

TECNOLOGÍA PARA SU FABRICACIÓN, CARACTERÍSTICAS, EVALUACIÓN ECONÓMICA Y ENSAYOS REALIZADOS CON ELLAS

Las mallas antiinsectos en los invernaderos mediterráneos

Las mallas antiinsectos constituyen un método físico de protección de cultivos que en las últimas décadas se ha implantado en muchas regiones del mundo. En cultivos intensivos bajo invernadero se instalan en las aberturas laterales y cenitales de ventilación con el objetivo de

impedir o disminuir la entrada de las principales especies de insectos plaga al interior del invernadero. En ese artículo se analizan las ventajas e inconvenientes que las mallas antiinsectos presentan en los invernaderos mediterráneos.

A. J. Álvarez, D. L. Valera y R. M. Oliva.

Grupo de Investigación Ingeniería Rural.
Universidad de Almería.

En el sur de España, casi la totalidad de los invernaderos disponen de mallas antiinsectos como barrera física contra los insectos. No sólo se utilizan en invernaderos sino que también se emplean en cultivos al aire libre recibiendo, en este caso, el nombre de cubiertas flotantes. Las cubiertas flotantes suelen ser telas no tejidas (mantas térmicas) que se disponen directamente sobre el cultivo sin ningún tipo de soporte.

Características de las mallas antiinsectos

El resultado final del proceso de fabricación de una malla antiinsectos da lugar a un tejido de hilos plásticos entrelazados según dos direcciones perpendiculares. La separación entre los hilos en cada dirección configura la geometría de los poros que, aproximadamente, se ajusta a un rectángulo, ya que los hilos de urdimbre se disponen con separaciones menores que los hilos de trama (**figura 1**). Las dimensiones de los poros se relacionan con la capacidad excluyente de las mallas frente a los insectos. En cada dirección, el número de hilos por unidad de

longitud determina la densidad de hilos de la malla. Por ejemplo, una malla de 10×20 hilos/cm² presenta 10 hilos/cm en la dirección de trama y 20 hilos/cm en la dirección de urdimbre. La denominación anglosajona nombra a las mallas antiinsectos en función del número de hilos por pulgada (*mesh*) de la dirección más densa. Por ejemplo, una malla de 50 *mesh* tiene aproximadamente 20 hilos/cm en la dirección de urdimbre. Con este tipo de designación no hay información sobre la densidad de hilos en la dirección de la trama.

Otra particularidad importante del tejido viene dada por el diámetro del hilo empleado en su confección. La densidad y el diámetro de los hilos determinan tanto las dimensiones de los poros como la porosidad de la malla, es decir, la relación entre la superficie de huecos con respecto a la superficie total. Este último parámetro, la porosidad, está estrechamente ligado con el comportamiento aerodinámico de las mallas antiinsectos. Por tanto, conocida la densidad y el grosor de los hilos se pueden calcular las dimensiones de los poros y la porosidad del tejido. Sin embargo, al menos en el mercado español, las empresas distribuidoras de mallas antiinsectos, normalmente no proporcionan esta información tan básica. Esto da muestra del estado primitivo en el que se encuentra la aplicación técnica y práctica de las mallas antiinsectos a la agricultura intensiva. Es muy frecuente escuchar en el día a día la asociación entre densidades de hilo y capacidades excluyentes sin atender en absoluto al diámetro del

