

# Estudio del comportamiento frente al desgarramiento de las mallas anti-insectos utilizadas en invernaderos

El uso de mallas de protección anti-insectos en las aberturas de los invernaderos es uno de los medios físicos de protección más utilizados en la actualidad con el fin de frenar la entrada de insectos perjudiciales para los cultivos.

A. López, A. J. Álvarez, D. L. Valera y F. D. Molina • Dpto. Ingeniería Rural. Universidad de Almería.



Rotura de malla en invernadero

Los problemas de plagas y enfermedades en la horticultura intensiva en invernadero provocan tales pérdidas económicas que resulta imprescindible adoptar estos medios de protección. El tipo de malla más extendido en la actualidad tiene una densidad de hilos de 10x20 hilos/cm<sup>2</sup>. Este agrotexil no proporciona una protección suficiente frente a los principales insectos plaga, pero sí es cierto que reduce el nivel de población de estos en el interior del invernadero, disminuyendo así el número de tratamientos fitosanitarios necesarios y la exposición a los plaguicidas de los trabajadores.

Para mejorar la eficacia de este sistema de protección resulta imprescindible estudiar las características geométricas, ópticas, aerodinámicas y mecánicas de los materiales que actualmente están en el mercado; para

de esta manera poder diseñar nuevas mallas que realmente sean una barrera física al paso de insectos, sin alterar gravemente el microclima de los invernaderos y con una mayor durabilidad.

Los parámetros que definen el tamaño del hueco y la porosidad son la densidad y el grosor de los hilos. Conociendo estos valores se puede estimar la eficacia de las mallas como sistema de exclusión de insectos. Actualmente, la información reflejada en el etiquetado de estos productos se reduce básicamente a la densidad de hilos. Para mejorar esta situación el Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad de Almería colabora con los principales fabricantes y distribuidores de mallas de protección comerciales con el fin de proporcionarles los medios técnicos y los conocimientos necesarios para determinar todos los parámetros que definen estos productos.

Existen factores externos, imposibles de controlar, que van a influir en la eficacia de las mallas anti-insecto; por ejemplo, los fuertes vientos típicos de algunas zonas como la provincia de Almería, pueden provocar roturas y desgarramientos en las mallas colocadas en las aberturas de los invernaderos. Esto unido a la acción de pájaros u otros animales hace que sea necesario dotar a las mallas de suficiente resistencia mecánica para garantizar su durabilidad. Resulta frecuente encontrar en el campo multitud de invernaderos que presentan roturas en las mallas (figura 1), lo que facilita la entrada de patógenos.

En experiencias previas desarrolladas en la Universidad de Almería se ha determinado el comportamiento a tracción de las mallas, sombreado y efecto sobre el microclima (comportamiento aerodinámico). El siguiente paso es determinar la resistencia al rasgado. Gracias a estos ensayos los fabricantes dispondrán de la información necesaria para detectar deficiencias en sus productos y poder mejorarlos.

## Material y métodos

El estudio del comportamiento frente al desgarramiento se ha efectuado de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 6383-1 "Plásticos. Películas y láminas de plástico. Determina-



Disposición de la muestra en las mordazas

± 1% de la lectura para valores inferiores al 1%. La deformación de cada malla asociada a cada esfuerzo aplicado sobre la misma, presenta una resolución de 0.001 mm y una precisión de ±0.01 mm. Las mordazas usadas fueron de tracción ligeras, dotadas de unas mandíbulas planas recubiertas de caucho blando; las cuales permiten un correcto agarre de muestras de poco espesor, evitando que la muestra se deslice durante el ensayo.

