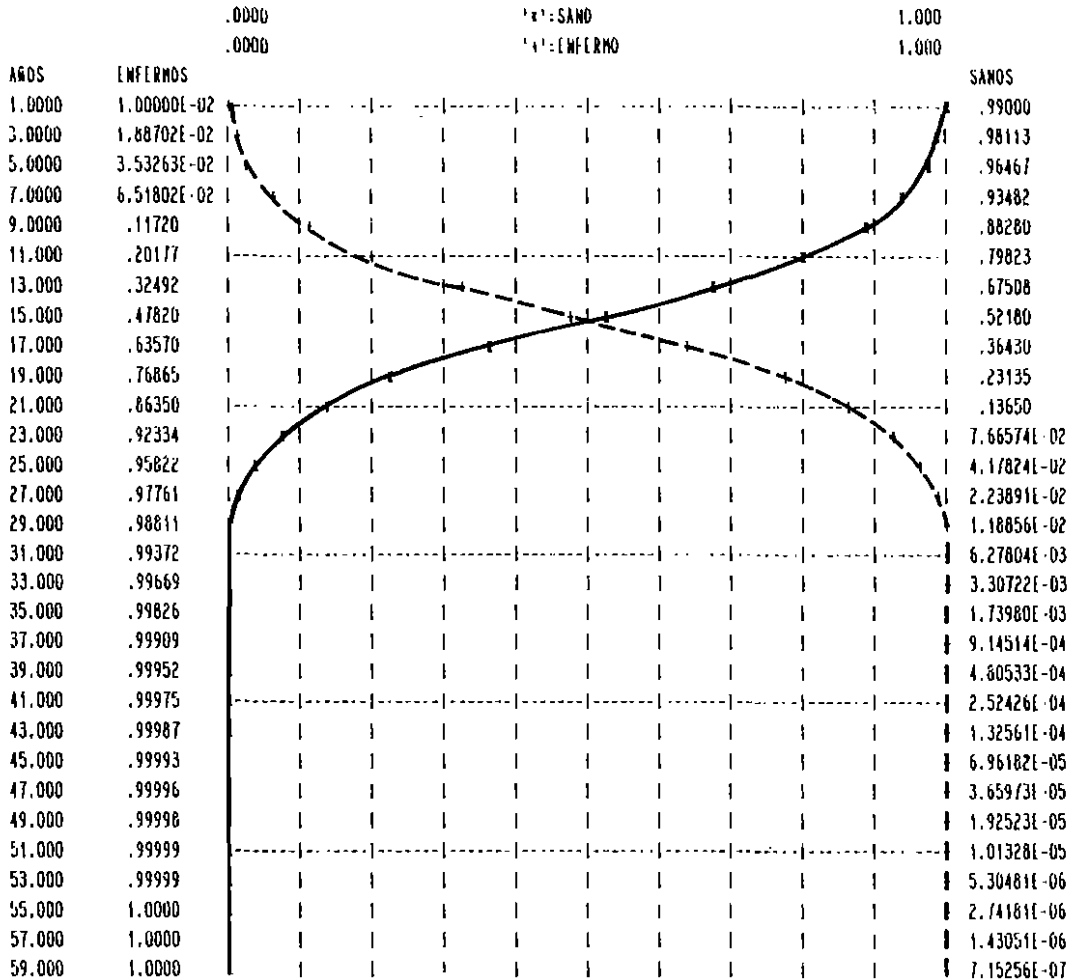


Fig. 8. Proyección epidemiológica para el período 1986-87 basada en el valor  $r=0,322$  y considerando la siguiente condición inicial en número de árboles enfermos (1/1): 0,10000E-01.

tico disímil, los resultados, obviamente, son distintos debido a que la interacción olmo, patógeno, vector y ambiente se traduce en distintos comportamientos epidémicos.

3.5. La temperatura, época del año y estado fenológico del olmo en relación al avance de la enfermedad

Los escolítidos tienen un importante factor limi-

tante para su desarrollo; la temperatura, específicamente la acumulación de unidades de calor (días grados). Esto queda claramente demostrado al analizar los ritmos y niveles poblacionales de estos insectos en los países del norte de Europa, donde la falta de calor es su principal limitante (ROLL-HANSEN, 1985).

FRANSEN (1939) encontró que *S. scolytus* emergió cuando las temperaturas alcanzaron los 17,5° C e



SIMULACIÓN DE LA ENFERMEDAD DE LA GRAFIOSIS A PARTIR DE 1987, MANTENIENDO LA TASA DE INFECCIÓN DEL PERÍODO 1986-87  
LA TASA DE INFECCIÓN APARENTE (r DE VANDERPLANK) ES 0,322

CUARTA CONDICION INICIAL = .10000

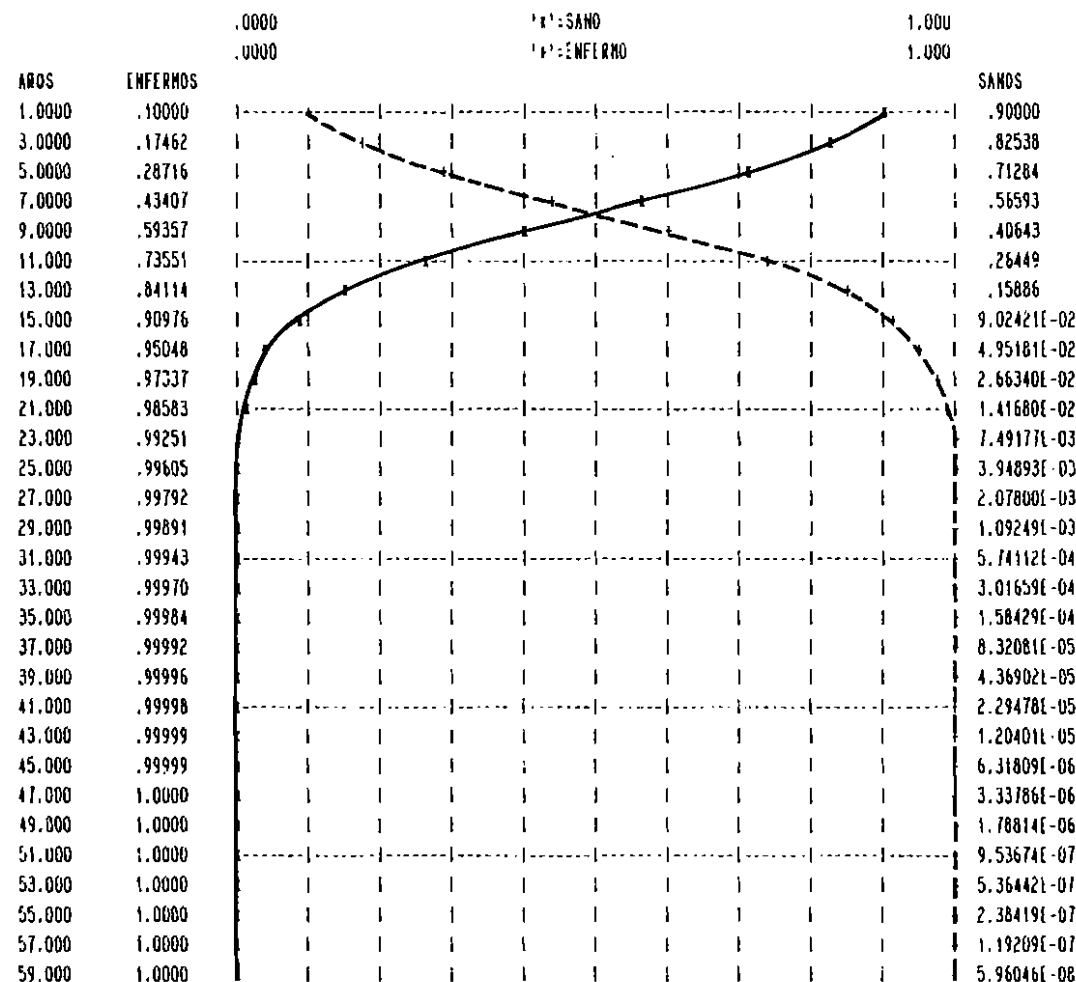


Fig. 9. Proyección epidemiológica para el período 1986-87 basada en el valor  $r=0,322$  y considerando la siguiente condición inicial en número de árboles enfermos (1/1): 0,10000.

inició su vuelo de dispersión con temperaturas  $>20^{\circ}\text{C}$ . KEYSERLING (1982) indicó que la emergencia y dispersión se produjeron a los  $16$  y  $20^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, y FAIRHURST y KING (1983) consideraron el umbral de  $22^{\circ}\text{C}$  como límite inferior para la determinación del número de días con temperaturas apropiadas para la dispersión de esta es-

pecie. PAJARES (1987) indica que el inicio y finalización de los vuelos de *S. scolytus* estuvo condicionada por la existencia de temperaturas favorables y consideró el límite de  $20^{\circ}\text{C}$  como el umbral requerido para que se produzca la dispersión de esta especie. La suma de las temperaturas medias diarias durante el período de desarrollo de una gene-

SIMULACION DE LA ENFERMEDAD DE LA GRAFIOSIS A PARTIR DE 1987, MANTENIENDO LA TASA DE INFECCION DEL PERIODO 1986-87 LA TASA DE INFECCION APARENTE (r DE VANDERPLANK) ES 0,322

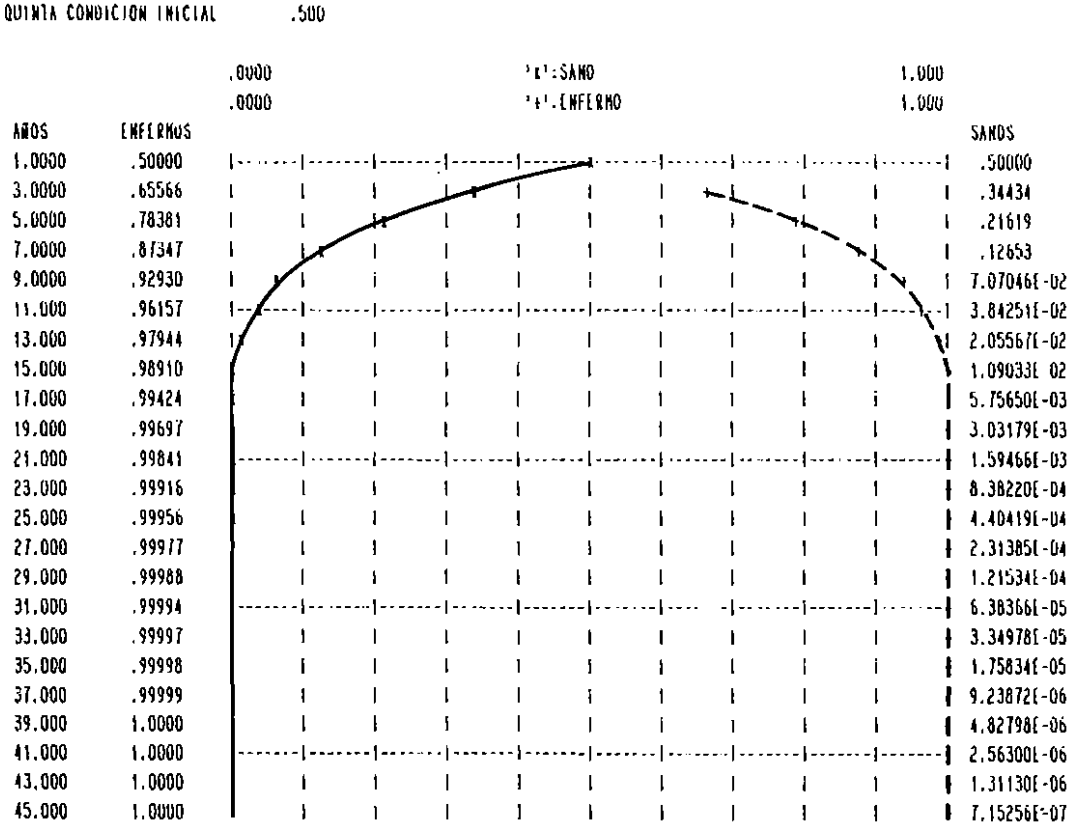


Fig. 10. Proyección epidemiológica para el período 1986-87 basada en el valor  $r=0,322$  y considerando la siguiente condición inicial en número de árboles enfermos (1/1): 0,500.

TABLA II  
TASA DE INFECCION APARENTE (r) ANUAL DE DISTINTAS ENFERMEDADES

Enfermedades	Organismo	r	Localidad
Grafiosis	<i>Ceratocystis ulmi</i> (Buism.) C. Moreau	1,37	Illinois (EE. UU.)
		0,32-1,23	Soria (España)
		0,50	Connecticut (EE. UU.)
Tizón del castaño	<i>Endothia parasitica</i> (Murr.) P. J. & H. W.	1,42	Pennsylvania (EE. UU.)
Muerte apical	<i>Sphaeropsis sapinea</i> (Fr.) Dyko y Sutton	0,08-1,42	VI Región (Chile)
Amarilleo del olmo	Micoplasma	0,46	Indiana (EE. UU.)
Marchitez de los robles	<i>Ceratocystis fagacearum</i> (Bretz) Hunt.	0,36	Arkansas (EE. UU.)

Fuente: Extraído principalmente de MERRILL (1967, MANION (1981), IPINZA, PRIETO y BASCUR (1988).

ración (38 a 43 días a partir de junio de 1986) en Puerta de Hierro fue de 875°C, lo cual es inferior a las cifras de 900-1.000°C indicadas por FRANSSEN (1939) y de 930,1°C de MASLOV (1970).

Para *S. multistriatus*, NORRIS (1965) encontró que la emergencia se produjo entre los 15 y 18°C y los vuelos fueron iniciados entre los 22-33°C, mientras BARTELS y LANIER (1974) indican un umbral de 20° para el vuelo de esta especie. PAJARES (1987) señala que los vuelos de dispersión estuvieron condicionados por el mantenimiento de temperaturas favorables, las cuales podemos considerar que se encuentran por encima del umbral de los 23°C. En Puerta de Hierro, a partir de mayo de 1986, y transcurridos 46-50 días, la suma de las temperaturas medias diaria a lo largo del período de desarrollo de una generación fue de 1.012°C, lo cual se asemeja con las cifras indicadas por MASLOV (1970) de 1.010,5°C.

Por último, PAJARES (1987) en *S. kirschii* indica que el umbral inferior para que se produzca la dispersión se encuentra alrededor de los 24°C y la suma de las temperaturas medias diarias durante el desarrollo de una generación en Madrid (Puerta de Hierro) fue de 950,5°C.

Si el ataque se produce a comienzo de la primavera, la muerte puede ser fulminante. En este período los árboles se encuentran en su máxima actividad de flujo savial, el anillo de crecimiento se encuentra formándose y la inoculación en las horcaduras que tocan el xilema permiten que el hongo que portan estos vectores logre situarse en un punto ventajoso para iniciar el proceso de infección. Después de un breve intervalo de tiempo (horas) las esporas asexuales o conidios germinan y originan hifas primarias, que inician la fase de penetración a través del tejido xilemático.

Las hifas penetran en los vasos produciendo miles de conidios. De esta manera se asegura la fase de colonización. Los conidios se moverán con el flujo de savia ascendente a gran velocidad y más lentamente hacia abajo en contra de dicho flujo. Esto último se consigue en la medida que se rompe la continuidad de la columna de agua tras la muerte de la porción del olmo por encima del punto de inoculación.

Luego los conidios germinan y las hifas producen toxinas; éstas, a su vez, provocan una violenta res-

puesta al bloquear el paso del movimiento de la savia en el xilema. Este bloqueo vascular reduce el flujo longitudinal a través de las tilidosis, vasos colapsados y, en definitiva, sobreviene un síndrome de marchitamiento generalizado que se percibe inicialmente a nivel del parénquima foliar (ver LAMINA II, Foto 1). La capacidad destructora de las enzimas de la cepa agresiva es de tal magnitud que inhibe la respuesta de defensa del hospedante.