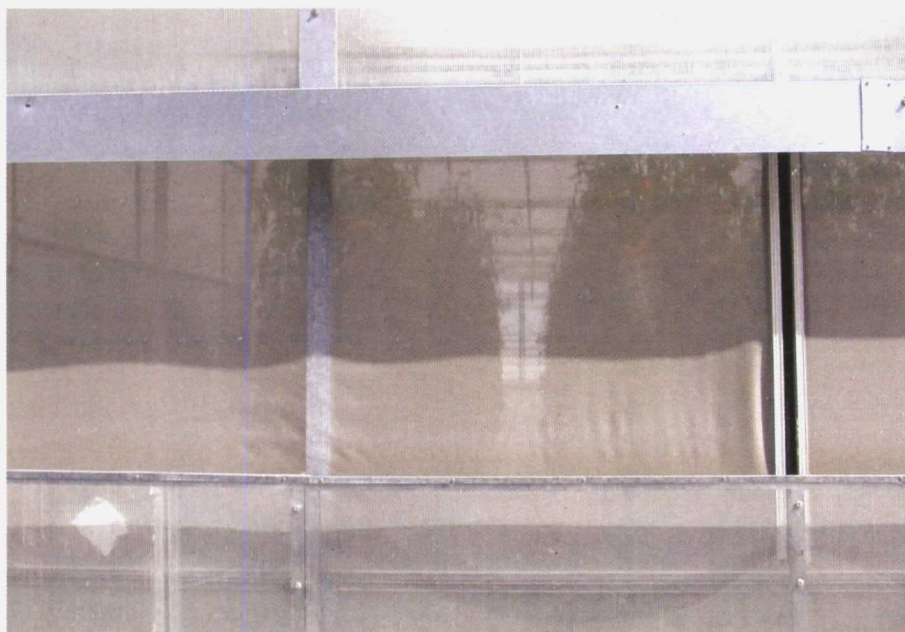
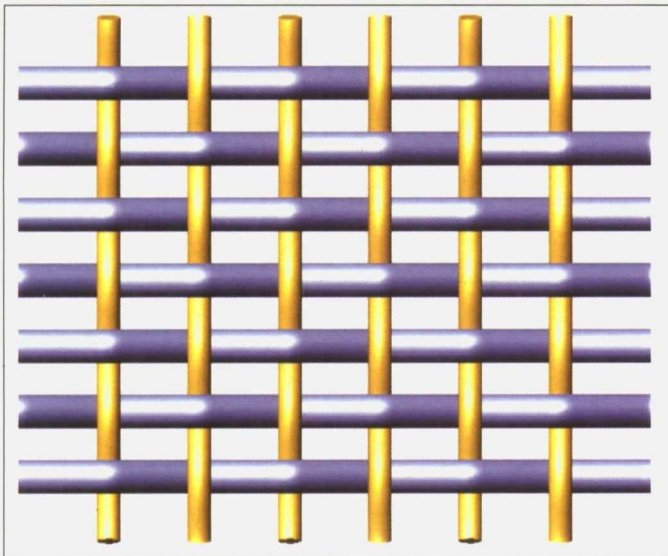


FIGURA 1.

Direcciones de trama (amarillo) y urdimbre (azul) en una malla antiinsectos



Preparación del plegador de urdimbre previa a la confección de la malla

hilo y, por tanto, a las dimensiones de los poros. En la elección de un determinado tipo de textil, la selección habitualmente depende de criterios empíricos (con muy poca base técnica) y económicos.

Mallas de protección contra insectos

Especies de áfidos, moscas blancas, trips y minadores son algunas de las plagas de insectos más peligrosas que dañan los cultivos bajo invernadero. Estas plagas no sólo producen daños directos como consecuencia de la alimentación y puesta de las hembras, sino que también son transmisoras de organismos fitopatógenos. De hecho, en determinados casos, esta característica de las plagas resulta mucho más preocupante que los propios daños directos que ocasionan. Por ejemplo, el virus TYLCV (*Tomato Yellow Leaf Curl Virus*) transmitido por la mosca blanca *Bemisia tabaci* es uno de los virus más extendidos y provoca graves pérdidas económicas.

El empleo de las mallas antiinsectos reduce las poblaciones de insectos plaga en el interior del invernadero, disminuye la incidencia de enfermedades transmitidas por insectos vectores y, como consecuencia, reduce el número necesario de aplicaciones

con pesticidas. Algunos investigadores afirman que las mallas de protección resultan por sí mismas insuficientes para reducir la incidencia de enfermedad a límites tolerables. En cualquier caso, acciones preventivas como la exclusión de plagas deberían considerarse como una de las primeras medidas a tomar en un sistema de control integrado. En este sentido y refiriéndose a *Bemisia tabaci*, se ha demostrado que deben tomarse medidas de control complementarias ya que, incluso protegiendo todas las ventanas y puertas con mallas y garantizando que las plántulas provenientes de semillero estén libres de insectos, durante el transcurso del cultivo habrá presencia del insecto en el interior del invernadero. Entre las posibles causas, al margen de la eficacia relativa de la malla, cabe destacar la falta de hermeticidad de los invernaderos mediterráneos y el poco interés que los agricultores prestan, en general, al estado de conservación del cerramiento plástico y de la propia malla.