La norma determina que las muestras a ensayar tengan forma rectangular, con una superficie de 50x150 mm<sup>2</sup>. En cada muestra se realizó un corte de 75 mm. Se efectuaron cinco repeticiones de cada material cortadas con su lado mayor paralelo a la dirección de urdimbre y otras cinco con su lado mayor paralelo a la dirección de trama. En estos materiales la urdimbre corresponde con la dirección más densa y la trama con la menos densa. Las muestras se tomaron a no menos de 50 mm de los bordes de la malla. Se colocaron en las mordazas, tal y como se muestra en la **figura 2**, situando el extremo del corte a la misma distancia de la mordaza superior que de la mordaza inferior. La distancia inicial entre mordazas fue de 75 mm y el ensayo se realizó hasta producirse el rasgado del extremo final de la muestra. La velocidad de ensayo fue de 200 mm/min.

De cada material se analizó la Fuerza y la Resistencia de Desgarro. La primera se define como la fuerza media requerida para propagar un desgarro a una velocidad de desgarro constante a través de una probeta con las dimensiones indicadas; y la segunda como la Fuerza de Desgarro dividida entre el espesor de la probeta.

**El tipo de malla más extendido en la actualidad es de 10x20 hilos/cm<sup>2</sup>, pero no proporciona una protección suficiente frente a los principales insectos plaga**

ción de la resistencia al rasgado. Parte 1: Método de la probeta pantalón”. En ella se especifica un método de determinación de la resistencia al desgarro de películas u hojas de plástico con un espesor inferior a 1 mm, en forma de probetas normalizadas de tipo pantalón.

Los análisis se efectuaron con una máquina universal de ensayos marca HOUNSFIELD, Mod. H-5000 M. Esta máquina permite modificar la velocidad de ensayo desde 0.5 a 500 mm/min. Para la determinación del desgarro se utilizó una célula de carga con un fondo de escala de 500 N, ofreciendo una resolución de 0.0015625 N y una precisión de ±0.5% de la lectura para valores superiores al 1% de la capacidad de la célula de carga, y de

**Tabla 1**

Características geométricas y de resistencia a la tracción ( $D_h$ , grosor de hilo;  $F_s$ , fuerza máxima por superficie transversal del hilo;  $F_h$ , fuerza máxima por hilo;  $F_L$ , fuerza máxima por unidad de longitud de malla;  $\Delta F_1$  (%), incremento de resistencia en la dirección de urdimbre respecto a la trama)

	Densidad (hilos/cm <sup>2</sup> )		$D_h$ (μm)	$F_h$ (N/hilo)		$F_s$ (N/mm <sup>2</sup> )		$F_L$ (N/cm)		$\Delta F_1$ (%)
	F	R		T	U	T	U	T	U	
<b>Malla 1</b>	10x16	10.3 x 17.0	311.00	10.11	10.65	160.13	174.63	104.10	181.00	73.87
<b>Malla 2</b>	10x16	9.9 x 14.6	259.07	10.19	10.25	192.26	195.40	100.84	149.64	48.39
<b>Malla 3</b>	10x16	9.4 x 15.5	250.6	10.13	10.16	203.91	207	95.22	157.5	65.4
<b>Malla 4</b>	10x20	8.9 x 19.6	262.44	12.34	10.53	224.41	197.84	109.83	206.32	87.85
<b>Malla 5</b>	10x20	9.1 x 19.7	264.10	9.25	8.83	170.7	179.85	84.2	173.92	106.56
<b>Malla 6</b>	10x20	9.7 x 19.7	252.02	13.00	13.00	263.62	257.64	126.07	256.15	103.18
<b>Malla 7</b>	14x27	12.0 x 27.5	218.27	6.05	6.13	166.95	158.85	72.60	168.67	132.33
<b>Malla 8</b>	14x27	12.8 x 27.9	217.67	5.85	6.37	169.47	159.09	74.85	177.64	137.33
<b>Malla 9</b>	15x30	15.2 x 30.2	110.10	4.60	4.37	481.20	457.70	69.89	132.08	88.98
<b>Malla 10</b>	18x30	18.6 x 31.3	110.4	3.70	4.60	391.8	484.2	69.20	144.00	73.87

\* F: Densidad de hilo según fabricante. R: Densidad de hilo real. T: Trama. U: Urdimbre.