Desde el punto de vista de la disponibilidad del inóculo existen varios elementos que al considerarlos ponen de manifiesto la importancia de la mayor susceptibilidad del hospedante en primavera. En esta época, cuando las temperaturas comienzan a ascender, la disponibilidad de conidios de origen melciar en la corteza es mínima (BRASIER, 1986), pero a partir de ese momento comienzan a incrementarse en forma directamente proporcional a la temperatura hasta llegar a un máximo a comienzos del verano. En cambio, los estados graphium (ver LAMINA II, Foto 2), que tiene su máximo en verano, presentan una frecuencia de estructura de fructificación menor. Por último, la fase sexual (peritecios) tiene su mayor nivel en invierno.

Si la infección se produce en el verano, las elevadas temperaturas y el escaso flujo de savia bruta en el árbol aminoran en forma pronunciada los síntomas y la progresión de la enfermedad. A este respecto conviene indicar que en condiciones de laboratorio el crecimiento de la cepa agresiva NAN se inhibe a temperaturas iguales o superiores a los 32°C, estando su óptimo alrededor de los 27° a los 28°C. Este mecanismo ha sido sugerido por SINCLAIR (1978) para explicar cómo las altas temperaturas pueden limitar el impacto de la enfermedad en el sur de Estados Unidos. De acuerdo a esto, la sugerencia de que *S. kirschii* acentúa su carácter agresivo con la sequías y las altas temperaturas (LINDEMANN, 1978) tendría consecuencias limitadas, a menos que el hongo inactivo al sobrepasar su umbral térmico permaneciera latente en las horcaduras de las ramas y que al bajar las temperaturas el hongo pudiese retomar su iniciativa destructora. Las grandes poblaciones de escolítidos, de tamaño pequeño, portadores de conidios de la cepa agresiva, entran en una fase en que tienen que recuperar la humedad perdida con mucha frecuencia, pero también es necesario señalar que los conidios en contacto con el aire caliente sufren daños irreversibles, luego es discutible el papel de es-

ra estrategia de contagio y más aún al considerar que todas las estructuras asexuales en esta época disminuyen su frecuencia en las galerías maternas.

### 3.6. Patrones epidémicos de la enfermedad de la grafiosis

Mediante este apartado queremos valorar los factores de dispersión de la enfermedad de la grafiosis, tanto los naturales como los artificiales, haciendo especial hincapié en los medios naturales, esto es: los escolítidos y la transmisión mediante injertos radiculares y/o raíces-puente. Otra forma de difusión de la enfermedad es a través del transporte de madera y leñas de olmo que el hombre realiza (Fig. 1).

#### 3.6.1. Escolítidos

Los patrones de vuelo de los vectores de la grafiosis a corta y mediana distancia, pero fundamentalmente este último, están determinados por el movimiento del aire. FELT (1937), interesado en la influencia del viento sobre la distribución de *S. multistriatus*, liberó alrededor de cinco mil globos con gas y encontró que sus patrones de distribución por el viento eran muy similares a la propagación inicial de *C. ulmi*. MEYER y NORRIS (1973) confirmó los hallazgos de FELT (1937) al establecer que en las zonas sujetas a la acción del viento no existen patrones aleatorios de dispersión de escolítidos.

En una olmeda la alimentación en las horcaduras parece que disminuye cuando la distancia de dispersión aumenta. WOLFENBARGER y JONES (1943) determinaron a través de análisis de regresión que la densidad de escolítidos disminuye con el aumento de la distancia de dispersión. También dichos autores (*op. cit.*) encontraron que la alimentación en horcaduras era más abundante alrededor de una fuente de escolítidos que en un sitio sin ellos o más distantes. Estas observaciones indican una relación entre la densidad relativa de estos vectores y la alimentación en ramillas de árboles sanos.

El movimiento de los escolítidos está diseminado por factores físicos y químicos. Su efecto es sinérgico y complejo. Trataremos, mediante este desglose, de rescatar los elementos importantes desde el punto de vista epidemiológico.

— *Factores físicos:* Para dar un carácter más cuan-

titativo a estas relaciones hemos recogido los datos de base (Tabla I, pág. 506) entregados por MEYER y NORRIS (1973) y hemos procedido a reestudiarlos bajo nuestro prisma. En la Tabla III se ilustra el ángulo horizontal (X1, medido respecto del vector viento) y vertical (X2) y la velocidad en metros por minuto, en adelante m/minuto.

Después de ajustar varios modelos se decidió por el modelo de regresión simple para establecer las relaciones entre X1-X3 y X2-X3, respectivamente. Se procedió de forma similar para establecer la función  $X1 = F(X2, X3)$ , en donde se eligió un modelo de regresión múltiple. Tanto los coeficientes de regresión como los estimadores de bondad de ajuste de todos los modelos utilizados se señalan en la Tabla IV.

El primer modelo  $X1 = 66,467 - 0,0764517 \cdot X3$  muestra claramente la relación inversamente proporcional entre el ángulo horizontal de despegue y la velocidad de viento en m/minutos. La relación es consistente, tal como lo indican las pruebas del modelo. El segundo modelo de regresión simple  $X2 = 85,5036 - 0,189332 \cdot X3$  presenta un comportamiento similar entre la variable dependiente ángulo de despegue vertical y la velocidad del viento. En ambos casos se puede asegurar que existe un límite en la velocidad del viento a partir del cual los escolítidos no realizan el despegue inicial.

El modelo de regresión múltiple  $X = 47,592419 + 0,220746 \cdot X2 - 0,034657 \cdot X3$  permite un mejor ajuste, tal como lo demuestran las pruebas indicadas en la Tabla IV. La gráfica de este modelo (Fig. 11) muestra de manera inequívoca que el máximo ángulo de despegue (X1 y X2) se produce cuando X3 es mínimo.

A partir de estas relaciones se puede concluir que a medida que aumenta la velocidad del viento, los escolítidos ejercen cada vez menos control sobre el despegue inicial. En observaciones previas, MEYER y NORRIS (1967) indican que el vuelo de dispersión se produce cuando la velocidad del viento excede, aproximadamente, a 134 m/minuto. En días de calma relativa la brisa puede exceder a 134 m/minuto, de acuerdo a MEYER y NORRIS (1973). En todo caso, si la velocidad del viento aumenta, los vectores en vuelo son llevados en dirección del flujo de aire. En períodos de calma se ha observado un ángulo de despegue horizontal de

TABLA III

ANGULOS DE DESPEGUE DE *S. MULTISTRIATUS*: X1 ES HORIZONTAL Y X2 ES VERTICAL; X3 ES LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO EN m/minuto PARA CADA PERIODO DE MUESTREO

X3 (m/minuto)	X1	X2
40,23	54,70	56,74
40,23	45,00	56,25
67,06	106,90	75,00
67,06	88,00	62,97
80,47	103,30	56,70
80,47	41,55	48,48
107,29	78,80	67,50
120,70	106,85	67,22
134,11	77,20	57,51
160,93	40,80	43,80
174,35	45,80	52,50
187,76	36,20	48,75
187,76	74,25	60,00
187,76	27,45	48,36
201,17	32,85	49,29
201,17	57,82	65,25
214,58	27,80	43,20
227,99	46,80	47,88
227,99	19,80	47,70
241,40	26,90	56,25
254,81	27,00	45,00
254,81	32,80	45,12
254,81	18,60	37,80
254,81	25,80	47,70
268,22	43,65	57,00
295,05	34,90	48,00
308,46	25,45	40,39
321,87	27,70	44,19
321,87	37,35	35,01
321,87	36,23	42,84
348,69	36,88	35,46

Fuente: Extraído de MEYER y NORRIS (1973).

75°; en cambio, en los períodos de más viento este ángulo se reduce a 35°.

Cuando la velocidad del viento es máxima, 268 a 322 m/minuto (= 16-20 km/hora), los escolítidos inician el vuelo en los breves momentos de disminución de la velocidad del viento. Estos vectores buscan un punto alto y en el momento que se produce la calma ellos inician su vuelo, formando una estrecha espiral, para luego volar en dirección del viento.

WOLFENBARGER y BUCHANNAN (1939) estimaron mediante un diseño experimental que *S. multistriatus* puede mantenerse sin agua o alimento durante 2,2 días. En cambio, la alimentación en horcaduras les permite vivir 7,6 días. Estos insectos tienen

una gran capacidad de ser atraídos en dirección de fuentes de humedad. Tal es su necesidad que *S. scolytus*, si no consigue agua en un período de 30 horas, puede morir (KEYSERLINGK, 1982). Dicho autor (*op. cit.*) demuestra que este insecto muere cuando pierde alrededor del 20% de su peso. Aunque la pérdida de agua más importante se presenta después de que muere, esto sugiere un mecanismo muy eficiente de protección en contra de la desecación cuando está aún vivo o que es más sensible a las disminuciones de energía que a las de agua. En todo caso, cuando disminuye, aproximadamente, el 15% de su peso inicial, muestran síntomas de debilidad del que muy pocas veces son capaces de recuperarse.

Experimentos realizados por KEYSERLINGK (1982)

TABLA IV

## ESTIMACION DE LOS COEFICIENTES DE POSICION Y DE REGRESION Y DE LAS RESPECTIVAS PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE PARA DOS MODELOS DE REGRESION SIMPLE Y UNO DE REGRESION MULTIPLE

Análisis de regresión-X1 = a-bX3				
Parámetros		Estimación		Error estándar
Posición		66,467		3,11218
Pendiente		-0,0764517		0,0143076
Análisis de varianza				
Fuente	Suma de cuadrados	G1	Razon de F	Nivel de Prob
Modelo	1428,4850	1	228,5524	0,00001
Error	1450,8781	29		
Total (Corr.)	2879,3632	30		
Coeficiente de correlación		= -0,704352		
Coeficiente de determinación		= 49,61%		
Error estándar de la estimación		= 7,07321		
Análisis de regresión-X2 = a-bX3				
Parámetros		Estimación		Error estándar
Posición		85,5036		8,77155
Pendiente		-0,189332		0,0403252
Análisis de varianza				
Fuente	Suma de cuadrados	G1	Razón de F	Nivel de Prob
Modelo	8760,9469	1	22,0443	0,00006
Error	11525,3270	29		
Total (Corr.)	20286,2740	30		
Coeficiente de correlación		= -0,657165		
Coeficiente de determinación		= 43,19%		
Error estándar de la estimación		= 19,9355		
Análisis de regresión-X2 = a + bX2-cX3				
Parámetros		Coeficientes		Error estándar
Constante		47,592419		5,12781
X2		0,220746		0,052494
X3		-0,034657		0,015124
Análisis de varianza				
Fuente	Suma de cuadrados	G1	Razón de F	Nivel de Prob
Modelo	1990,10	2	31,3309	0,00000
Error	889,262	28		
Total (Corr.)	2879,36	30		
Coeficiente de correlación múltiple		= 0,83136		
Coeficiente de determinación		= 0,69116		
Coeficiente de determinación (ajust. G.1)		= 0,6691		
Error estándar de la estimación		= 5,63554		
Estradígrafo de Durbin-Watson		= 1,65234		

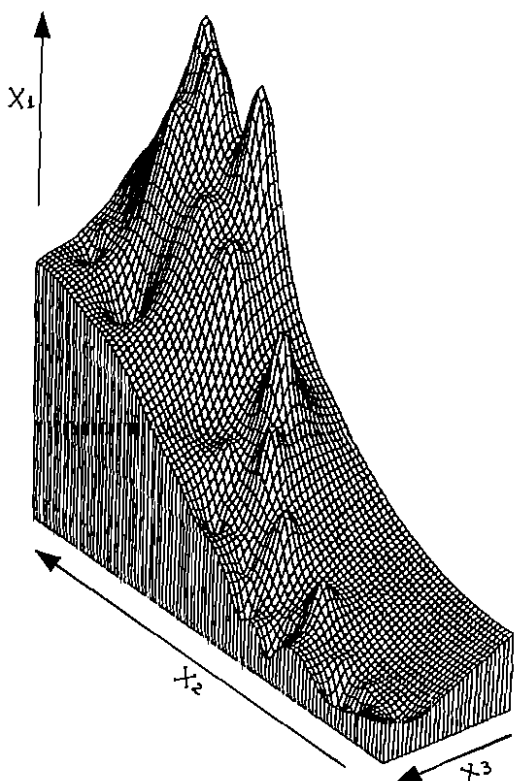


Fig. 11. Modelo de superficie de respuesta del ángulo de despegue horizontal  $X_1$  (ajustado), ángulo de despegue vertical  $X_2$  y la velocidad del viento  $X_3$ .

demuestran que un *S. scolytus* tiene un umbral de vuelo de dos horas. Dentro de este intervalo aún puede recuperarse de los gastos de agua. La velocidad media de *S. scolytus* en condiciones de laboratorio sobre una distancia de 6 metros es 96 m/minuto. Este escolítido evita emprender el vuelo cuando la velocidad del viento excede a 120 m/minuto. Como en el caso de *S. multistriatus*, este insecto también tiende a volar a favor del viento.

Un escolítido volando a favor del viento durante una hora a una velocidad de 96 m/minutos (5,760 km/hora) y con una velocidad del viento de 90 m/minuto (5,4 km/hora) será capaz de recorrer alrededor de 11 km. Contrariamente a lo que se piensa, dicha cifra es conservadora, ya que al considerar una velocidad del viento de 134 m/minuto y manteniendo la velocidad y la duración del vuelo

del escolítido, la dispersión del insecto llega fácilmente a los 14 km.

El vuelo de los escolítidos demuestra un fuerte fototropismo positivo, especialmente bajo el umbral de 134 m/minuto. A este nivel la radiación solar se torna en el elemento físico más importante en la determinación de los patrones de dispersión de los escolítidos en olmos sanos, ya que en ausencia de estímulos químicos estos vectores son capaces de encontrar la copa de los olmos. Por último, KEYSERLINGK (1982) establece que en áreas abiertas estos insectos tienden a volar en la dirección del viento. Mientras que en situaciones de sombra vuelan hacia los claros de luz que se forman en el dosel y una vez arriba siguen la dirección del viento. Creemos que los estímulos físicos de luz y sombra, junto a los químicos, son los responsables de la dispersión a corta distancia.

— *Factores químicos:* Cuando un árbol enfermo comienza a ser colonizado, las hembras vírgenes *Scolytus multistriatus* taladran la corteza del olmo, liberando H (4-metil 3-heptanol) y M ( $\alpha$ -multistriatin) en cantidades iguales. La cantidad de C ( $\alpha$ -cubebeno) producida por el árbol aumenta con la actividad de perforación del insecto. La población entrante responde a este mensaje químico dirigiéndose hacia el lugar de emisión en la corteza excavada, donde los machos copulan con las hembras y éstas ovopositan luego. El aumento del número de vectores alrededor del árbol provoca la alimentación en horcaduras de algunos escolítidos. Al realizarse el apareamiento la hembra deja de liberar H. La disminución de los lugares para la cópula provoca que muy pocas hembras vírgenes puedan emitir feromonas, por esto merma la producción de H. Esto implica que la razón M:H aumente, con lo que los escolítidos aún continúan siendo atraídos, pero la alteración de la razón M:H inhibe el desembarco en el área de mayor concentración. Debido a esto, las poblaciones que ingresan en la olmeda se desvían a las copas de los olmos sanos, donde se alimentan de las horcaduras de las ramillas.

La alimentación en horcaduras, cuando se produce, es un medio por el cual el escolítido consigue humedad y reservas energéticas cuando no dispone de un espacio para copular; es decir, cuando el sistema está saturado, el vector inocula la cepa agresiva de *U. ulmi* a olmos sanos.