La instalación de mallas antiinsectos en las ventanas de los invernaderos también evita la salida de los insectos polinizadores y de los insectos empleados en los programas de control biológico, y protege las líneas situadas cerca de las ventanas de los efectos provocados por los fuertes vientos. En tomate,

por ejemplo, la polinización con abejorros es mucho más barata que la polinización manual, aumenta el rendimiento al incrementar el número de frutos por planta y mejora la calidad de los frutos.

Por tanto, estos agrotexiles representan un método de control que cada vez está más aceptado y extendido. Su auge también se debe a los inconvenientes derivados de la lucha química como la pérdida de eficacia de los insecticidas debida a la rápida aparición de poblaciones resistentes, el alto coste de los tratamientos, el impacto ambiental, la eliminación de los agentes de control biológico, el marco legal cada vez más rígido y restrictivo, los problemas de residuos en las cosechas y el consecuente rechazo de los mercados, y el riesgo elevado para los operarios encargados de realizar las aplicaciones como consecuencia del tiempo empleado y del tipo de toxicidad (media-alta) de los insecticidas.

Desde el punto de vista de la protección vegetal, las mallas antiinsectos deben diseñarse en función del tamaño de la especie de insecto más diminuta cuya presencia en el interior del invernadero sea indeseable. La medida de referencia del tamaño de los insectos, normalmente, se realiza sobre la región más ancha del tórax, ya que se asume que ésta es la parte más rígida de su cuerpo. Otro aspecto importante está relacionado

con la diferencia de tamaño entre sexos: las hembras tienen un tamaño significativamente mayor.

Mecanismos alternativos de protección

Muchas de las prácticas culturales desarrolladas para el control de virus están dirigidas a eliminar los agentes que participan en el proceso de transmisión (insectos vectores y reservorios) o prevenir la coincidencia del parásito y del huésped en el tiempo y en el espacio. A lo largo del proceso evolutivo los insectos han desarrollado habilidades para detectar y seleccionar las plantas que parasitan con fines alimenticios y reproductivos. Las señales que percibe el insecto para orientarse y seleccionar a su huésped son visuales (color, forma y tamaño) y olfativas. Una vez que el parásito establece contacto con su huésped, los estímulos que predominan son olfativos, táctiles y gustativos. Por ejemplo, la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) responde a dos grupos de longitudes de onda, el azul-ultravioleta y el amarillo. El primer grupo estimula el comportamiento migratorio del insecto mientras que el segundo grupo puede ser parte del mecanismo de selección de la planta huésped.

Con el objetivo de interferir en alguna de las etapas del proceso (que comienza con la orientación del insecto hacia la planta y termina con el establecimiento de contacto entre parásito y huésped), algunos plásticos que constituyen el cerramiento de los invernaderos han incluido en su composición ad-

itivos específicos para conferir a estos materiales propiedades fotoselectivas. Las mallas antiinsectos aditivadas con este objetivo cuentan, a priori, con un doble efecto protector: por un lado actúan como barreras físicas y por otro lado dificultan el contacto visual del insecto con su planta huésped. Debido a que las mallas antiinsectos cubren únicamente la superficie destinada a ventilación, la interferencia en la relación entre parásito y huésped será muy pequeña, excepto en los casos en los que el resto del material de cerramiento también incorpore en su composición propiedades fotoselectivas.

Se ha demostrado la eficacia de las cubiertas plásticas dotadas de aditivos capaces de bloquear la transmisión de la radiación ultravioleta en el control de una amplia variedad de poblaciones de insectos y en la incidencia de las enfermedades víricas que transmiten. Sin embargo, no en todos los casos la adición de aditivos en la composición de los hilos refleja diferencias significativas en el control de insectos con respecto a textiles confeccionados con hilos no aditivados.