Muestra desgarrada



Muestra no desgarrada

### Resultados y Discusión

Se ensayaron un total de 10 mallas de diferentes densidades de hilos (tabla 1). Todas han sido previamente caracterizadas geométrica y aerodinámicamente (Valeira et al. 2006). Los parámetros que describen la Resistencia a Tracción se determinaron de acuerdo a la Norma ISO 527-1: 1996 "Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción".

Para cada una de las mallas ensayadas se determinó la fuerza de desgarro, siendo ésta la media de los valores de fuerza comprendidos después de los primeros 20 mm de deformación y antes de los últimos 5 mm. El primer límite siempre será fijo, pero el segundo límite dependerá del comportamiento de la malla en la última fase del ensayo. También se determinó la deformación que sufre la malla y la fuerza necesaria para producir la primera rotura de desgarro.

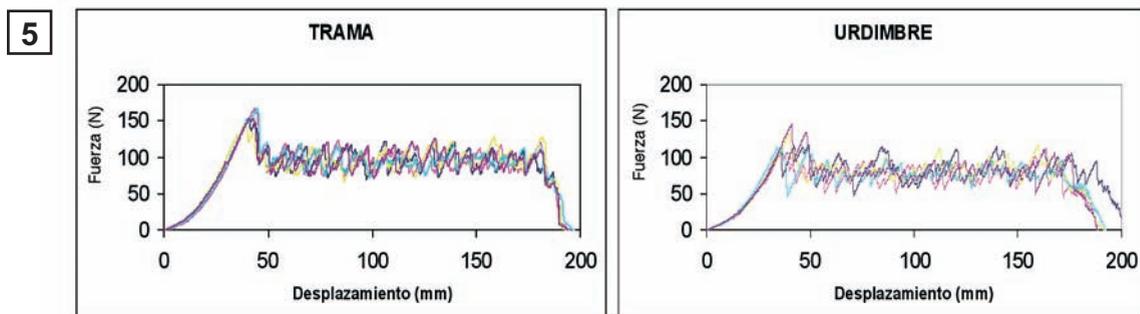
A partir de la fuerza media de desgarro ( $F_d$ ) se obtiene la resistencia al desgarro ( $R_d$ ) dividiendo ésta por el espesor de la muestra. Como durante el desgarro se produce la rotura de los hilos de una sola dirección, se considera que el espesor de la muestra equivale al grosor de los hilos ( $D_h$ ).

$$R_d = \frac{F_d}{D_h}$$

Para que se produzca una rotura correcta ante los ensayos de desgarro (figura 3) lo normal es que se rompan los hilos perpendiculares a la dirección de aplicación de la fuerza. Por ejemplo, al ensayar la muestra en la dirección de trama, deberán romper los hilos de urdimbre.

En algunas mallas se produjo la rotura de los hilos paralelos a la dirección de aplicación de la fuerza, sin producirse desgarro de la muestra. En esta situación aparece una densificación de los hilos perpendiculares a la dirección del ensayo, debido principalmente a deficiencias en el tejido de la malla. Esto evitó la rotura de los mismos, no produciéndose el desgarro en la muestra (figura 4).

Los resultados de los ensayos de resistencia al desgarro se pueden contemplar de forma gráfica representando la fuerza aplicada frente a la deformación (figura 5). Observando las gráficas se puede identificar con facilidad los ensayos en los que se produjo la rotura de los hilos perpendiculares a la dirección de ensayo y por tanto, desgarrándose la muestra en la misma dirección del ensayo. Estos ensayos concretos están caracterizados por una primera fase en la que la fuerza aplicada aumenta de forma proporcional al desplazamiento hasta alcanzar el primer máximo donde se produce la primera rotura. A partir de este momento y hasta el final del ensayo, la curva toma forma de meseta, caracterizada por



Ensayos de desgarro Malla 1. Dirección de ensayo trama (izquierda) y dirección urdimbre (derecha). (— Muestra 1, — Muestra 2, — Muestra 3, — Muestra 4 y — Muestra 5)

una serie de máximos y mínimos consecutivos, correspondiendo los máximos a puntos de rotura.