Si tenemos una velocidad del viento que supera el umbral de brisa (134 m/minuto) y un escolítido percibiendo los estímulos químicos originados por una fuente cercana de feromonas, este último esperará la situación propicia para alcanzar el objetivo. Si en pleno vuelo se produce una ráfaga que supera este umbral, el escolítido se verá arrastrado por la corriente y se produce un efecto aleatorio de dispersión del vector dentro del área de influencia del viento siempre que el escolítido sobreviva al percance. Por esta razón, el viento como medio de difusión de los aromas químicos es sólo válido bajo el umbral de 134 m/minuto, debido a que es el único momento en que el escolítido puede volar hacia dicha fuente de emisión.

### 3.6.2. Injertos radiculares y/o raíces-puente

La epidemia también dispone de un mecanismo secundario de avance a corta distancia. Este es a través de injertos radiculares o raíces-puente. Su frecuencia es especialmente importante en montes bajos, así como en plantaciones lineales poco espaciadas. La especie *U. minor* y sus híbridos son las más propensas a ser contaminadas por este medio, ya que tienen una gran capacidad de producir estas uniones (BRAUN *et al.*, 1978).

En observaciones de campo se ha constatado que la probabilidad de transmisión de la grafiosis vía injerto radicular está determinada por dos elementos. El primero es el tamaño de los olmos y el segundo la distancia entre dos árboles. Si se realizan observaciones anuales de frecuencias de esta forma de contagio es posible estimar dicha probabilidad mediante la siguiente función lineal:

$$P = a + b \text{ (DAP}_m \text{/dist)}$$

donde

- P = Probabilidad de transmisión vía raíz;  
 a, b = Coeficiente de posición y de regresión, respectivamente;  
 DAP<sub>m</sub> = Media aritmética entre el DAP<sub>1</sub> del árbol enfermo y el DAP<sub>2</sub> del árbol sano;  
 dist = Distancia entre los dos árboles.

Cuanto mayor sea el árbol enfermo (DAP<sub>1</sub>) mayor número de conodios incluirá, por lo que el peligro de que contamine al olmo sano será mayor.

Cuanto mayor sea el árbol sano (DAP<sub>2</sub>), mayor es

su capacidad de transpiración, con lo que el peligro de que esté succionando la savia bruta contaminada del olmo enfermo es mayor.

Si asociamos ambas ideas se comprende fácilmente que el riesgo de contagio es proporcional al tamaño de los dos árboles.

Por otro lado, es evidente que a menor distancia mayor es la probabilidad de que se produzca un contagio a través de las raíces.

### 3.6.3. Transporte de madera y leñas de olmo

Este factor es el responsable de la propagación de la epidemia a grandes distancias. SARRE (1978), utilizando un modelo matemático de difusión de información, fue el primero en demostrar inequívocamente que esta forma de difusión había sido la causa del fracaso de todos los programas de control llevados a cabo en Inglaterra. Hoy sabemos que el transporte de leña también ha comprometido el éxito de numerosos programas independientes llevados a cabo en los distintos Estados federales de Estados Unidos, como también en Canadá.

El resto de Europa, incluyendo España, no ha corrido mejor suerte. La detección casi simultánea en Huelva, Madrid y Guipúzcoa viene a constatar este hecho obvio y que ha sumido en un gran pesimismo a numerosos especialistas. La olmeda experimental «El Plantío», como se ha indicado anteriormente, recibió el inóculo de la cepa agresiva en 1986 a través de esta vía.

La implementación de una estrategia legislativa adecuada puede ser una vía que impida males mayores y no sólo en el tema de la grafiosis agresiva, sino también con otras enfermedades que atacan al género *Quercus* y que tienen idéntico *modus operandi*.

Por último, antes de terminar este apartado concluiremos que el carácter de isla de nuestras olmedas (IPINZA y GIL, 1986) evita que se produzca la infección natural entre ellas, siempre y cuando la distancia de seguridad sea mayor o igual a 20 km. Este valor es una condición necesaria para proteger enclaves valiosos, ya que una distancia menor aumenta significativamente la probabilidad de conseguir fracasos.

La gran productividad de estos insectos, aproxima-



damente 10.000 por m<sup>2</sup>, junto al movimiento de trozas infestadas a lo largo y ancho de la Península, juega decisivamente en contra de la supervivencia de nuestras olmedas.

### 3.7. Modelo general de control de las grafiosis. Tácticas

Como se ha venido sugiriendo, para el control de la grafiosis existen varias tácticas disponibles: la más conocida por los forestales es el saneamiento y las claras; luego, el control químico de los insectos vectores y del hongo patógeno, utilización de feromonas, mejora genética de los olmos, sustitución por otras especies y control biológico. Esta última de desarrollo muy incipiente.

Antes de continuar es necesario dejar establecido que el saneamiento (apeo, podas y desmoche) no es otra cosa que aplicar criterios de protección silviculturales. Aunque para mantener una olmeda sana y vigorosa no basta con las claras, las podas, los desmoches, la reposición y la mejora genética, sino que, además, hay que acudir en ayuda de compuestos químicos.

Una estrategia que engloba el saneamiento, claras y el uso de insecticidas sobre el paciente olmo u olmeda se ilustra en la Fig. 12. En ella se han omitido el resto de las tácticas de control. Creemos que esta figura representa las condiciones mínimas y suficientes para el control de la grafiosis en forma inmediata. Aunque las otras tácticas se analizan por separado, debe entenderse que éstas deben aplicarse en forma conjunta.

La figura indica lo siguiente:

— Una vez que se seleccionen los olmos u olmedas a proteger de la grafiosis a través de algún mecanismo de valoración, se debe aislar dicha zona de otros olmos en un radio de seguridad de unos 20 km.

— Se debe evaluar el porvenir de cada olmo. Este depende del porcentaje de daño en la copa y del valor estético y sentimental de cada ejemplar. Esta evaluación se debe realizar cada semana en primavera y cada quince días en verano. Si existen dudas con respecto a un olmo, es recomendable realizar ventanas (cortes de trozos de corteza) en el fuste principal; si el hongo se encuentra en esta zona, el árbol está ya casi irremediadamente perdido.

— Una vez establecido el futuro de cada olmo que haya enfermado, existen tres alternativas: podarlo o desmocharlo, apearlo o matarlo en pie.

— La poda y/o desmoche se debe realizar con herramientas desinfectadas; el corte debe ser limpio y considerar una porción de seguridad de 1/2 metro. La época más apropiada para realizar las podas es en otoño o invierno, debido a que la atracción que ejercen estas heridas sobre los escolítidos es mínima porque están en fases larvarias o en la fase de pupa. Pero, normalmente, es necesario actuar en otras fechas, por lo que se recurre a pintar la herida con una pintura fungitóxico o repelente.

— La poda y/o desmoche debe ir necesariamente acompañada de aplicación de productos químicos, fundamentalmente de insecticidas, para controlar a los escolítidos vectores de la enfermedad. Esta opinión no es compartida por RUETZE y HEYBROEK (1987), los cuales no consideran la aplicación de insecticidas.

— Cuando se pretende acelerar la muerte de un olmo enfermo y sin porvenir, se debe anillar el árbol o aplicar un arboricida, como el ácido cacodílico. Esta última técnica se conoce como la del árbol-cebo; su utilidad es grande para atrapar la generación de escolítidos invernantes.

— En el apeo, generalmente de un árbol sin porvenir, se debe dejar el tocón a ras del suelo. La aplicación de gas-oil sobre el tocón se aconseja para evitar que los escolítidos lo utilicen como lugar de reproducción y, además, en el caso de que no se quieran brotes de cepa.

— Los residuos se pueden dividir en dos categorías: ramas y fustes. Los primeros y especialmente las ramitas (0,5 a 5 cm) deben quemarse *in situ* (ver LAMINA II, Foto 3), ya que éstas pueden servir de lugar de puesta a los escolítidos si aún no han sido colonizadas. Con los segundos, si no se decide por la primera alternativa, cabe actuar de las siguientes formas:

A) Si las trozas presentan indicios del hongo y de escolítidos, hay que recurrir a productos muy tóxicos y extremadamente peligrosos, como el bromuro de metilo (33 g/estéreo), en un lugar herméticamente cerrado. Este producto debe ser manejado por especialistas ya que es mortal para el hom-

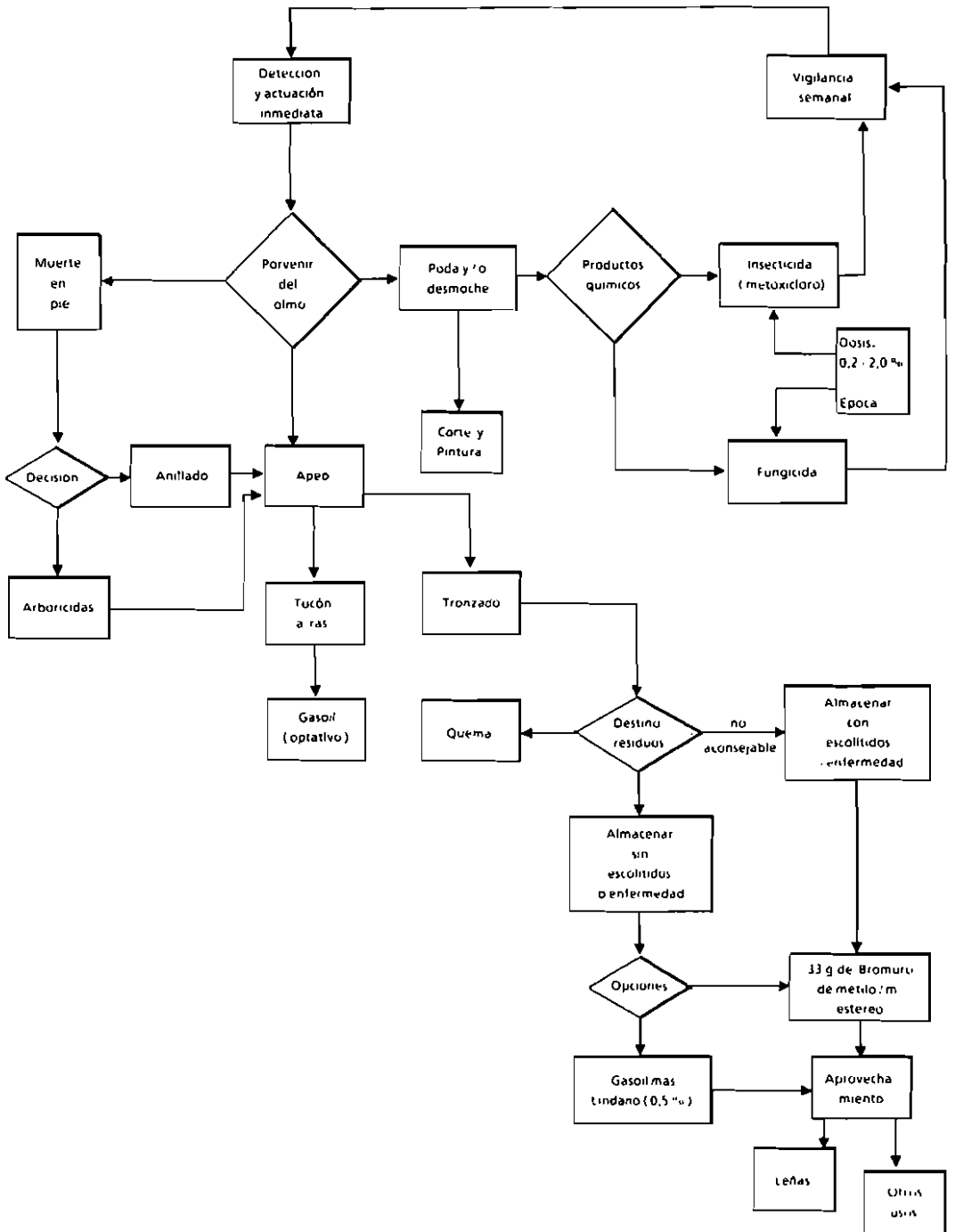


Fig. 12. Modelo básico de control de la grafiosis basado, fundamentalmente, en una detección del daño incipiente, saneamiento inmediato, control químico (insecticidas, fungicidas y fumigantes) y quemas del material infestado e infectado.

bre. Insistimos: su uso sólo es válido en situaciones muy particulares. La mayoría de las veces se recomienda quemar dichas trozas.

B) En el caso que las trozas no muestren signos del hongo y/o del escoltído, es conveniente proteger dicho material para evitar que el insecto lo utilice como fuente de alimento y de reproducción. Se consigue una protección de hasta ocho meses con Lindano al 0,5% + gas-oil, con una cubierta de plástico (ver LAMINA II, Fotos 4, 5 y 6).

En ambos casos, pero especialmente en el primero, se debe cuidar el transporte, el cual debe realizarse sólo si es absolutamente necesario. La situación epidémica que vive España se ha originado fundamentalmente por este medio.

— La aplicación de insecticidas es una actividad necesaria pero no suficiente para controlar la grafiosis. Esta se debe entender como un complemento del saneamiento, es decir, de las podas, desmoches y apeos.

El insecticida que mejores resultados ha producido hasta la fecha es el metoxicloro, el cual es tóxico y repelente para los escoltídos. Para obtener resultados satisfactorios, es decir, para evitar que el escoltído realice mordeduras en las horcaduras de las ramas, se debe considerar: una dosis adecuada, distribución homogénea de la gota, mojar bien la parte superior de la copa y la época de aplicación. Es necesario utilizar nebulizadores o termonebulizadores para cubrir totalmente la superficie que es susceptible de ser mordida por el vector. Se considera que la aspersión está concluida en un árbol cuando la copa está saturada por el producto y comienza a gotear al suelo.

Para una protección superior al 95% se requieren depósitos mayores de 0,5  $\mu\text{g}$  por  $\text{mm}^2$  de corteza. Estos niveles se logran de dos formas: aumentando la dosis o la frecuencia de la aplicación. Una aplicación de metoxicloro al 1% provoca un depósito inicial de 1,35  $\mu\text{g}/\text{mm}^2$  de corteza, lo que confiere al olmo dos meses y medio de protección (PAJARES y ARÉVALO, 1987). Con esta concentración de metoxicloro se necesitarían realizar sólo dos aplicaciones al año. Otra dosis recomendada es aplicar diez tratamientos a una concentración del 0,2%. En todo caso, la combinación que se elija entre ambos extremos dependerá de las lluvias en el período de crecimiento. En condiciones normales la concen-

tración anual total no debe sobrepasar el 2% de metoxicloro.

La época de aplicación es el segundo factor más importante y es así que existen varias formas para su determinación. La forma más exacta es contabilizar las unidades de calor o días grados, metodología que se explicará más adelante. Por ahora diremos, en términos empíricos, que la primera aplicación debe realizarse antes del inicio de la floración y de que se formen las sámaras, esto permite que las ramillas puedan ser mojadas totalmente. La segunda aplicación puede hacerse después de la foliación (cuando se complete el crecimiento de las ramillas) o cuando lo indique una trampa vigía. Las posteriores pulverizaciones deben hacerse de acuerdo a una tabla de vida de los escoltídos o también a través de lo que indiquen las trampas vigías y el poder residual del metoxicloro en las ramillas.

No queremos concluir este punto sin indicar que el metoxicloro, como cualquier otro producto químico, produce efectos negativos dentro del ecosistema. Por ello su utilización debe restringirse a olmedas de excepcional valor donde la muerte de los árboles suponga una pérdida sociocultural importante.

En relación al tratamiento con fungicidas, especialmente el Tiabendazol, nuestras observaciones no son concluyentes. Aunque sólo se debe aplicar en la época de mayor movimiento de la savia, que coincide con la primavera y en olmos sanos, otros autores como RUETZE y HEYBROEK (1987) recomiendan su uso sólo en árboles con daño incipiente.

En agosto de 1986 se presentaron en el Congreso de Pesticidas celebrado en Canadá los resultados de varios ensayos promisorios del fenpropimorfo, fungicida utilizado para controlar el mildiu de los cereales. Este fungicida inyectado puede detener la enfermedad y curar al árbol enfermo sin causarle daño. El producto opera deteniendo el desarrollo de la fase micelial y de levadura.