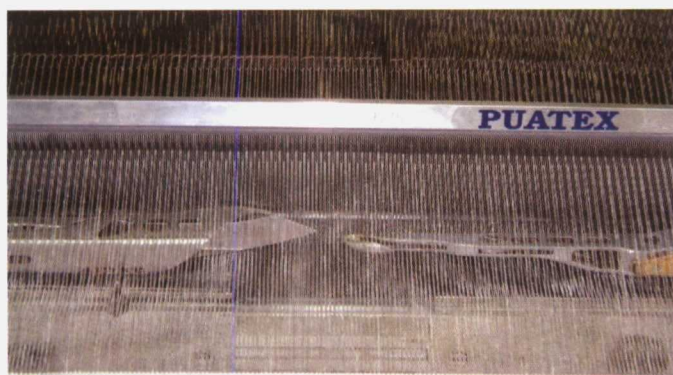
También se ha experimentado con mallas aditivadas con colorantes: ensayos de campo han comparado la eficacia de mallas de semejantes características geométricas, diferenciadas únicamente por el color de los hilos. Los resultados obtenidos desvelan que bajo mallas de color violeta, negro, verde y amarillo se encontraron entre dos y tres veces mayor número de individuos de la mosca blanca *Bemisia tabaci* que bajo una malla de color blanco. Únicamente con una malla con hilos de

color plateado se atrapó un número ligeramente menor de *B. tabaci*. A pesar de que los resultados indican que el comportamiento de *B. tabaci* es parcialmente alterado con mallas de color, parece que el principal efecto en la capacidad de exclusión de las mallas es mecánico y no función del color de la malla.

Evaluación económica

La actuación de algunas de las especies de insectos plaga citadas, ya sea en forma de daños directos o indirectos, puede llegar a desencadenar grandes desajustes en los mercados. Una de estas situaciones aconteció en Israel y fue inducida por la mosca blanca *Bemisia tabaci* como vector del TYLCV. La enfermedad provocada por este virus en los tomates cultivados bajo plástico ocasionó unos descensos de producción en 1986, 1988 y 1991 que tuvieron como respuesta unos precios muy elevados y la necesidad de importar un producto del que este país es tradicionalmente exportador.

La única forma de controlar el virus es mediante el control del insecto. Este control se realizó en Israel exclusivamente con insecticidas hasta que en 1990 comenzaron a introducirse las mallas antiinsectos como método de protección. Los resultados del análisis económico de la situación demuestran que las mermas de producción que se produjeron durante la década de los ochenta costaron a los consumidores una media anual de entre 15 y 32 millones de dólares que se habrían evitado si los invernaderos hubieran estado equipados con mallas de



Detalle de la lanzadera en el telar durante la confección del tejido.

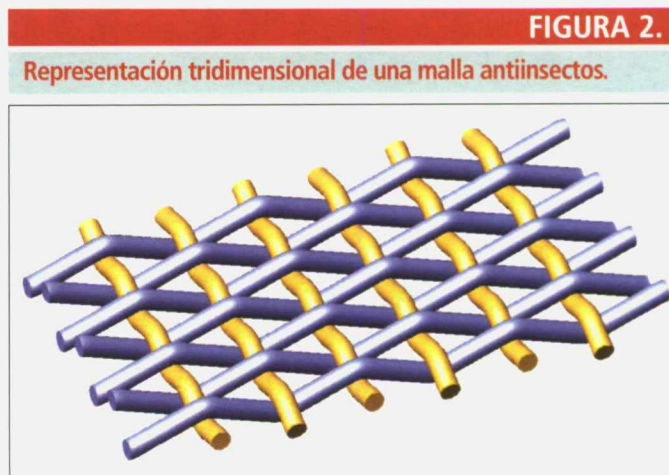


FIGURA 2.

Representación tridimensional de una malla antiinsectos.

protección. Los agricultores que se anticiparon adoptando esta tecnología se beneficiaron gracias a sus mayores rendimientos. Durante esta década hubo un gran incremento en el consumo de insecticidas destinados a combatir a *B. tabaci* que no se corresponde en ningún caso con un aumento de la superficie cultivada. Desde 1990 hasta 1998, coincidiendo con la introducción progresiva de las mallas de protección en los invernaderos, la cantidad de insecticida consumida para el control de esta mosca blanca se redujo a un número muy bajo de aplicaciones. La enorme ventaja que este último aspecto representa en la protección del medio ambiente es evidente.