Las mallas ensayadas se pueden agrupar según la densidad de hilos. El primer conjunto está formado por tres mallas de densidad 10x16 hilos/cm<sup>2</sup> y de diámetro de hilo comprendido entre 0.311 y 0.250 mm (mallas 1, 2 y 3). La dirección de ensayo que mostró un comportamiento más uniforme fue la urdimbre. Mientras que cuando se ensayó la trama, la malla 1 produjo una rotura correcta, con la peculiaridad de registrar un primer máximo por encima de la fuerza media de desgarro. La malla 2 registró un gráfico poco uniforme, mientras que la malla 3, como se observa en el gráfico, no se desgarró correctamente (**figura 6**).

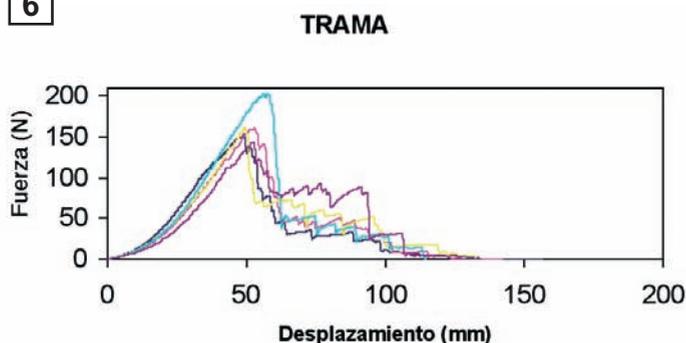
Posteriormente se ensayaron tres mallas de densidad 10x20 hilos/cm<sup>2</sup> (Mallas 4, 5 y 6). Estas mallas registraron gráficos más uniformes en los ensayos realizados en la dirección de urdimbre. Los ensayos de la trama registraron un primer máximo muy superior por encima de la fuerza media de desgarro (mallas 4 y 5) produciéndose posteriormente una rotura de desgarro correcta. Por otra parte la malla 6 tuvo el mismo comportamiento que la malla 3 (**figura 6**).

En los últimos años han ido apareciendo en el mercado mallas anti-insecto de densidad 14x27 hilos/cm<sup>2</sup>. Para conseguir aumentar la densidad de hilos se utilizan hilos de menor diámetro (≈ 0.200 mm), y por tanto de menor resistencia. De esta configuración se han ensayado dos mallas, correspondientes a las muestras 7 y 8. En ambas se produjo rotura de desgarro correcta tanto en la trama como la urdimbre, pero la fuerza necesaria fue menor.

El tejido de la malla 9 resultó ser muy poco uniforme y de baja calidad. Al someterla al ensayo de desgarro, el tejido se deformó fácilmente, por lo que no se produjo el desgarro. Al ensayar la trama, el tejido prácticamente desaparecía en la zona de desgarro (**figura 7**). En urdimbre, debido al tejido tan débil de la malla, nunca se llegó a producir desgarro de las muestras, sino que los hilos de trama se iban soltando de la malla (**figura 8**).

En la malla 10 se mejoró el tejido, siendo éste de mayor uniformidad y calidad. Todas las muestras ensaya-

6



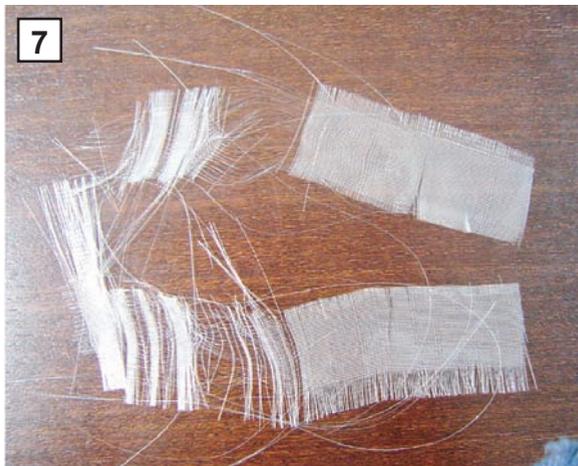
Ensayos de desgarro Malla 3. Dirección de ensayo trama.  
(— Muestra 1, — Muestra 2, — Muestra 3, — Muestra 4 y — Muestra 5)