Para la captura masiva de *Scolytus multistriatus* mediante feromonas, los autores RABAGLIA y LANIER (1983) establecen las siguientes recomendaciones:

— Las trampas deben localizarse a 50 o más metros de los olmos.

— Hay que liberar 4-metil 3-heptanol en mayores cantidades que  $\alpha$ -multistriatin.

— Hay que minimizar las fuentes potenciales de feromonas naturales.

Además, deben considerarse las sugerencias de BOUTZ, BREWER y BISHOP (1985), ya que la introducción de trampas puede servir para acelerar la propagación de la enfermedad.

El control más seguro y menos contaminante es, sin duda, la mejora genética. Esta ha sido analizada para el olmo por IPINZA y GIL (1988).

Los olmos presentan una resistencia poligénica ante la grafiosis agresiva. Su uso permite disminuir la utilización de elementos químicos contaminantes, tales como fungicidas, insecticidas, etcétera.

En la Fig. 13 se indica el programa de control de la grafiosis mediante mejora genética de los olmos. En ella destaca una población de mejora compuesta por tres grupos de olmos: ibéricos, olmo siberiano (*U. pumila* L.) y olmos procedentes de otros centros de mejora. El objetivo del programa no sólo involucra la obtención de individuos resistentes sino, además, que los rasgos estéticos predominantes sean iguales al de los olmos ibéricos actuales. A medida que se generen estos productos genéticos deben ser plantados en los lugares donde antes se encontraban los olmos atacados por la grafiosis agresiva. Durante la primera fase se obtendrán especies que presentarán una proporción significativa de germoplasma de olmo siberiano, debido a que la acumulación de genes de resistencia en olmos ibéricos es más lenta, por encontrarse estos genes muy dispersos dentro de las poblaciones españolas.

Otra táctica disponible es la sustitución por otras especies, a pesar del dogma que han mantenido los científicos holandeses de que «los olmos sólo pueden ser reemplazados por los olmos». A este respecto han surgido numerosos candidatos, tales como *Acer campestre*, *Quercus petraea*, *Quercus robur*, *Quercus cerris*, *Fagus sylvatica*, *Castanea sativa*, *Tilia cordata*, *Tilia platyphyllos*, *Fraxinus excelsior*, *Populus canescens*, *Acer pseudoplatanus*, *Carpinus betulus*, *Salix alba*, *Alnus cordata*, *Acer platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Salix fragilis*, *Alnus incana*, *Prunus avium*, *Prunus padus* y *Sorbus torminalis* (MITCHELL, 1974), y más recientemente se ha sugerido (WIGSTON, 1980) que la especie de América austral *Nothofagus obliqua* pueda reemplazar a los olmos muertos por la grafiosis, en especial al *U. procera*, debido a su aspecto

y a su forma similar. Quizá el dogma holandés deba ser sólo aplicable en países donde el olmo tiene una gran significación sociocultural, como es el caso de España.

Por último, cabe destacar que los injertos radiculares y/o raíces-puente deben prevenirse, manteniendo densidades bajas. Una distancia entre árboles de al menos 15 m es quizá la más recomendable, aunque el valor preciso depende de la especie y la edad. Este tipo de uniones se realizan superficialmente. Su máxima frecuencia se produce en los primeros 50 cm, por lo que la apertura de zanjas es una forma de evitar que a través de estas uniones se transmita la enfermedad. Otra forma de destruirlas es mediante el uso de un subsolador. Esta técnica ha sido utilizada en «El Plantío». También algunos autores recomiendan el uso de productos químicos.

### 3.8. Hacia un programa de control integrado de la enfermedad de la grafiosis

Para abordar el control integrado de la cepa agresiva de la grafiosis es conveniente considerar varias premisas. Muchas de ellas ya han sido analizadas por IPINZA y GIL (1987) y otras han sido indicadas en los capítulos anteriores. En resumen, éstas son las siguientes:

— La enfermedad se difunde a través de una tasa de interés compuesto.

— En la interacción cepa agresiva-escolítidos-olmos domina la retroalimentación positiva, lo que siempre dará origen a una estructura inestable.

— La epidemia de la grafiosis se ajusta al modelo de catástrofe en cúspide.

— Debido a que las especies europeas no presentan una resistencia adecuada a las cepas agresivas, el nivel óptimo de la población de vectores debe tender a cero. Es decir, el umbral de daño comienza con un único escolítido portador de la cepa agresiva que realice una alimentación de avituallamiento en un olmo sano.

— En la medida que los programas de mejora genética generen olmos resistentes se podrá aumentar el umbral de la población de escolítidos.

Los componentes de nuestra estrategia de control integrado son:

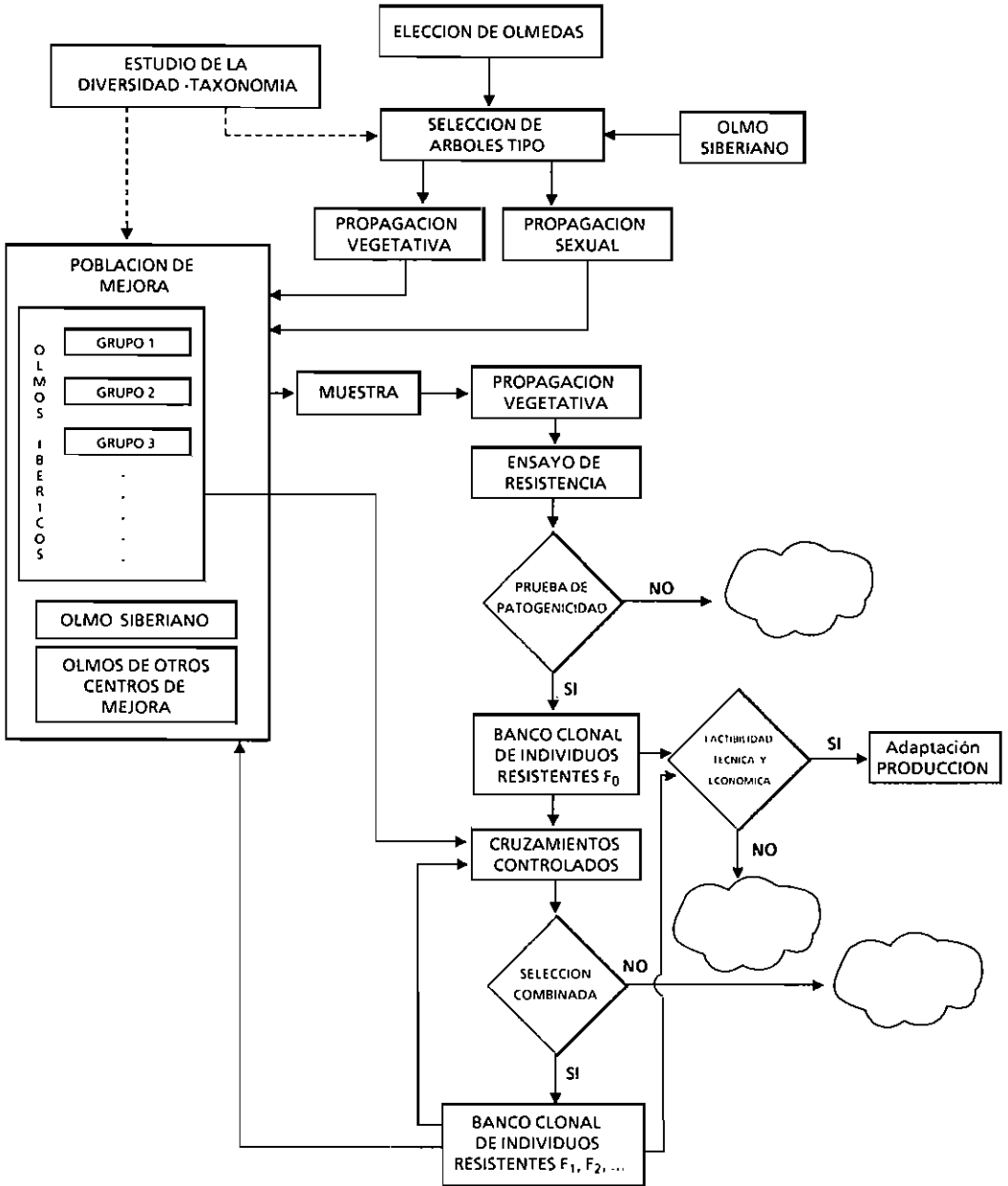


Fig. 13. Programa de mejora genética de los olmos ibéricos frente a la cepa agresiva de la enfermedad de la grafiosis. (Fuente: IPINZA y GIL, 1988.)

- Un modelo matemático.
- Vigilancia permanente.
- Disponer de información biológica y climática.
- Relación del ciclo de vida del vector con los días grado.
- Aplicar las tácticas de control en tiempo real.

### 3.8.1. Modelo conceptual o matemático

En la literatura se han utilizado varios modelos que ilustran las relaciones dinámicas de muchos sistemas patológicos (LEVINS y WILSON, 1980). El comportamiento epidémico de la grafiosis puede ser modelado a través de la teoría de catástrofe de THOM (1970), tal como lo han hecho JEFFERS (1978) e IPINZA y GIL (1987). Otras expresiones que consideran comportamientos catastróficos pero con una formulación matemática explícita han sido formuladas por BERRYMAN y STENSETH (1984). La posición tradicional de utilizar el  $r$  de VANDERPLANK es bastante simplista, aunque de una inestimable utilidad para bosquejar la trayectoria de una epidemia, tal como se ha demostrado en los apartados anteriores. También resulta de gran utilidad el modelo propuesto por ANDERSON y MAY (1979), luego modificado por BREMERMANN (1983). Finalmente, y a pesar de las limitaciones de la teoría de catástrofes, se ha utilizado como modelo conceptual para representar las distintas opciones y consecuencias de las estrategias de control de esta enfermedad.

### 3.8.2. Vigilancia sistemática del avance epidémico de la grafiosis a través del tiempo

La detección de la enfermedad con un daño incipiente permitiría optimizar las labores de saneamiento. Para tener la oportunidad de detectar daños en dicha fase se deben realizar visitas periódicas (7 a 15 días) o realizar vuelos periódicos para obtener imágenes en infrarrojo, a las cuales se les aplica un tratamiento digital para acentuar las variaciones del color de los olmos recién enfermos (LILLESAND *et al.*, 1981). En ambos casos la detección sería más eficiente, por lo que también lo sería la toma de decisiones. Todo esto bajo el supuesto de un sistema sincronizado en tiempo real. Pero

en ningún caso esta detección incipiente sería mejor que un sistema que pudiese detectar cuándo comienzan a emerger estos vectores.

El avance epidémico se registraría a través de la tasa de infección aparente de VANDERPLANK (1963), tal como se ha realizado en los apartados anteriores.

### 3.8.3. Análisis de la información biológica y climática durante el período de riesgo de contagio

Quizá éste sea el punto que encierra un mayor nivel de dificultad, a pesar de que nos brinda la oportunidad de lograr un óptimo control del insecto vector de la cepa agresiva. Este enfoque puede llegar a ser clave, ya que nos puede indicar el momento de emergencia de los escolítidos, evento, por lo general, no observable. Su estimación nos permite proteger el arbolado sano, lo que es, en el caso de la grafiosis, más efectivo que las medidas curativas.

Pero antes, y como punto de partida, es necesario decir que estos vectores necesitan una acumulación de temperaturas o unidades de calor para cumplir su ciclo biológico. Dicho concepto es hoy en día operacionalmente conocido como días grado o integral térmica y se define como sigue: si disponemos de una curva temperatura-tiempo (Fig. 14) y si  $\beta$  es la temperatura umbral para el desarrollo, entonces

$$\text{días grados } (t) = \int_{t_0}^t F(\sigma) d\sigma,$$

donde

$$F(\sigma) = \begin{cases} T(\sigma) - \beta & \text{si } T(\sigma) > \beta \\ 0 & \text{si } T(\sigma) \leq \beta \end{cases}$$

Este modelo representa la piedra fundamental de un programa de manejo de enfermedades y plagas en tiempo real (PRUESS, 1983). De acuerdo a esto se esbozará una estrategia de control de los escolítidos. Existen varias técnicas para estimar los días grado (ARNOLD, 1959; STARK y ALINIAZEE, 1982, y ALLEN, 1976): el método del rectángulo, del triángulo y el de la función seno. Este último se recomienda como estándar para los programas de control integrado (PRUESS, 1983).

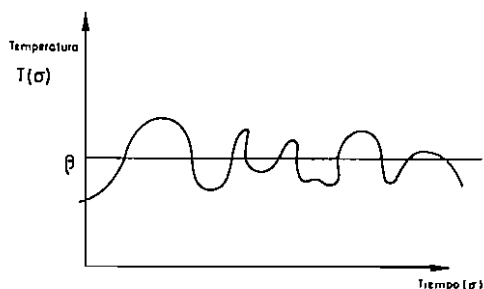


Fig. 14. Relación temperatura-tiempo para definir operativamente el concepto de los días grado.

Si un entomólogo o patólogo visualiza un problema potencial en una olmeda durante una determinada estación de crecimiento, él, de alguna manera, podrá evaluar la población de vectores de la cepa agresiva y la respuesta de los olmos en términos de la progresión del daño. Entonces, en base a dichas observaciones, el especialista podrá realizar una predicción más o menos exacta.

En la grafiosis, como en otras enfermedades, cuando se pretende estimar los niveles poblacionales de los escolítidos vectores, existe ya una población base de olmos enfermos y muertos. La demora inherente de la adquisición de dicha información y su interpretación biológica provoca que una cantidad adicional de olmos enfermen. Es decir, el momento en que se toma la decisión de controlar (¿?) es por definición inapropiado; el retraso ocasiona que la cepa agresiva continúe su expansión exponencial. Por otro lado, y debido a que la emergencia de los vectores y que la fisiología del patógeno y del hospedante están fuertemente relacionados con un microclima de naturaleza estocástica, la experiencia tiene una utilidad parcial.

Los datos colectados de esta forma no se pueden utilizar para justificar acciones de control en tiempo real ya que están desfasados.

Una mejor aproximación consiste en:

- Aumentar la velocidad de recolección e interpretación de los datos.
- Reducir los datos necesarios mediante estudios estadísticos de dependencia y correlación.

Esta aproximación es posible a través de la automatización de ciertas operaciones con la ayuda del

ordenador. La actual tecnología computacional permite que algunas fases se puedan automatizar. Por ejemplo, las muestras de campo pueden recolectarse manualmente y luego se analizan con instrumentos, como un modelo de regresión implementado en un programa de ordenador que estima la edad de la larva. La salida de esos instrumentos se transmiten a través de impulsos eléctricos, se almacenan en cintas o discos magnéticos y luego se insertan automáticamente en una unidad de almacenamiento para el análisis y reducción de datos. Su mayor ventaja reside en que es posible evaluar los errores asociados a los datos, independientes de las actividades humanas.

Implementar un sistema en tiempo real, como lo indica la Fig. 15, causa algunos cambios sobre la forma de conducir una detección biológica, la cual, ciertamente, será siempre importante para confirmar la veracidad de los modelos de predicción, redefinirlos y optimizarlos.

La información biológica se debe colocar en una escala de temperaturas y/o una escala de eventos fenológicos del hospedante. La emergencia de los escolítidos, siendo el primer evento importante, no es observable, luego es necesario elaborar un método para estimar y/o calibrar las observaciones para de esta manera usar con eficiencia el modelo de los días grado.

El siguiente ejemplo ilustra el problema de la relación densidad de larvas de escolítidos y tiempo (Fig. 16). Las observaciones de densidad tomadas en el  $t_1$  son idénticas a las colectadas en  $t_2$ , pero tendrán consecuencias muy diferentes en términos de la predicción del daño, ya que, como se ha indicado anteriormente, son más importantes los escolítidos que emergen en la primavera. Luego, en  $t_2$ , aunque la densidad poblacional sea igual a  $t_1$ , los insectos que emerjan producirán un daño significativamente menor, dadas las marcadas condiciones de estacionalidad de la Península Ibérica.