Algunos inconvenientes

En general, en los invernaderos de la cuenca mediterránea, la incidencia de enfermedades ha llevado a prestar mayor atención al control de plagas que al control del clima. La sanidad vegetal de los cultivos y la pro-

blemática que rodea el empleo de los agroquímicos destinados al control de plagas ha propiciado la aparición de alternativas de protección vegetal como las mallas antiinsectos. Estos agrotexiles, que se han impuesto como parte fundamental del control de los insectos voladores, provocan una importante reducción de la superficie destinada a ventilación y dificultan el intercambio de aire entre el interior y el exterior del invernadero. Teniendo en cuenta el entorno, las condiciones microclimáticas del invernadero están condicionadas por las características de la malla y de la ventana en la que se instalan, y por la intensidad del viento. Las mallas antiinsectos disminuyen el paso de aire a través de las ventanas, de manera que se requiere una mayor superficie de ventilación para compensar la resistencia al flujo que origina la malla.

Uno de los principales problemas que presentan los invernaderos situados en regiones de clima cálido y templado está relacionado con las altas temperaturas que se registran durante los periodos de alta radiación

solar. No sólo la temperatura, sino también la concentración del dióxido de carbono y la cantidad de vapor de agua presente en el aire pueden controlarse, en función de los valores exteriores, con una adecuada ventilación. Por tanto, en estas condiciones un sistema de ventilación eficiente es crucial para controlar la temperatura, la humedad del aire y, en cierta medida, la transpiración del cultivo, además de evitar caídas drásticas del CO₂ disponible para las plantas.

El descenso en la concentración de CO₂ en el aire del invernadero con respecto al nivel atmosférico puede llegar a ser considerable durante parte del periodo diurno lo que implica la reducción del crecimiento del cultivo y de la productividad. En cuanto a la humedad ambiental, valores elevados en régimen continuado propician el desarrollo de enfermedades criptogámicas, pueden producir desórdenes nutricionales y la aparición ocasional de morfologías anormales. Humedades muy altas del aire del invernadero (habituales en periodos invernales) disminu-



BANC DELS ALIMENTS

MENSAJE A TODAS LAS EMPRESAS DE ALIMENTACIÓN

Denos sus productos no comercializables, pero aptos para el consumo

Se ahorrará el costo de su destrucción y desgravará

Nosotros los distribuimos entre instituciones que acogen personas necesitadas de nuestra ciudad y alrededores. Juntos lucharemos contra el despilfarro de los alimentos, como respuesta contra el hambre.

Calle Motors, 122 (Esquina Pº Zona Franca) 08040 Barcelona

Tel. 933 464 404 - Fax. 933 466 903 • e-mail: info@bancdelsaliments.org - Web: bancdelsaliments.org

yen la transpiración del cultivo reduciéndose el transporte de iones a las zonas de crecimiento. Además, la humedad elevada conlleva la condensación de vapor de agua sobre la superficie interior del cerramiento plástico lo que puede dar lugar a goteo sobre el cultivo con el consiguiente aumento del riesgo de micosis. También, la condensación sobre el plástico disminuye la transmisión de la radiación solar. Por otro lado, atmósferas con un bajo contenido de vapor de agua dan lugar a elevadas tasas de transpiración que inducen déficit hídrico; la consecuencia es la disminución de la conductancia estomática y de la fotosíntesis neta. Los resultados experimentales muestran un alto grado de variabilidad en función del género y especie considerado.

La presencia de las mallas dificulta el control climático de los invernaderos dando como resultado unas condiciones poco favorables para el cultivo. Si el agricultor elige una malla de protección con un tamaño de poro suficientemente pequeño pero subestima las necesidades de superficie de ventanas, el tejido provocará una gran pérdida de presión en la corriente fluida que tendrá como consecuencia una ventilación insuficiente y originará un elevado gradiente de temperaturas entre el interior y el exterior.