das se desgarraron de forma correcta hasta el final del ensayo en ambas direcciones. Se observa una tendencia a ir aumentando la resistencia al desgarro conforme avanza el ensayo. Al principio se producen roturas de hilos con menor fuerza que en el resto del ensayo. La deformación de la malla durante el ensayo fue mayor que la que sufren las mallas de menor densidad (**figura 9**), debido al menor grosor y resistencia de los hilos, lo que facilita el deslizamiento de los mismos durante el ensayo.

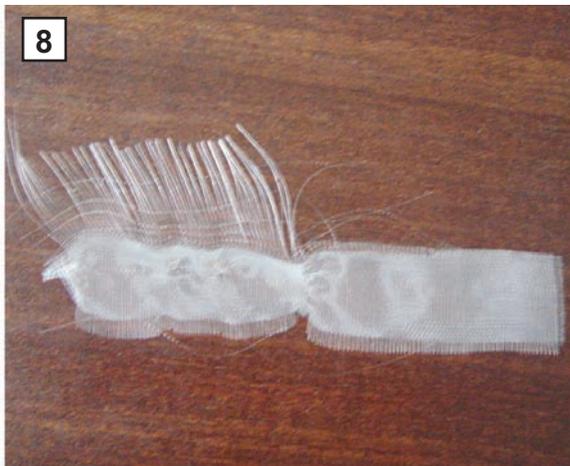
En la **tabla 2** se muestran los resultados para cada una de las mallas ensayadas. Se determinó la fuerza media de desgarro, la resistencia al desgarro, y también la deformación sufrida y la fuerza necesaria para producir la primera rotura de los hilos.

Todas las mallas muestran mayor resistencia frente al desgarro en la dirección de trama, ya que los hilos que

**Todas las mallas muestran mayor resistencia frente al desgarro en la dirección de trama, ya que los hilos que rompen son los de urdimbre, dirección más densa y por tanto de mayor resistencia**



Resultado ensayo desgarro. Malla 9 dirección trama



Resultado ensayo desgarro. Malla 9 dirección urdimbre



Deformación del tejido durante el ensayo

**Tabla 2**

Datos característicos de resistencia al desgarro de las mallas ensayadas ( $R_d$ , resistencia al desgarro;  $F_d$ , fuerza de desgarro;  $\Delta x$ , deformación de la malla antes de la rotura del primer hilo,  $F_1$  fuerza aplicada antes de la rotura del primer hilo)

		$F_1$ (N)	$\Delta x$ (mm)	$F_d$ (N)	$R_d$ (N/mm)
Malla 1	Trama	157.870	41.900	96.974	311.813
	Urdimbre	121.957	38.077	80.511	258.877
Malla 2	Trama	134.993	46.882	100.061	386.231
	Urdimbre	94.200	35.091	59.533	229.795
Malla 3	Trama	163.850	51.905	*	*
	Urdimbre	85.620	35.503	64.743	258.351
Malla 4	Trama	199.687	55.278	102.567	390.820
	Urdimbre	108.487	43.562	71.150	271.109
Malla 5	Trama	164.483	46.593	92.836	351.518
	Urdimbre	63.283	28.345	58.286	220.696
Malla 6	Trama	246.100	59.828	*	*
	Urdimbre	116.463	41.527	75.753	300.583
Malla 7	Trama	74.537	29.984	61.606	282.246
	Urdimbre	36.376	20.817	28.324	129.765
Malla 8	Trama	78.893	31.912	58.707	269.706
	Urdimbre	36.460	19.363	27.990	128.589
Malla 9	Trama	37.670	29.339	53.360	484.650
	Urdimbre	29.590	28.721	23.211	210.817
Malla 10	Trama	35.367	22.636	42.895	388.541
	Urdimbre	19.777	19.131	33.994	307.916