La información climática en tiempo real se obtiene a partir de estaciones meteorológicas y plataformas de satélites. Lo importante es que dichas fuentes envíen los datos en un formato compatible con los ordenadores de proceso. Existe bastante experiencia en el uso de información meteorológica para el tráfico aéreo y predicción del tiempo. Los datos útiles para un programa de control de plagas y/o en-

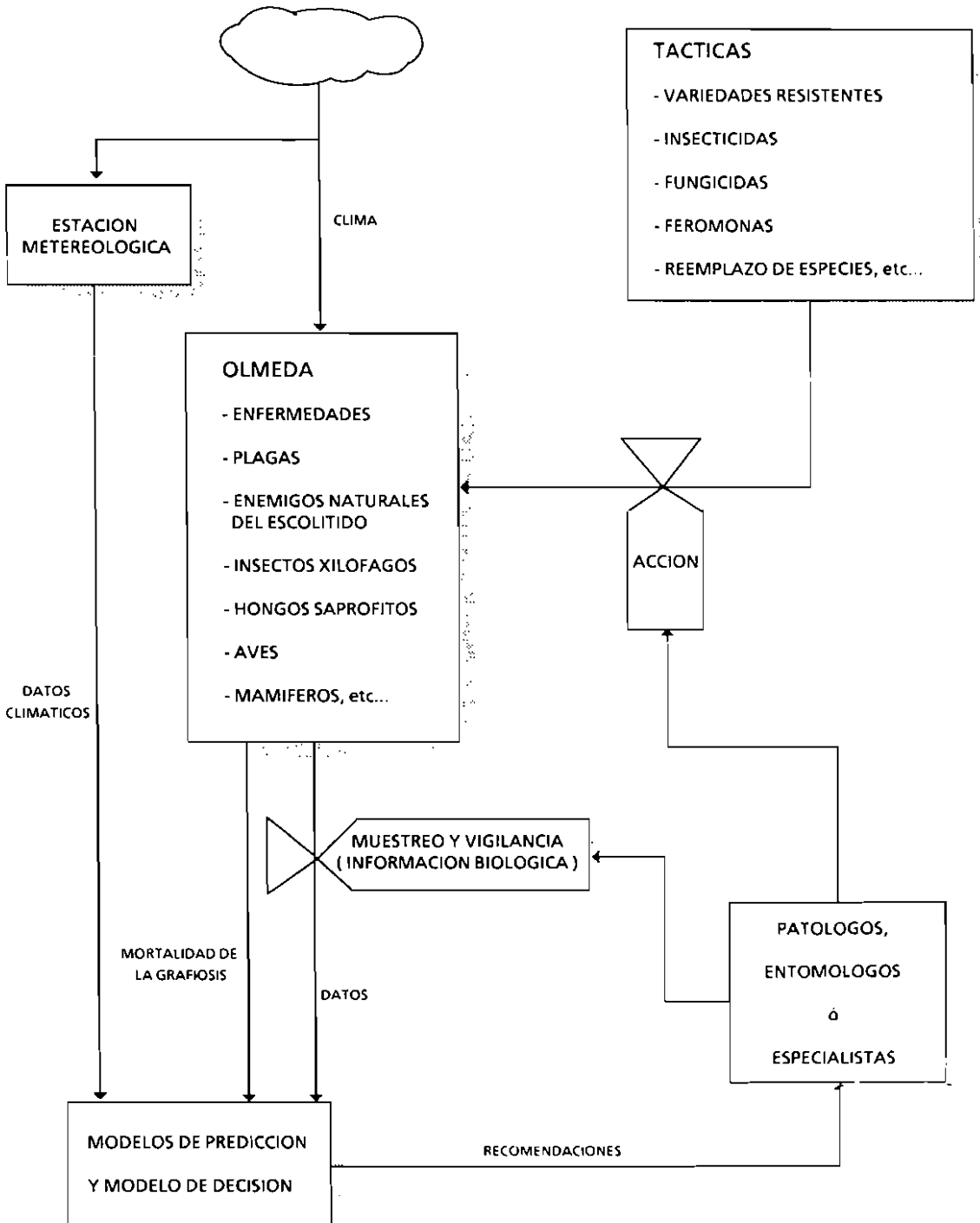


Fig. 15. Modelo de actuación frente a la cepa agresiva en tiempo real.



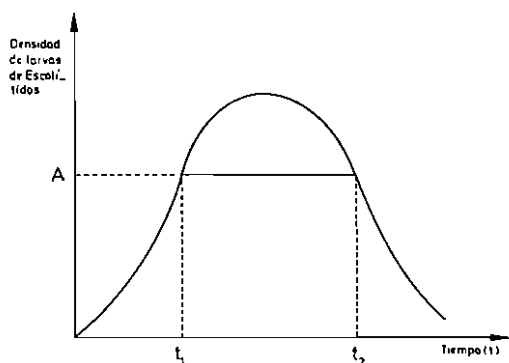


Fig. 16. Relación densidad de larvas de escolítidos en función del tiempo, donde  $N(t_1) = N(t_2)$ .

fermedades es la temperatura (TMAX y TMIN), velocidad y dirección del viento, precipitación, punto de rocío y humedad relativa. Para utilizar esta información se requiere un sistema *on-line* (tiempo real) que permita filtrar y acumular las variables climáticas. Los sistemas actuales tienen demoras de 24 horas o menos.

En España, los olmos u olmedas a proteger se encuentran normalmente asociados a pueblos que disponen al menos de una estación meteorológica básica (temperaturas máx. y mín., y precipitación), información suficiente para establecer un óptimo plan de control. ¿Cuántos días grado son necesarios para que se produzca la emergencia de los escolítidos? Para este cálculo sólo se necesitan las temperaturas mínimas y máximas diarias y de esta manera construir un simple modelo para vigilar el ciclo de vida del vector. Es importante insistir que a pesar de la simplicidad de la información requerida es imprescindible disponer de ella en tiempo real.

### 3.8.4. Estimación de la longitud del ciclo biológico de los escolítidos a través del modelo días grado

Dado que nos encontramos con pocos lugares donde existe a la vez información climática y la asociada a los eventos del ciclo de vida de estos vectores, introduciremos un ejemplo basado en los antecedentes biológicos obtenidos en Puerta de Hierro (Madrid) por PAJARES (1987). Estos datos nos permiten reformular la situación de los vectores, ahora bajo el prisma de los días grado, pu-

diendo con esto estimar la cantidad de calor necesarios para que estos insectos completen su ciclo de vida y la cantidad total de días grado durante el año 1986, con el fin de valorar el número potencial de generaciones de escolítidos durante ese año.

La estimación presenta varias dificultades, para lo cual hemos elaborado varios supuestos:

- En primer lugar, no existen antecedentes de las temperaturas mínimas y máximas límites de la actividad de los escolítidos del olmo en la Península Ibérica. Por esto se han tomado los estados de actividades en función de la temperatura propuestos por CHARARAS (1962). Para el inicio se han escogido dos niveles de temperatura, 5 y 9° C, y como límite superior otros dos, 30 y 32° C, que hacemos corresponder al estado de hiperactividad de los escolítidos.

- La segunda restricción se relaciona con la forma de producirse las generaciones. Estas son eventos continuos, producto del largo período de ovoposición de estas especies. En nuestro análisis — en términos operativos — se supone como un evento discreto.

- La tercera restricción es asumir que la temperatura dentro de la corteza de un olmo es igual a la temperatura del aire. Dado que dentro de este material leñoso existe una demora en alcanzar las temperaturas extremas, la distribución de la temperatura en ambos medios presenta un desfase. Este retardo puede calcularse si conocemos la tasa de difusión del calor entre la corteza y el ambiente, y una de las dos temperaturas.

- El último supuesto utilizado es con respecto a la forma de cálculo de los días grado, para lo cual se ha considerado la fórmula estandarizada del seno (ALLEN, 1976; HIGLEY *et al.*, 1986). En la Tabla V se indica la subrutina usada para este cálculo.

El ciclo biológico de la primera generación de los tres escolítidos considerados se indica en la Tabla VI.

La cantidad de días grados necesario para completar la primera generación se indica en la Tabla VII; en ella se han considerado las cuatro hipótesis de temperatura. Las temperaturas extremas de actividades de los tres escolítidos son: 5-30° C, 5-32° C, 9-30° C y 9-32° C.

TABLA V

SUBROUTINA DIAGRADOSENO. CALCULA LA UNIDAD DE CALOR, CONOCIDA COMO DIAS GRADO, DE ACUERDO A LA FUNCION DEL SENO

```

800'          ***** SUBROUTINA PARA CALCULAR UN DIA GRADO *****
810'
820'          ***** IMPLEMENTADA EN TURBO BASIC - PC - MSDOS *****
830'
900 SUB DIAGRADOSENO (TMAX,TMIN,UMBRALINF,UMBRALSUP,CALIDO,
FRIO)
910 LOCAL J, A, X1, X2, T1, T2, TMEDIA
920'
930' LA FORMULAS UTILIZADAS SE INDICAN EN:
940' ALLEN, J. (1976). A MODIFIED SINE WAVE METHOD FOR
CALCULATING DEGREE. 950' DAY. ENVIRON. ENTOMOLOGY. 5: 388-
396.
960'
970' HIGLEY, L., PEDIGO, L. Y OSTLIE, K. (1986). DEGDAY. A
PROGRAM FOR CALCULATING DEGREE-DAYS, AND ASSUMPTIONS BEHIND
THE DEGREE-DAY.
990' APPROACH. ENVIRON. ENTOMOL. 15: 999 - 1016.
1000'
1030'          ***** METODO DE LA FUNCION SENO MODIFICADA ****
1040'
1045 DIM HSENO (2), HFRIO (2)
1050 FOR J=1 TO 2
1060'
1070 A = (TMAX - TMIN)/2.
1075 TMEDIA = (TMAX + TMIN)/2.
1080 IF TMIN >= UMBRALSUP AND TMAX > UMBRALSUP GOTO 1150
1090 IF TMIN < UMBRALINF AND TMAX <= UMBRALINF GOTO 1190
1100 IF TMIN >= UMBRALINF AND TMAX <= UMBRALSUP GOTO 1230
1110 IF TMIN < UMBRALINF AND TMAX <= UMBRALSUP GOTO 1270
1120 IF TMIN >= UMBRALINF AND TMAX > UMBRALSUP GOTO 1320
1130 IF TMIN < UMBRALINF AND TMAX > UMBRALSUP GOTO 1370
1135'
1140'          ***** CASO 1 *****
1145'
1150 HSENO(J) = (UMBRALSUP - UMBRALINF)/2.
1160 HFRIO(J) = 0.0
1170 GOTO 1475
1175'
1180'          ***** CASO 2 *****
1185'
1190 HSENO(J) = 0.0
1200 HFRIO(J) = (UMBRALINF - TMEDIA)/2.
1210 GOTO 1475
1215'
1220'          ***** CASO 3 *****

```

TABLA V (continuación)

SUBROUTINA DIAGRADOSENO. CALCULA LA UNIDAD DE CALOR, CONOCIDA COMO DIAS GRADO, DE ACUERDO A LA FUNCION DEL SENO

```

1225'
1230      HSENO(J) = (TMEDIA - UMBRALINF)/2.
1240      HFRIO(J) = 0.0
1250      GOTO 1475
1255'
1260'      ***** CASO 4 *****
1265'
1270      X1 = (UMBRALINF - TMEDIA)/A
1280      T1 = ATN(X1/SQR(1 - X1^2))
1290      T2 = 1.570796
1300      GOTO 1410
1305'
1310'      ***** CASO 5 *****
1315'
1320      X2 = (UMBRALSUP - TMEDIA)/A
1330      T1 = -1.570796
1340      T2 = ATN(X2/SQR(1 - X2^2))
1350      GOTO 1410
1355'
1360'      ***** CASO 6 *****
1365'
1370      X1 = (UMBRALINF - TMEDIA)/A
1380      X2 = (UMBRALSUP - TMEDIA)/A
1390      T1 = ATN(X1/SQR(1 - X1^2))
1400      T2 = ATN(X2/SQR(1 - X2^2))
1405'
1410'      ***** FORMULAS DE CALCULOS PARA LOS CASO 4-6 *****
1415'
1420      HSENO(J) = .1591549 * ((TMEDIA - UMBRALINF)*(T2-T1) +
A * (COS(T1) - COS(T2)) + (UMBRALSUP - UMBRALINF) * (1.5708-
T2))
1430      FRIO(J) = .1591549 * ((UMBRALINF-TMEDIA) * (T1 +
1.5708) + A * COS(T1))
1435'
1450'      ***** ACUMULACION TOTAL PARA MEDIOS DIAS *****
1455'
1460      CALIDO = HSENO(J) + CALIDO
1470      FRIO = HFRIO(J) + FRIO
1477      NEXT J
1480      END SUB

```

TABLA VI  
PRIMERA GENERACION DE *S. SCOLYTUS*, *S. MULTISTRIATUS*, *S. KIRSCHII*  
EN PUERTA DE HIERRO (MADRID)

<i>Scolytus</i>	Fecha de inicio (días julianos)	Fecha de término (días julianos)	Núm. de generac.
<i>scolytus</i>	1 de mayo (121)	18 de julio (199)	4
<i>multistriatus</i>	15 de mayo (135)	15 de agosto (227)	3
<i>kirschii</i>	15 de mayo (135)	15 de agosto (227)	3

Fuente: Extraído principalmente de PAJARES (1987).

TABLA VII  
ESTIMACION DE LOS DIAS GRADO PARA COMPLETAR LA PRIMERA GENERACION (1986)  
DE ESCOLITIDOS EN PUERTA DE HIERRO (MADRID), EN FUNCION DE DISTINTOS RANGOS  
DE TEMPERATURA

Especies	Días grados (función seno)			
	5-30° C	5-32° C	9-30° C	9-32° C
<i>S. scolytus</i> .....	1.111	1.121	814	824
<i>S. multistriatus</i> .....	1.448	1.468	1.083	1.103
<i>S. kirschii</i> .....	1.448	1.468	1.083	1.103
Días grados acumulados en 1986 .....	2.973	2.998	1.987	2.012

TABLA VIII  
NUMERO DE GENERACIONES POTENCIALES PARA CADA ESPECIE DE ESCOLITIDOS EN FUNCION DE LAS  
HIPOTESIS DE TEMPERATURA

Especies	Número de generaciones				Pajares (1987)
	5-30° C	5-32° C	9-30° C	9-32° C	
<i>S. scolytus</i> .....	2,7	2,7	2,4	2,4	4,0
<i>S. multistriatus</i> .....	2,0	2,0	1,8	1,8	3,0
<i>S. kirschii</i> .....	2,0	2,0	1,8	1,8	3,0

De acuerdo con la Tabla VII es posible estimar el número de generaciones potenciales dividiendo la cantidad total de días grado disponibles por los utilizados en completar una generación. En la Tabla VIII se compara el número de generaciones potenciales con el determinado por PAJARES (1987).

Los resultados de PAJARES (1987) no concuerdan con el número de generaciones potenciales. En todos los casos se pierde al menos una generación.

La causa de esta discrepancia se debe a que en la estimación de una generación se sobreestima la cantidad de días grado requeridos para su finalización. Es muy difícil mediante los sistemas de muestreo convencionales estimar cuánto se demora un escoltido desde huevo a adulto emergente, a menos que se marque una larva o un conjunto de larvas. Los días grado de la Tabla V estiman en realidad la demora de la cohorte que se supone que se inicia en forma más o menos simultánea. Es-

te aspecto no es válido en los escolítidos, especialmente en *S. scolytus*, tal como lo manifiesta BEAVER (1966).