Últimos trabajos

El estudio de las mallas antiinsectos es uno de los campos de trabajo en los que se centra el Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad de Almería. La perspectiva de estos trabajos es doble: por un lado se analizan las características geométricas de las mallas de protección y, por el otro, se estudia su comportamiento aerodinámico. Finalmente se ensayan en invernadero los nuevos diseños de mallas. Con respecto al primer punto se ha dado un paso importante con la elaboración de un método de medida específico para este tipo de agrotexiles que permite su caracterización geométrica de una forma rápida y precisa. Este método se ha plasmado en un programa informático (Euclides v1.4) que permite automatizar la operación y pone a disposición de los fabricantes la posibilidad de realizar controles de calidad a sus productos, de ofrecer a los agricultores información detallada que les

permita elegir el tipo de tejido más adecuado en función de sus necesidades y, además, constituye una herramienta para, en un futuro próximo, lograr la normalización en el mercado de estas mallas de protección. Análisis realizados a un elevado número de productos existentes en el mercado evidencia la comercialización de productos defectuosos (sobre el conjunto de mallas comerciales analizadas existe un porcentaje superior al 20% de tejidos defectuosos) que ponen de manifiesto la necesidad urgente de controles de calidad y de la normalización de estos productos.

Relacionado con la geometría de las mallas antiinsectos, se están realizando trabajos relativos al carácter tridimensional de los poros ya que la superficie hueca que dejan los hilos entre sí no se ajusta a un plano (**figura 2**). Tradicionalmente, la capacidad de exclusión de las mallas antiinsectos se ha determinado por comparativa entre la medida de la sección transversal del cuerpo del insecto y las dimensiones del poro obtenidas en proyección ortogonal. Si se atiende a la estructura tridimensional del tejido, el espacio del que dispone el insecto para atravesar la malla es mayor del que se considera cuando se mide el poro en proyección ortogonal (lo habitual). Por tanto, la forma clásica de determinar la capacidad de exclusión de una determinada malla conlleva sobreestimar el potencial protector del textil debido a la disposición espacial de los hilos.

Los resultados teóricos relativos a la estructura tridimensional de las mallas antiinsectos han sido contrastados por ensayos de laboratorio realizados con sueltas de animales vivos. Los dispositivos experimentales elaborados para este propósito han permitido corroborar que las referencias que aparecen en la bibliografía con respecto a los tamaños de poro máximos recomendados para evitar la entrada de *Bemisia tabaci* y *Frankliniella occidentalis* son muy superiores a los valores obtenidos en los ensayos.

La estrategia de diseño seguida por prácticamente todos los fabricantes consiste en obtener mallas con poros de geometría rectangular. Esto se logra aumentando la densidad de hilos de la urdimbre con respecto a la trama, de manera que la menor dimensión del poro depende de la separación entre los hilos de urdimbre. Este tipo de diseño persi-

gue evitar el paso de insectos mediante lo que puede denominarse el efecto cárcel que se basa en la siguiente idea: se considera que el cuerpo de los insectos tiene una forma aproximadamente cilíndrica y, por tanto, limitando una de las dimensiones de los poros a un valor inferior al del diámetro de la mayor sección transversal del cuerpo de los insectos se evita la posibilidad de que puedan atravesar la malla. La otra dimensión, la de mayor longitud, que depende de la separación entre los hilos de trama, tiende a hacerse lo más grande posible con el objetivo de aumentar la porosidad de la malla, aunque su valor debe limitarse para garantizar la estabilidad del tejido y para asegurar su resistencia. El estudio tridimensional de los poros de las mallas antiinsectos también desvela que el efecto cárcel facilita la penetración del insecto a través del tejido o, dicho de otra forma, poros “muy rectangulares” son más accesibles.

El problema aerodinámico que concierne a las mallas antiinsectos depende de la relación entre las propiedades de las mallas de protección, la geometría de la ventana en la que se instalan y un fluido, el aire, que se mueve a través de los poros del tejido. La presencia de la malla supone una oposición al movimiento del aire que se denomina arrastre. Esta fuerza es paralela a la dirección de la corriente fluida y se traduce en una resistencia que se opone al flujo de aire y provoca una disminución en su velocidad ya que, en los casos de ventilación natural, no hay ninguna otra fuerza que se oponga a la resistencia que origina la malla. En este sentido se realizan ensayos en túnel de viento con el objetivo de contrastar los modelos matemáticos existentes con la realidad experimental. Con los datos experimentales se buscan correlaciones entre las variables aerodinámicas presentes en los modelos y los parámetros geométricos de las mallas. ●

Bibliografía ▼

Álvarez, A.J. 2009. *Estudio de las características geométricas y del comportamiento aerodinámico de las mallas antiinsectos utilizadas en los invernaderos como medida de protección vegetal*. Tesis Doctoral. Editorial Universidad de Almería. Universidad de Almería.