\* No se produjo desgarro

## Al colocar la malla anti-insectos en las aberturas de los invernaderos, la dirección de trama debe situarse verticalmente

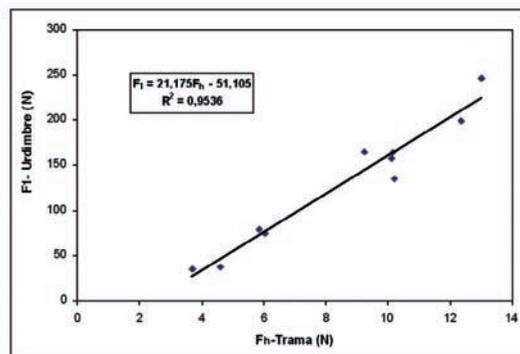
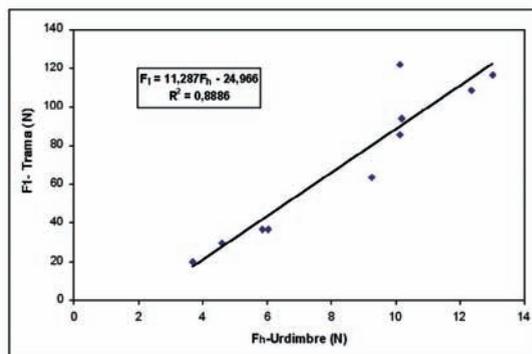
rompen son los de urdimbre, dirección más densa y por tanto de mayor resistencia.

También presentaron valores de  $F_1$  superiores a la fuerza media de desgarro ( $F_d$ ), siendo mayor la diferencia en mallas de densidad de hilo baja. Mostraron mayor resistencia antes de producirse la primera rotura, pero una vez producida ésta la resistencia al desgarro fue menor. Conforme disminuye la resistencia de los hilos ( $F_h$ , tabla 1), también lo hace el valor de  $F_1$ . Así las mallas 7 y 8, donde los hilos muestran valores de  $F_h$  inferiores, la diferencia entre  $F_1$  y la fuerza media de desgarro es menor. No ocurre de este modo en las mallas 9 y 10 donde se usaron hilos con valores de  $F_h$  muy bajos. Al principio del ensayo la fuerza necesaria para producir la rotura de los primeros hilos en estas dos últimas mallas fue menor que la fuerza media de desgarro, pero en el transcurso del ensayo el tejido se densificó, aumentando así su resistencia.

La fuerza necesaria para provocar la primera rotura de la malla ( $F_1$ ), guarda una relación directamente proporcional a los valores de  $F_h$  y  $F_L$  de la dirección perpendicular a la dirección del ensayo (figura 10), es decir, cuanto mayor sea la resistencia de los hilos, y por tanto la resistencia lineal de la malla a tracción en la dirección perpendicular a la aplicación de la fuerza de desgarro, mayor será la fuerza necesaria para producir la primera rotura.

La fuerza media de desgarro parece mantener sólo una relación directamente proporcional a  $F_h$ . Al aumentar la resistencia de los hilos aumenta la fuerza de desgarro media. Por último, no se ha encontrado ninguna

**10**



Relación entre  $F_1$  y  $F_h$

relación entre los valores de resistencia al desgarro calculados y los valores de resistencia de la malla obtenidos en los ensayos de tracción previos.

El parámetro "Resistencia al Desgarro" no ha resultado útil para clasificar las mallas, pues depende del diámetro de hilo. Cuando éste es muy pequeño se incrementa el valor de la resistencia a pesar de que la fuerza media de desgarro sea pequeña. Las mallas 9 y 10, cuyo diámetro de hilo es el menor, muestran una fuerza media de desgarro inferior al resto, pero su resistencia al desgarro es superior o similar. No se recomienda utilizar éste parámetro para clasificar una malla, pues puede dar lugar a confusión.