Por otro lado, si visualizamos los eventos de ovoposición y emergencia como continuos a lo largo de un período, nos daremos cuenta que describen una curva que tiende a la normal. Cada generación representa una curva y durante un año es posible encontrar varias curvas con un considerable solape. Las sucesiones de ondas generacionales son en sí eventos dependientes debido a que la ovoposición de una generación determinará la emergencia de la siguiente y así sucesivamente. Luego las distancias entre dos cimas consecutivas permite una mejor estimación del período necesario para que los escolítidos completen su ciclo biológico. Cimas

que se pueden registrar a partir de las gráficas de captura media por trampa entregada por PAJARES (1987). La estimación es sólo aproximada a causa de la escasa precisión de la información gráfica utilizada.

Para una mejor aproximación se han muestreado todas las cimas principales y luego se ha obtenido una media, expresada en términos de días grado. Los resultados se muestran en la Tabla IX.

Las estimaciones de los días grado entre cimas consecutivas, que se encuentran identificada por los días julianos, presentan un amplio rango de variación. Los niveles de días grado son siempre mayores en las hipótesis con rango de temperatura más amplio.

TABLA IX  
ESTIMACION MEDIA DE LOS DIAS GRADO UTILIZADOS PARA COMPLETAR EL DESARROLLO DE UNA GENERACION DE ESCOLITIDOS BAJOS DISTINTAS HIPOTESIS DE RANGOS DE TEMPERATURAS

<i>Scolytus scolytus</i>						
Rango de temperaturas	131-173	173-207	207-265	Días grados totales	Medias	Núm. de generaciones
5-30° C .....	590	587	935	2.973	704	4,2
5-32° C .....	591	598	949	2.998	712	4,2
9-30° C .....	425	448	700	1.987	524	3,8
9-32° C .....	426	459	714	2.012	533	3,8

<i>Scolytus multistriatus</i>						
Rango de temperaturas	144-202	202-235	235-263	Días grados totales	Medias	Núm. de generaciones
5-30° C .....	921	546	450	2.973	639	4,7
5-32° C .....	932	558	453	2.998	648	4,6
9-30° C .....	689	411	334	1.987	478	4,2
9-32° C .....	700	423	337	2.012	487	4,1

<i>Scolytus kirschii</i>						
Rango de temperaturas	152-217	217-256	Días grados totales	Medias	Núm. de generaciones	
5-30° C .....	1.062	631	2.973	847	3,5	
5-32° C .....	1.078	641	2.998	859	3,5	
9-30° C .....	801	472	1.987	637	3,1	
9-32° C .....	817	482	2.012	650	3,1	

El número de generaciones tiende a ser más parecido a la indicada por PAJARES (1987), aunque el orden cambia. En nuestro caso *S. multistriatus* presenta un mayor número que *S. scolytus*, el que a su vez es mayor que *S. kirschii*. El último nivel de *S. kirschii* concuerda con lo indicado por PAJARES (1987).

El primer intervalo, es decir, la distancia entre la primera cima de la generación invernante y la de la primera generación se muestra en la Tabla IX, e indica que *S. scolytus* requiere menos días grado para recorrer ambos máximos, seguido de *S. multistriatus* y *S. kirschii*, respectivamente, y, además, en forma directamente proporcional al tiempo cronológico. Este orden también se establece en el desarrollo de la primera generación (Tabla VII).

En el segundo intervalo, el orden es alterado.

*S. kirschii* necesita mayor tiempo y calor; en cambio, los otros dos vectores muestran requerimientos semejantes. En el tercer intervalo, *S. scolytus* requiere más tiempo y una mayor acumulación de días grado.

El análisis sería incompleto si no se incluye una tabla con los requerimientos medios diarios de días grado. Es decir, la razón entre el tiempo fisiológico (días grado) y el tiempo cronológico para alcanzar esa acumulación de calor. En la Tabla X se indica dicha razón para las distintas hipótesis de temperatura y los respectivos escoltidos.

En relación a *S. multistriatus*, uno de los vectores más estudiados en Estados Unidos, los autores BARTELS y LANIER (1974) establecen una duración del ciclo biológico de 21 días en *U. americana*. En cambio, SVIHRA y VOLNEY (1983) indican un mi-

TABLA X  
REQUERIMIENTOS MEDIOS DIARIOS EN DÍAS GRADO PARA COMPLETAR LAS GENERACIONES DE ESCOLTIDOS EN FUNCION DE LAS DISTINTAS HIPOTESIS DE TEMPERATURAS Y DEL TIEMPO CRONOLOGICO ENTRE DOS CIMAS CONSECUTIVAS

<i>Scolytus scolytus</i>				
Rango de temperaturas	Días 42	Días 34	Días 58	Días Medias: 44,7
5-30° C .....	14,0	17,3	16,1	15,7
5-32° C .....	14,0	17,5	16,4	15,9
9-30° C .....	10,1	13,2	12,1	11,7
9-32° C .....	10,1	13,5	12,3	11,9
<i>Scolytus multistriatus</i>				
Rango de temperaturas	Días 59	Días 33	Días 28	Días Medias: 40,0
5-30° C .....	15,6	16,5	16,1	16,0
5-32° C .....	15,8	16,9	16,2	16,2
9-30° C .....	11,7	12,4	11,9	12,0
9-32° C .....	11,9	12,8	12,0	12,2
<i>Scolytus kirschii</i>				
Rango de temperaturas	Días 65	Días 39	Días Medias: 52	
5-30° C .....	16,3	16,2	16,3	
5-32° C .....	16,6	16,4	16,5	
9-30° C .....	12,3	12,1	12,2	
9-32° C .....	12,6	12,4	12,5	

nimo de 24 días y un máximo de 84. Si consideramos las cimas como el período necesario para que un escolítido medio complete su ciclo de vida, tenemos un mínimo de 28 y un máximo de 59 días. PAJARES (1987) indica explícitamente una duración de 46 a 50 días.

Las estimaciones medias diarias entre las distintas cimas difieren muy poco dentro de cada rango de temperatura. Los vectores más homogéneos son *S. kirschii* y *S. multistriatus*; en cambio, *S. scolytus* debería ser motivo de estudios más profundos a la luz de su comportamiento. De igual forma que en la Tabla IX, ésta indica que *S. scolytus* necesita una relación tiempo fisiológico/tiempo cronológico menor que los otros dos escolítidos. Su tamaño le permite una utilización más eficiente de la energía calórica, lo que explicaría la temprana aparición en primavera.

A fines del verano y comienzo del otoño muchos escolítidos emergerán y se reproducirán, pero no alcanzarán a completar su desarrollo, conformando la peligrosa generación invernante.

Al parecer, es más apropiado intentar, en primer lugar, evitar que prospere la generación invernante (Fig. 16). Esto se logra realizando un intenso y minucioso saneamiento, colocando estratégicamente árboles-cebo y trampas de feromonas; se debe evitar el efecto escape, que puede tener nefastas consecuencias a comienzo de la primavera. Durante el invierno se deben eliminar los árboles-cebo y restos de materiales leñosos que puedan cumplir con idéntico fin. Estas labores de saneamiento son indispensables, ya que cuando comiencen a subir las temperaturas también comenzarán a aumentar los conidios de origen miceliar; luego los escolítidos y la grafiosis tendrán enormes ventajas para doblegar a un hospedante que se encuentra en su máximo nivel de susceptibilidad. Este momento está asociado a la elongación de los brotes y que corresponde al crecimiento de la primavera.

El ataque a la generación invernante es, a nuestro juicio, de importancia vital para intentar optimizar el control de estos insectos. Estos vectores empiezan a emerger cuando completan sus requerimientos de calor, ya que de esta forma pueden finalizar su metamorfosis. En la primavera, cuando las temperaturas ascienden, se tendrán pocas opciones de control. La aplicación de insecticidas

constituye en esta fase la mejor táctica, aunque su aplicación está supeditada al comportamiento atmosférico.

El período de tiempo necesario para que emerjan los individuos de esta generación invernante se debe de traducir a tiempo fisiológico, es decir, a días grado. Entonces será posible determinar cuándo comienza la emergencia de los escolítidos cuya prole no consigue completar su ciclo vital antes de la llegada del invierno. En términos cronológicos es posible establecer un umbral en septiembre (?), pero esto es sólo una referencia. El verdadero momento de la emergencia que formará esta crítica generación está dado por la acumulación de los días grado en ese momento (X) y la necesaria para completar una generación (Y). Si la diferencia es negativa ( $-\infty = Y - X$ ) tendremos la generación invernante. Para que este sencillo razonamiento sea eficaz, es decir, se traduzca en una acción de control inmediata, es necesario que la adquisición de datos climáticos se realice en tiempo real.

En la Fig. 17 se señala que la generación invernante es la fase crítica para un apropiado control de la cepa agresiva de la grafiosis. La destrucción o minimización de su población permite augurar tasas de infección muy por debajo de las actuales existentes, debido a que las tácticas de control se aplican sobre una población conocida. Este hecho también permite empezar la acumulación de días grado a partir de una fecha fija, con lo que la eficiencia del programa aumenta considerablemente.

### 3.8.5. Diseño de una estrategia de control en tiempo real

En la Fig. 18 se ilustra un diagrama en bloques de los componentes básicos de una red de control de la grafiosis en tiempo real o soporte de decisiones. En ésta la información de temperaturas máximas (TMAX) y mínimas (TMIN) se emite diariamente desde centros remotos donde existe una olmeda o desde un servicio centralizado. La comunicación es recibida vía teléfono a través de un modem, el cual lo ingresa a una unidad de almacenamiento. La información es filtrada y preanalizada para detectar posibles errores de lógica, como, por ejemplo  $TMAX < TMIN$ . Luego se calculan los días grado diariamente con la subrutina Diagradoseno (Tabla V). En una segunda etapa se comparan los días

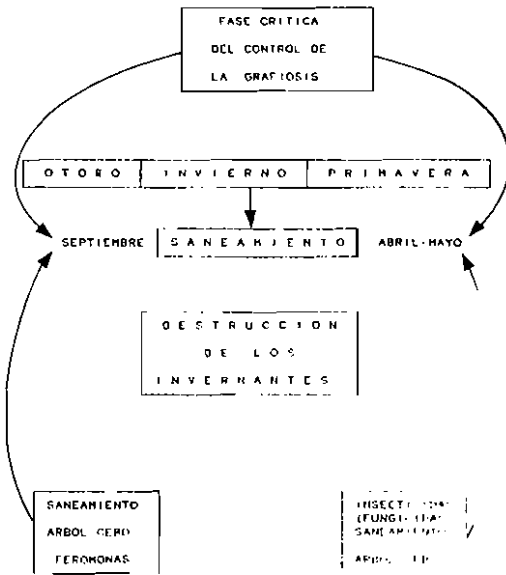


Fig. 17. Tácticas para destruir y/o minimizar la generación invernante de los vectores de la cepa agresiva.

grado acumulados con los necesarios para que emerjan las distintas especies de escolítidos portadores de la cepa agresiva. Un análisis de la tendencia de los valores en los últimos cinco días permite proyectarlos a corto plazo (<5 días). Este procedimiento se repite de forma continua hasta que se considere apropiado; en este caso se tomarán las respectivas decisiones de control, las cuales tienen que ser comunicadas al usuario. La estimación del punto donde comienzan a emerger los escolítidos permite: aplicar con antelación el saneamiento, situar las feromonas y los árboles-cebo en el momento oportuno, y optimizar el uso de insecticidas y fungicidas para así minimizar su impacto ambiental.

Para hacer operativo este simple proceso es necesario construir un mecanismo computacional de predicción. Este debe unir la estimación diaria de los días grado a partir de una fecha clave con la probabilidad de que emerjan escolítidos, dado que completan su ciclo biológico con  $n$ -días grado (Tablas V y VII). Esto se logra si suponemos que el período necesario para alcanzar la integral térmica

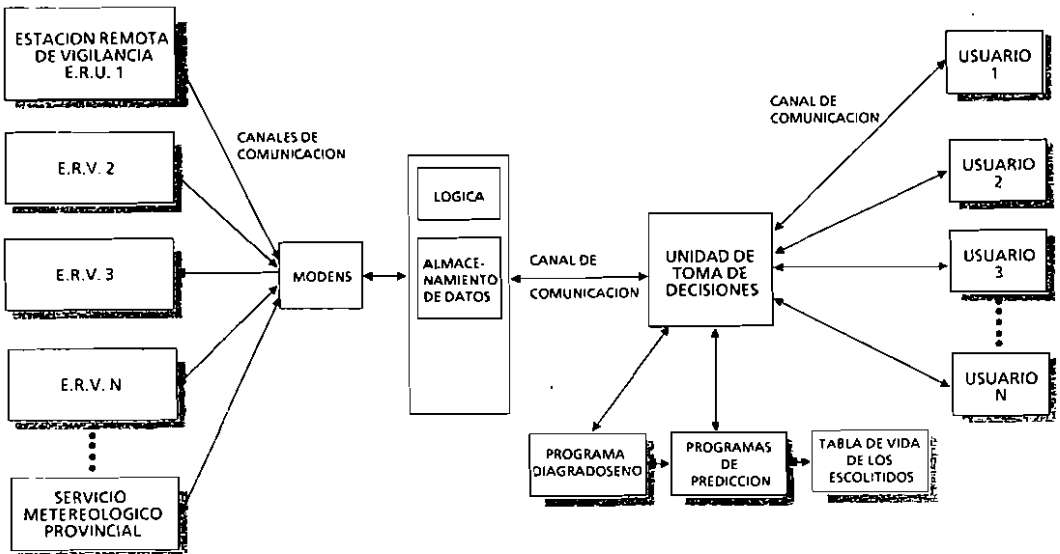


Fig. 18. Diagramas de bloques que ilustra los componentes básicos de una red de toma de decisiones para controlar la cepa agresiva en tiempo real.



es una función de demora. Es decir, que para una hembra que entra a ovopositar en  $t=0$ , existe la probabilidad  $p(\sigma)$  de que emejan escolítidos en  $t=\sigma$ .

La familia de funciones de densidad de Erlang presenta un interés especial, ya que cada miembro de esta familia se puede caracterizar por un parámetro  $\alpha$  y un entero  $k$ .

$$p(\sigma) = \frac{(\alpha k)^k (\sigma)^{k-1} e^{-k\alpha\sigma}}{(k-1)!}$$

La media de la distribución,  $E(\sigma) = 1/\alpha$

La varianza de  $\sigma$  es:

$$\text{VAR}(\sigma) = 1/K\alpha^2 = \text{MEDIA}^2/k$$

Cada  $k$  define a un miembro individual de la familia de curvas de Erlang. Esta función se puede usar para describir un amplio rango de procesos, desde exponenciales ( $k=1$ ) a los de distribución normal con media  $1/\alpha$  y varianza cero ( $k=\infty$ ).

A través de los días grado y sus respectivos umbrales se estiman los parámetros de la función para una generación o cohorte poblacional. El gasto individual de días grado se determina a partir de la media y varianza poblacional. El parámetro  $\alpha$  es uno dividido por la media y  $k$  está calculado a partir de la ecuación de la varianza, aproximando al entero más cercano.

Por último, el sistema requiere una sincronización y ajuste con la olmeda, lo que se logra mediante trampas vigía con feromonas.

#### 4. CONCLUSIONES Y EVALUACION DE UN PROGRAMA DE CONTROL INTEGRADO PARA LA CEPAGRESIVA DE LA GRAFIOSIS

Debido a que los escolítidos son portadores de las cepas agresivas, éstos están en conflicto con el olmo. La pérdida de estabilidad entre ambos sistemas es el costo que la sociedad tiene que pagar. La amenaza continua y permanente a que se ven sometidas nuestras olmedas nos obliga a una permanente evaluación de las estrategias de control.

La mayoría de los programas que se han llevado a cabo en Estados Unidos, Canadá y Europa han si-

do de naturaleza pasiva o de «paloma»; en cambio, la estrategia evolutiva hacia la cual tiende la cepa agresiva conlleva una conducta de «halcón». La situación de equilibrio, aunque artificial (lo es también en cierta medida la difusión de la enfermedad), se alcanza con un cambio de actitud del hombre, con una postura de confrontación real hacia la enfermedad. *Este cambio puede traducirse en la implementación de estrategias legales sobre el movimiento de leñas.*

Las siguientes estrategias son las utilizadas para el control de la cepa agresiva de la grafiosis:

*Exclusión:* Restringir el movimiento de material leñoso infectado o infestado para excluir un área determinada de la cepa agresiva es teóricamente factible, aunque es necesario realizar algunas reflexiones, de las cuales quizá la más importante es que las ondas primarias de infección de la enfermedad se producen a raíz del transporte de leñas y a través del vector, tal y como se ha indicado en capítulos anteriores. Esta onda primaria, aunque sepamos la causa, no es perceptible sobre los árboles hasta que aparecen los síntomas; es decir, se hace evidente la presencia de una onda visible. Entonces imponer una cuarentena estricta es factible siempre y cuando ésta se llevara a cabo antes de la llegada de la ola de infección.

La cuarentena no puede detener la ola de síntomas porque ésta no es, en absoluto, una ola real, sino solamente una serie de acontecimientos que tienen lugar independientemente los unos de los otros al cabo de un tiempo más o menos fijo después del paso de la ola real.

Llamamos a las olas de esta clase ondas secundarias, mientras que a las olas iniciales las llamamos ondas primarias. La diferencia más obvia es que una barrera puede parar una onda primaria pero no una secundaria. El fracaso generalizado para controlar la grafiosis por parte de los países de la Comunidad Económica Europea por aplicar este concepto y evitar la expansión regional de la enfermedad es una clara muestra del grado de dificultad técnica de esta estrategia.

*Eradicación:* Estos programas han sido enfocados hacia la detección y destrucción de los olmos infectados o muertos por la grafiosis. En Europa y Norteamérica han fallado en prevenir la difusión de la cepa agresiva de *C. ulmi* en su fase saprofiti-

ca. Esto, traducido a un lenguaje simple, equivale a transporte de leñas.

*Reducción de la tasa de infección:* El objetivo de esta estrategia es ganar el tiempo necesario para que una vez transcurrida la onda epidémica podamos reponer los olmos atacados. Los costos de saneamiento y de reemplazo se capitalizan en varias décadas, ya que es el tiempo que tarda un olmo en alcanzar la madurez.

El saneamiento y la aspersión con insecticidas constituyen las tácticas de mayor éxito en estos programas. Aunque también el tratamiento químico al suelo para prevenir los injertos radiculares y la aplicación de fungicidas sistémicos reduce en algunas ocasiones las pérdidas.

*Preservación de olmos valiosos:* Las siguientes tácticas son aplicables a olmos u olmedas valiosas:

- Vigilancia intensiva.
- Saneamiento inmediato (podas y/o compartimentalización).
- Aspersiones con insecticidas.
- Tratamientos al suelo para prevenir la transmisión de la enfermedad vía raíces-puente.
- Tratamientos preventivos y terapéuticos a través de fungicidas sistémicos.
- Utilización de fertilizantes foliares de reconstitución.

La utilización de estas técnicas como un paquete puede mantener durante décadas la vida de un olmo, aunque el costo anual puede superar varias decenas de miles de pesetas. Este monto comúnmente rebasa las posibilidades de un propietario privado, por lo que dicha labor debe ser llevada a cabo por municipios y autonomías.

*Hospedantes resistentes:* La explotación de la resistencia de los olmos es una de las tácticas complementarias que mayor esperanza ha suscitado, y aunque la inmunidad parece imposible de alcanzar, se han logrado en algunos Centros de Mejora Genética niveles aceptables de resistencia a la cepa agresiva. Pero los olmos obtenidos difieren mucho en apariencia estética a las especies de *U. minor* y *U. glabra*, tan comunes y localizadas desde tiempos remotos en la geografía española.

*Control integrado de la cepa agresiva de C. ulmi. Aplicación del concepto tiempo real:* Como se ha discutido en apartados anteriores, el control integrado involucra la integración de dos o más técnicas de acuerdo con una postura de respeto hacia la naturaleza y, por ende, hacia la sociedad:

1. Investigar sobre la efectividad de las técnicas de control integrado.
2. Implementar cursos de adiestramiento y capacitación en control integrado.
3. Legislar sobre el movimiento de madera y leña de olmo.
4. Saneamiento y claras: remover o destruir olmos o partes de ellos afectados por la grafiosis.
5. Vigilar el nivel de la población de vectores a través de trampas vigías de feromonas.
6. Captura masiva de escolítidos mediante trampas de feromonas.
7. Captura masiva de escolítidos a través de árboles-cebo o árboles-trampa (arboricida utilizado es el ácido cacodílico).
8. Inyección de fungicidas sistémicos en aquellos árboles de gran valor y que se encuentren sanos o ligeramente enfermos (<10% de la copa).
9. Prevención de la alimentación de los escolítidos sobre ramillas mediante la aspersión de los olmos sanos con insecticidas (metoxicloro).
10. Destrucción de leñas mediante quemas o aplicación a éstas de gas-oil + lindano para su posterior aprovechamiento.
11. Destrucción química o mecánica de raíces-puente.
12. Disponer de olmos resistentes a la grafiosis agresiva.
13. Control biológico.
14. Aplicar fertilizantes.

El enfoque de tiempo real optimiza los resultados del control de la enfermedad y minimiza el impacto ambiental de los productos químicos (insecticidas, fungicidas, herbicidas y feromonas) en los olmos u olmedas, debido a que son muchas las comunidades de mamíferos, aves, insectos, ácaros,

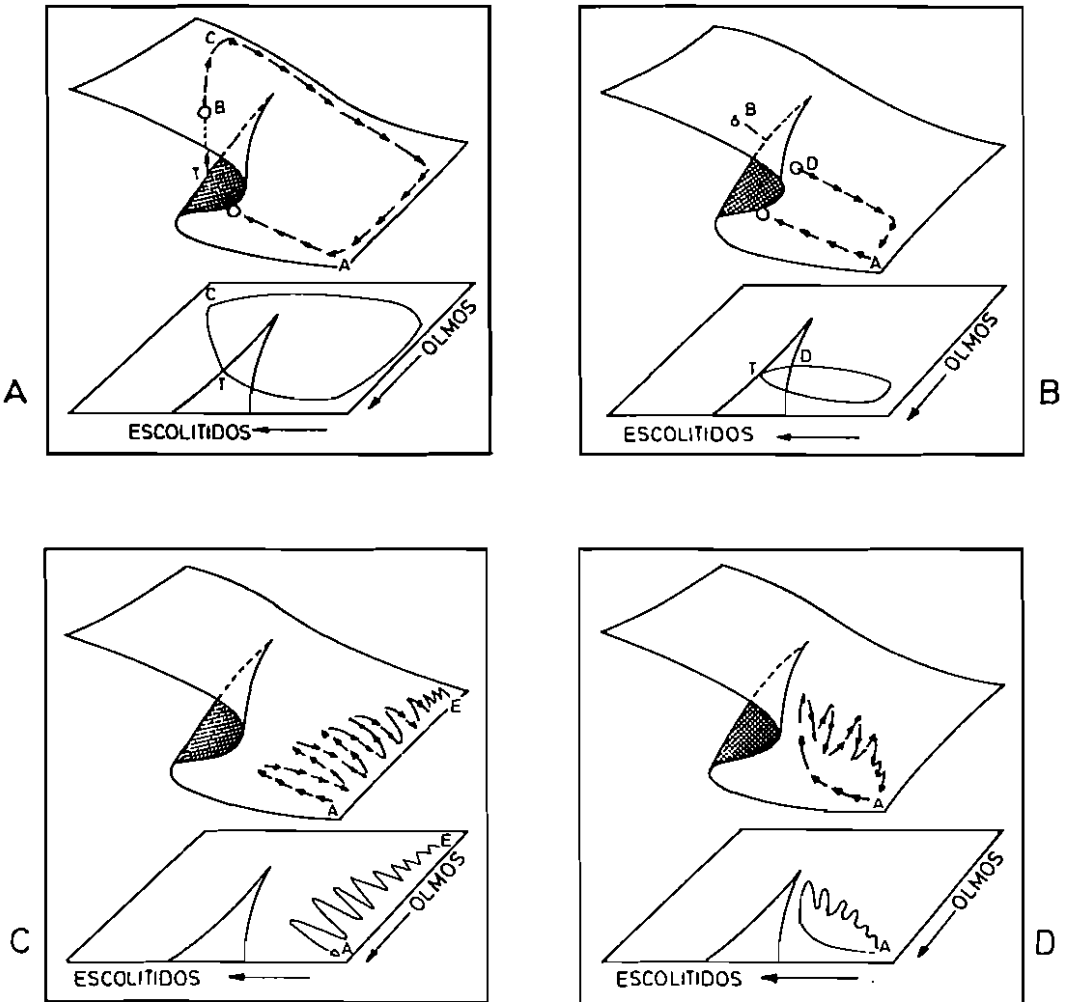


Fig. 19. La teoría de catástrofe como base para la evaluación de algunas técnicas de control de la cepa agresiva.

hongos, bacterias, etcétera, que viven directa o indirectamente de él. Esto implica que necesariamente se debe impulsar la lucha biológica atendiendo a las consideraciones señaladas por KEYSERLINGK (1982). Por otro lado, se debe estimular la acumulación en el olmo de genes de resistencia, siguiendo para tal efecto las pautas indicadas por PINZA y GIL (1988).

Se debe tender hacia la búsqueda de productos químicos más selectivos y que no dañen la biocenosis que sustenta y protege al olmo. La aplicación de productos químicos, incluyendo las feromonas, de-

be hacerse estrictamente de acuerdo con el ciclo biológico del vector y del hongo fitopatógeno y la forma más simple de modelar dichos ciclos es a través de los días grado.

La toma de decisión sobre la elección de las distintas tácticas disponibles constituye otro elemento de análisis en un programa de control integrado de la grafiosis agresiva. Este tema, por su amplitud y complejidad, será motivo de un estudio independiente; por ahora sólo esbozaremos algunas posibles rutas de esas decisiones mediante la ayuda de la Fig. 19.

La ausencia de medidas de control en una olmeda o la aplicación incorrecta de las distintas tácticas disponibles conduce a una pérdida de dominio de la tasa de propagación aparente. Esta sobrepasará los umbrales recomendables, es decir, será mayor a 1,233. Esto se ilustra en la trayectoria indicada en la Fig. 19A, que muestra el típico desarrollo de la catástrofe en cúspide, tan común en las olmedas españolas. Este tipo de comportamiento ha sido analizado en forma intensiva por JEFFERS (1978) e IPINZA y GIL (1987) y corresponde a un crecimiento explosivo de los vectores de la cepa agresiva (desde A hacia B), la destrucción total de los olmos adultos (hacia C) y posterior disminución de los insectos por falta de olmos donde vivir. La recuperación de la población de olmos (adultos) puede tardar siglos (A).

En ocasiones es posible salvar a una olmeda que se encuentre con la población de escolítidos sobre el pliegue de singularidad (punto B de la Fig. 19B). La reducción instantánea de dicha población se logra con la eliminación de los lugares de reproducción a través del saneamiento, aplicación de productos químicos y establecimiento de un cinturón de seguridad alrededor de la olmeda (u olmo) a proteger, etcétera. La trayectoria B a D puede realizarse en un período corto de tiempo. Para llegar al punto A se recurre al control integrado y con

especial énfasis a la reposición de los ejemplares muertos.

La Fig. 19C proyecta la futura desaparición de la olmeda «El Plantío». Este fenómeno se produce debido a que siempre se están realizando cortas para eliminar los olmos que sucumben ante una fluctuante población de vectores de la cepa agresiva. Luego, al no producirse ingresos de estos árboles, ya sea de forma natural o artificial, y a pesar de tener un cierto dominio sobre la tasa de infección aparente, la olmeda pasará desde el punto A al E, es decir, tenderá a desaparecer.

Por último, la trayectoria de la Fig. 19D nos muestra ascensos y descensos de la población de escolítidos; ésta inicialmente tiende hacia el pliegue catastrófico, pero al aplicar oportunas medidas de control integrado el peligro desaparece. El descenso de olmos por causa de la enfermedad se repone con hospedantes más resistentes, esto permitirá lograr una situación de equilibrio del sistema patológico *Ulmus-Ceratocystis-Scolytus* en A. En términos estrictos, esta estabilidad no es tal, debido a que el olmo dispone de una criba genética que selecciona los genotipos de *C. ulmi* más virulentos (BRASIER, 1986). Esto nos obliga a disponer de un programa de mejora genética de los olmos ibéricos basado en la filosofía de la coexistencia, de naturaleza dinámica, y que se retroalimente en forma continua.

### SUMMARY

The present work pretends to give a review of the biological antecedents of the *Scolytus* bark beetles. They are primary vectors of the aggressive strain of the Dutch elm disease fungus *Ceratocystis ulmi* (Buism) C. Moreau.

Implementation requirement needs to establish an *integrated control* which are also discussed. These requirements include legal and biological considerations, data acquisition strategies and the necessity of to minimize the use of chemical products.

A strategy for control in *real time* is also given.

Finally, the tactics recommendations for integrated control of the aggressive strain of the Dutch elm disease, is exposed.

### BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, J., 1976: «A modified sine wave method for calculating degree days». *Environ. Entomol.*, 5: 388-396.
- AMOR y MAYOR, F., 1859-1861: «Maderas carcomidas». En: *Memorias sobre los productos de la agricultura española reunidos en la exposición general de 1857*, pp. 476-477.
- ANDERSON, R., y MAY, R., 1979: «Population biology of infectious disease: Part I». *Nature*, vol. 280 (2): 361-367.