### Conclusiones

Todas las mallas actuales presentan mayor resistencia al desgarro en la dirección de trama. Al colocar la malla anti-insectos en las aberturas de los invernaderos, la dirección de trama debe situarse verticalmente, ya que la mayor zona de sujeción de la malla en las ventanas estará orientada perpendicularmente a la dirección más resistente del agrotexil, disminuyendo el riesgo de rotura mecánica.

Para confeccionar las mallas de protección comerciales según la tendencia actual de aumentar la densidad de hilos por unidad de superficie, se recomienda utilizar otros hilos de propiedades mecánicas superiores al polietileno utilizado hoy en día. Para aumentar la densidad de hilos sin alterar la porosidad, es imprescindible utilizar hilos de menor título, por lo que las propiedades mecánicas se ven desfavorecidas. Por ello, respecto a mallas de menor densidad, la fuerza media de desgarro es dos veces inferior en la dirección de trama y hasta tres veces inferior en la dirección de urdimbre.

### Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Junta de Andalucía y al Ministerio de Educación y Ciencia, que a través de los proyectos C03-159 y CIT-020600-2005-37 han financiado parcialmente la investigación.

### Bibliografía

AENOR. 1996. Norma UNE-EN ISO 527-1 – Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 1: Principios Generales. AENOR, Madrid, 17 p.

AENOR. 1996. Norma UNE-EN ISO 527-3 – Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 1: Condiciones de ensayo para películas y hojas. AENOR, Madrid, 9 p.

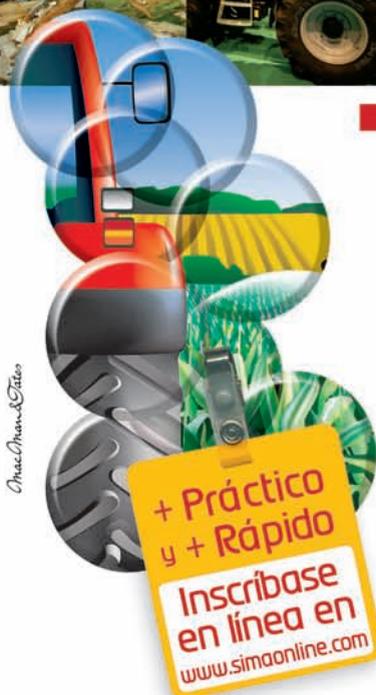
AENOR. 2005. Norma UNE-EN ISO 6383-1 – Plásticos. Películas y láminas de plástico. Determinación de la resistencia al rasgado. Parte 1: Método de la probeta pantalón. AENOR, Madrid, 13 p.

AENOR. 2005. Norma UNE-EN ISO 6383-2 – Plásticos. Películas y láminas de plástico. Determinación de la resistencia al rasgado. Parte 2: Método de Elmendorf. AENOR, Madrid, 13 p.

Valera D.L., Álvarez A.J., Molina, F.D. 2006. Aerodynamic análisis of several insect-proof screens used in greenhouses. Spanish Journal of Agricultural Research. En prensa.



# 22 hectáreas de novedades y encuentros



- Más de 1.375 expositores de 44 países
- 200.000 visitantes esperados de 108 países
- 2 espacios privilegiados
  - Espacio Prácticas Adecuadas
  - Espacio Agua / Riego

# SIMA

SIMAGENA - SIMAVIP

MUNDIAL DE LOS PROVEEDORES DE LA AGRICULTURA Y LA GANADERÍA

**Del 4 al 8 de marzo de 2007**  
 Paris-Nord Villepinte - Francia  
[www.simaonline.com](http://www.simaonline.com)

# OLEOMAQ

2007

# Oleotec

2007

1<sup>er</sup> SALÓN DE MAQUINARÍA  
Y EQUIPOS PARA ALMAZARAS  
Y ENVASADO

1<sup>er</sup> SALÓN DE TÉCNICAS  
Y EQUIPOS PARA LA  
OLIVICULTURA

Del 13 al 16 de  
febrero de 2007

ZARAGOZA  
España



COINCIDE CON **ENOMAQ**

COINCIDE CON **Tecnovid**