- ARCHIBALD, J., y STUBBS, A., 1980: «The effects of Dutch elm disease (*Ceratocystis ulmi*) on wildlife». *Quarterly Journal of Forestry*, 74 (1): 30-37.
- ARNOLD, C., 1959: «The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system». *J. Amm. Soc. Hortic. Sci.*, 74: 430-455.
- BACHILLER, P.; CADAHÍA, D.; CEBALLOS, G.; CEBALLOS, P.; COBOS, J.; CUEVAS, P.; DAFUCE, C.; DÁVILA, J.; GONZÁLEZ, J.; HERNÁNDEZ, R.; LEDESMA, L.; MALLEN, J.; MOLINA, J.; MONTOYA, R.; NEIRA, M.; OBAMA, E.; RIESGO, A.; ROBREDO, F.; ROMANYK, N.; RUPÉREZ, A.; SÁNCHEZ, A.; SORIA, S.; TOIMIL, F., y TORRENT, J., 1981: *Plagas de insectos en las masas forestales españolas*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 252 p.
- BARGER, J., 1977: *Improved sanitation practice for control of Dutch elm disease*. For. Ser. Res. Paper NE-386, NEFES, upper Darby.
- BARTLES, J., y LANIER, G., 1974: «Emergence and mating in *Scolytus multistriatus* (Coleoptera: Scolytidae)». *Ann. Ent. Soc. America*, 67: 365-370.
- BEAVER, R., 1966: «The development and expression of population tables for bark beetle *Scolytus scolytus* (F.)». *J. Anim. Ecol.*, 35: 27-41.
- BERRYMAN, A., y STENSETH, N., 1984: «Behavioral catastrophies in biological systems». *Behavioral Science*, Vol. 29: 127-137.
- BOUTZ, G.; BREWER, J., y BISHOP, J., 1985: «Capture patterns of *Scolytus multistriatus* (Marsh.) (Col., Scolytidae) attracted to a pheromone-baited trap». *Z. Ang. Ent.*, 99: 366-370.
- BRASIER, C., 1986: «The population biology of Dutch elm disease: Its principal features and some implications for other host-pathogen systems». *Advances in Plant Pathology*, Vol. 5: 53-118.
- BRAUN, H.; VANSELOW, W., y KHALISY, M., 1978: «Die mögliche Verbreitung des Ulmensterbens durch Wurzelverwachsungen bei *U. carpiniifolia* Gled.». *Europ. J. of Forest. Path.*, 8 (3): 146-154.
- BREMERMAN, H., 1983: «Theory of Catastrophic disease of cultivated plant». *J. Theor. Biol.*, 100: 255-274.
- BROWN, G.; LUTGARDO, A., y GAGE, S., 1980: «Data Base Management System in IPM Programs». *Environmental Entomology*, Vol. 9, No. 5, 475-482.
- CADAHÍA, D., 1983: «Nuevos problemas fitosanitarios». *Bol. Serv. Plagas*, 9: 275-285.
- CADAHÍA, D., y ROBREDO, F., 1985: «Combate de plagas y enfermedades forestales». *Bol. Serv. Plagas*, 11: 261-273.
- CALONGE, D., 1975: *Hongos de nuestros campos y bosques*. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. 388 p.
- CANNON, N.; BARGER, J., y WORLEY, D., 1977: *Dutch elm disease control: Intensive sanitation and survey economics*. For. Ser. Res. Paper NE-387, NEFES, Upper Darby.
- CHARARAS, C., 1962: *Etude biologique des Scolytides des Conifères*. Lechevaliers, Paris. 556 p.
- COBOS, A., 1986: *Fauna ibérica de coleópteros Buprestidae*. CSIC. 368 p.
- CROFT, B.; HOWES, J., y WELCH, S., 1976: «A computer based. Extension Pest Management Delivery System». *Environmental Entomology*, Vol. 5, No. 1, 20-34.
- EUALE, L.; GARDINER, L.; HUNTLEY, G.; KONDO, E., y JAGO, L., 1977: *An integrated Dutch elm disease control program for Sault Ste. Marie*. Report, Great Lakes Forest Research Centre, Canada No. O-X-268, 31 p.
- EUALE, L.; GARDINER, L.; HUNTLEY, G.; JAGO, L., y KONDO, E., 1978: *An integrated Dutch elm disease control program for Sault Ste. Marie: Part II*. Report, Great Lakes Forest Research Centre, Canada No. O-X-283, 29 p.
- EUALE, L.; GARDINER, L.; HUNTLEY, G.; KONDO, E., y JAGO, L., 1980: *An integrated Dutch elm disease control program for Sault Ste. Marie: Part III. A demonstration of tree pest management in an urban environment: a cooperative study pursued by the city of Sault Ste. Marie, Ontario and the Great Lakes Forest Research Centre, Canadian Forestry Service*. Report, Great Lakes Forest Research Centre, Canada No. O-X-307, 38 p.

- FAIRHURST, C., 1980: *Report at elm bark beetle seminar of the EEC Dutch elm disease Project*. Freiburg, Abril 1 y 2, 1980. No publ.
- FAIRHURST, C., y KING, C., 1983: «The effect of climatic factors on the dispersal of elm bark beetles. Research on Dutch elm disease in Europe». *For. Com. Bull.*, 60: 40-46.
- FELT, E., 1937: «Balloons as indicator of insects drift and of Dutch elm disease spread», pp. 3-10. En *Bartlett Tree Res. Bull.*, No. 2.
- FRANSEN, J., 1939: *Iepenziekte, iepenspintkevers en beider bestrijding. Dissertation*. Wageningen, 112 p.
- GAGE, S.; WHALON, M., y MILLER, D., 1982: «Pest event scheduling system for biological monitoring and pest management». *Environmental Entomology*, Vol. 11, No. 6, 1127-1133.
- GARCÍA-ROLLÁN, M., 1984: *Setas de los árboles. Hongos de la madera*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, 337 p.
- GIBBS, J., 1978: «Intercontinental epidemiology dutch elm disease». *Ann. Rev. Phytopathol.*, 16: 287-307.
- GIL, L., 1980: «Los escolítidos de Mora de Rubielos (*Col. Curculionidae*)». *Bol. Estación Central Ecología*, 9 (17): 73-78.
- HAYNES, D.; BRANDENBURG, R., y FISHER, P., 1973: «Environmental Monitoring Network for Pest Management Systems». *Environmental Entomology*, Vol. 2, No. 5, 889-899.
- HEYBROEK, H., 1966: *Dutch elm disease abroad*. Am. Forest, June.
- HIGLEY, L.; PEDIGO, L., y OSTLIE, K., 1986: «DEGDAY. A program for calculating degree-days, and assumptions behind the degree-day». *Environ. Entomol.*, 15: 999-1016.
- IPINZA, R., y GIL, L., 1986: «Análisis de componentes principales para el estudio de algunos parámetros ecológicos relacionados con la enfermedad de la grafiosis en España». *I Congreso Forestal Nacional, Lisboa, 2 a 6 de dezembro de 1986*, 10 p.
- IPINZA, R., y GIL, L., 1987: «Algunos aspectos teóricos de la epidemia causada por la grafiosis». *Bol. San. Veg. Plagas*, 13: 395-408.
- IPINZA, R.; GIL, L., y MARTÍNEZ DE AZAGRA, A., 1987: *Control de la enfermedad de la grafiosis a través de la mejora genética. III. Bases paleobotánicas, etnobotánicas, históricas, ecológicas y epidemiológicas para el estudio taxonómico de los olmos ibéricos*. Fundación Conde del Valle de Salazar, Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. 128 p.
- IPINZA, R., y GIL, L., 1988: «Consideraciones históricas sobre la grafiosis del olmo». *Ecología*, Núm. 1, pp. 133-143.
- IPINZA, R.; PRIETO, E., y BASCUR, F., 1988: «Estimación de la probabilidad de ataque de la enfermedad «Muerte Apical» causada por *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko y Sutton en árboles de *Pinus radiata* D. Don, en la VI Región, Chile» (por publicar).
- IPINZA, R., y GIL, L., 1988: «Mejora genética de los olmos frente a la grafiosis en España». En: *Mejora genética de especies forestales*. Ed. J. Pardos (en prensa).
- JEFFERS, J., 1978: *An Introduction to System Analysis: with ecological applications*. Edward Arnold. 187 p.
- JORDANA, R., 1870: «Arboricultura. El olmo (*Ulmus campestris*)». *Revista Forestal, Económica y Agrícola*. Tomo 3, pp. 281-283; 322-333; 408-418.
- KEYSERLINGK, H., 1982: *Control of Dutch elm disease by behavioural manipulations of its vector?* Report EEC Dutch elm disease Project. 14 p. No publ.
- LANIER, G.; SILVERSTEIN, R., y PEACOCK, J., 1976: «Attractant pheromone of the European elm bark beetle (*Scolytus multistriatus*): Isolation, identification, synthesis and utilization studies», pp. 149-175. En Anderson y H. K. Kaya (eds.): *Perspectives in Forest Entomology*. Academic Press. New York.
- LANIER, G.; SCHUBERT, D., y MANION, P., 1988: «Dutch elm disease and elm yellows in Central New York». *Plant Disease*, Vol. 72, No. 3, 189-194.
- LEVINS, R., y WILSON, M., 1980: «Ecological Theory and Pest Management». *Ann. Rev. Entomology*, 25: 287-308.

- LILLESAND, T.; MEISNER, D.; FRENCH, D., y JOHNSON, W., 1981: «Evaluation of digital photographic enhancement for dutch elm disease detection». *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 48, No. 11, 1581-1592.
- LINDEMANN, G., 1978: «Means of adaptation of bark beetles (*Coleoptera: Scolytidae*) to the habitat on slightly weakened trees». *Ecologiya*, No. 6: 61-67.
- MAKSIMOVIC, M., y MOTAL, Z., 1983: «Influence of sanitary measure on dying of elm trees caused by Dutch elm disease and the attack of bark beetles». *Z. Ang. Ent.*, 96, 327-332.
- MANION, P., 1981: *Tree disease concepts*. Prentice-Hall, Inc. 399 p.
- MARTÍNEZ, J., 1936: *Grafiosis del olmo en España*. Boletín del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Año IX, n.º 15, 29 p.
- MASLOV, A., 1970: *Insects harmful to elm. Species and their control*. Forest. Industr. Publications, Moscu.
- MENDEZA, R., y DÍAZ, G., 1987: *Las Setas. Guía fotográfica y descriptiva*. Iberduero. 932 p.
- MERCÉ, J., 1984: *Champignons parasites, végétation et bioclimat du Sud de L'Espagne*. (Erysiphacees, Ustilaginales, Uredinales). These presentee devant L'Universite Paul Sabatier de Toulouse (Science) du grade de Docteur d'Etat. Vol. I, II. 315 p.
- MERRILL, W., 1967: «Analysis of some epidemics of forest tree disease». *Phytopathology*, 57: 822.
- MEYER, H., y NORRIS, M., 1965: «Dutch elm disease today». *Proc. N. C. Branch-ESA*, 20, 102-105.
- MEYER, H., y NORRIS, D., 1973: «A mathematical relation to describe the influence of wind on the initial flight dispersal of *Scolytus multistriatus* (Coleoptera: Scolytidae)». *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 66: 505-508.
- MITCHELL, A., 1974: «Replacing the Elm». *Land, Oxford, UK.*, 1 (1): 52-55.
- MONTOYA, R., 1987: «Olmos: Un problema de supervivencia y de lenguaje». *Vida Silvestre*, 62, pp. 94-95.
- MORENO, G.; GARCÍA, J., y ZUGAZA, A., 1986: *La guía de Incafo de los hongos de la Península Ibérica*. Tomo I y II. Incafo, S. A. 1.276 p.
- MUÑOZ, C., 1985: «La grafiosis del olmo en España, nuevos aislamientos de la cepa agresiva». *Boletín de la Estación Central de Ecología*, Vol. 14 (27): 65-76.
- MUÑOZ, C., y RUPÉREZ, A., 1980: «La desaparición de los olmos». *Bol. Serv. Plagas*, 6: 105-106.
- NEELY, D., y CARTER, J., 1965: «Species of elm on the University of Illinois campus resistant to Dutch elm disease». *Plant. Dis. Repr.*, 49: 552.
- NORRIS, D., 1965: «In flight dispersal and orientation of two *Scolytus* species (Coleoptera) to their host plants for ovipositional purposes». *Proceed. 12<sup>o</sup> Internac. Congres. Entomology* (1964), 293.
- O'CALLAGHAN, D., y ATKINS, P., 1981: «Hope for the elm 2. Towards an integrated control programme for the Dutch elm disease». *Arboriculture Journal*, 5 (4): 250-256.
- PAJARES, J., 1987: *Contribución al conocimiento de los escolítidos vectores de la grafiosis en la Península Ibérica*. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid, 229 p.
- PAJARES, J., y ARÉVALO, M., 1987: «Protección de los olmos contra insectos vectores de la grafiosis». *Bol. San. Veg. Plagas*, 13: 311-325.
- PARDÉ, J.; PINON, J., 1987: «Il y a 140 ans plus a Paris et ailleurs: forêts urbaines et «maladies» des ormes». *R. F. F.*, XXXIX-3: 338-340.
- PEACOCK, J., y CUTHBERT, R., 1975: «Pheromone-baited traps for detecting the Smaller European elm bark beetle». *U. S. Depr. Agric. Coop. Econ. Ins. Rept.*, 25, 497-500.
- PRUESS, K., 1983: «Day-Degree Methods for Pest Management». *Environmental Entomology*, Vol. 12, No. 3, 613-619.

- RABAGLIA, R., y LANIER, G., 1983: «Effects of multilure components on twig-crotch feeding by European elm bark beetles». *Journal of Chemical Ecology*, Vol. 9 (2): 1513-1523.
- RICHENS, R., 1983: *Elm*. Cambridge University Press. 347 p.
- RICHENS, R., y JEFFERS, J., 1986: «Numerical taxonomy and ethnobotany of the elms of Northern Spain». *Anales Jard. Bot. Madrid*, 42 (2), pp. 325-341.
- ROLL-HANSEN, F., 1985: «Outbreaks and new records. Norway. *Ceratocystis ulmi* on *Ulmus glabra*». *FAO Plant Protection Bulletin*, 33 (2), p. 75.
- RUETZE, M., y HEYBROEK, H., 1987: *Ulmensterben. Holländische Ulmenkrankheit, Dutch Elm Disease*. Waldschutz-Merkblatt, 11. Verlag Paul Parey Hamburg und Berlin, 5 p.
- SARRE, P., 1978: «The diffusion of Dutch elm disease». *Area*, 10 (2): 313-335.
- SCHREIBER, L., y PEACOCK, J., 1974: «Dutch elm disease and its control». *U. S. Dept. Agric. Inf. Bull.*, 193, 1-15.
- SCHRÖDER, D., 1974: «Untersuchungen über die Aussichten einer biologischen Bekämpfung von Scolytiden an Ulmen als Mittel zur Einschränkung des "Ulmensterbens"». *Z. Angew. Ent.*, 150-159.
- SINCLAIR, W., 1978: «Epidemiology». En *Dutch elm disease: Perspectives after 60 years*. NY State Agric. Exp. Stn. Cornell Univ., Ithaca NY Search-Agric.
- SMITH, E., y PIMENTEL, D., 1978: *Pest Control Strategies*. Academic Press. 334 p.
- SPECKART, F., y GREEN, W., 1976: *CSMP. The continuous system modeling program*. Prentice-Hall, Inc. 323 p.
- STARK, S., y ALINIAZEE, M., 1982: «Evaluation of modifications to a basic thermal summation model for predicting the time of emergence of the adult western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens* Curan (Dipt., Tephritidae)». *Z. Angew. Entomol.*, 94: 401-407.
- SVIHRA, P., y VOLNEY, W., 1983: «Effect of English, Siberian, and Chinese elm on the attack behavior and brood survival of *Scolytus multistriatus* (Coleoptera: Scolytidae)». *Can. Ent.*, 115: 513-522.
- TELLERÍA, M., 1978: *Estudio sistemático, ecológico y corológico del orden Aphyllophorales* (Basidiomycetes) en España. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Fac. de Farmacia, Vol. 1, 407 p.
- TELLERÍA, M., 1980: *Contribución al estudio de los Aphyllophorales españoles*. J. Cramer. 464 p.
- THOM, R., 1969: «Topological models in biology». *Topology*, 8, 313-315.
- TORNOS, L., 1859: «Memoria acerca de la *Galeruca*». En: *Apuntes bibliográficos forestales*. Jordana, J., 1893. Madrid, 293 p.
- VANDERPLANK, J., 1963: *Plant Diseases: Epidemics and Control*. Academic Press, New York, 349 p.
- VANDERPLANK, J., 1968: *Disease Resistance in Plants*. Academic Press, New York. 206 p.
- VAN SICKLE y STERNER, 1976: «Sanitation: a practical protection against Dutch elm disease in Fredericton, New Brunswick». *Plant Dis Repr.*, 60: 336-338.
- WELCH, S., 1984: «Developments in computer-based IPM extension delivery system». *Ann. Rev. Entomol.*, 29: 359-381.
- WIGSTON, D., 1980: *A preliminary investigation of the ecological implications of the introduction of species of Nothofagus Blume into British forestry with particular reference to the ground flora under established canopies of N. obliqua and N. procera*. Woodlands Res. Group, Plymouth Polytechnic, Nature Conservancy Council. 139 p.
- WOLFENBARGER, D., y BUCHANNAN, W., 1939: «Notes on elm twig crotch injuries produced by *Scolytus multistriatus* (Marsham)». *J. Econ. Entomol.*, 32: 377-381.
- WOLFENBARGER, D., y JONES, T., 1943: «Intensity of attacks by *Scolytus multistriatus* at distances from dispersion and converge points». *J. Econ. Entomol.*, 36: 399-402.