

UNIVERSIDAD DE ALMERIA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

“Eficacia en condiciones de laboratorio de las mallas antiinsectos desde un punto de vista tridimensional frente a la mosca blanca *Bemisia tabaci*”

Mención:

Curso 2016/2017

Alumno/a:

David Peña López

Director/es:

Dr. Ing. Agr. Antonio Jesús Álvarez Martínez
Dra. Ing. Agr. Rocío María Oliva Molina



Eficacia en condiciones de laboratorio de las
mallas antiinsectos desde un punto de vista
tridimensional frente a la mosca blanca

Bemisia tabaci

ÍNDICE GENERAL

1. Interés y objetivos.....	1
2. Fases de realización	4
3. Revisión bibliográfica	7
3.1 Descripción morfológica de los estados de <i>Bemisia tabaci</i>	8
3.1.1. Ninfas.....	8
3.1.2 Pupa.....	11
3.1.3 Adulto.....	12
3.1.4. Ciclo biológico	13
3.1.5. Daños producidos.....	15
3.2. <i>Tomato Yellow Leaf Curl Virus</i> (TYLCV)	16
3.2.1. Introducción	16
3.2.2. Biología de <i>Tomato Yellow Leaf Curl Virus</i> (TYLCV).....	19
3.2.3. Transmisión del <i>Tomato Yellow Leaf Curl Virus</i> (TYLCV).....	19
3.3. Métodos de control.....	20
3.3.1. Introducción	20
3.3.2. 1ª Estrategia: Reducción del potencial del inóculo	21
3.3.3. 2ª Estrategia: Control del vector	21
3.3.4. 3ª Estrategia: Desarrollo de resistencias	23
3.4. Incidencia y pérdidas producidas en los cultivos	24
3.5. Las mallas para la protección de cultivos	25
3.5.1. Introducción	25
3.5.2. Materiales y procesos de fabricación de las mallas antiinsectos.....	28
3.5.3. Ensayos para evaluar la eficacia de las mallas antiinsectos.....	31
4. Materiales y métodos	38
4.1. Introducción.....	39

4.2. Mallas antiinsectos	39
4.2.1. Elección de las mallas antiinsectos	39
4.2.2. Caracterización geométrica de las mallas antiinsectos	40
4.2.2.1. <i>Introducción</i>	40
4.2.2.2. <i>Obtención de imágenes digitales y conversión a blanco y negro.</i>	41
4.2.2.3. <i>Definición de márgenes</i>	45
4.2.2.4. <i>Identificación de los vértices y detención de errores</i>	46
4.2.2.5. <i>Cálculo de los parámetros geométricos de la malla antiinsectos.</i>	49
4.2.2.6. <i>Cálculo de la porosidad</i>	52
4.2.2.7. <i>Uniformidad de la malla</i>	53
4.3. Estudio de la población de <i>Bemisia tabaco</i>.....	55
4.3.1. Captura y manipulación de <i>Bemisia tabaci</i>	55
4.3.2. Sexado de <i>Bemisia tabaci</i>	56
4.4. Descripción de los ensayos.....	58
4.4.1. Eficacia de las mallas frente a <i>Bemisia tabaci</i>	58
4.4.2. Características de los ensayos	59
4.4.3. Descripción del dispositivo experimental	61
4.4.4. Equipos de medida y control.....	62
4.4.4.1. <i>Anemometría de lámina caliente</i>	62
4.4.4.2. <i>Controlador del ventilador de corriente continua</i>	62
4.4.4.3. <i>Unidad para la adquisición de datos</i>	63
4.4.4.4. <i>Gestión del dispositivo experimental</i>	64
4.5. Tridimensionalidad de los poros.....	65
5. Resultados y discusión	67
5.1. Caracterización geométrica de la malla antiinsectos.....	68
5.1.1. <i>Introducción</i>	68

5.1.2. Parámetros geométricos de las mallas antiinsectos.....	68
5.1.3. Determinación de la uniformidad de las mallas antiinsectos	71
5.1.4. Determinación de la porosidad	84
5.2. Eficacia de las mallas antiinsectos frente a <i>Bemisia tabaci</i>.....	85
5.2.1. Eficacia teórica: Comparativa entre las dimensiones de <i>Bemisia tabaci</i> y el tamaño de los poros de las mallas antiinsectos	85
5.2.2. Análisis de la capacidad de exclusión de las mallas antiinsectos	87
5.2.3. Comparación entre la eficacia teórica y la eficacia obtenida en condiciones de laboratorio.....	89
5.2.4. Influencia de la temperatura sobre la eficacia de las mallas antiinsecto.....	91
5.2.5. Determinación del sexo de <i>Bemisia tabaci</i>	95
5.3. Tridimensionalidad de las mallas antiinsectos	99
5.3.1. Análisis del efecto de la tridimensionalidad de los poros sobre la eficacia de las mallas antiinsectos frente a <i>Bemisia tabaci</i>	99
6. Conclusiones	106
7. Bibliografía	109
Anexo 1	118
Anexo 2	125

1. Interés y objetivos

1. Interés y objetivos

Desde mediados de los ochenta, el empleo de las mallas antiinsectos en los invernaderos mediterráneos está muy extendido. A lo largo de los años, estos agrotexiles han adquirido una gran importancia en la protección del cultivo frente a las plagas actuales. Debido al gran número de especies de insectos que azotan a los cultivos hortícolas unidos a la actual normativa que restringe la aplicación de una gran cantidad de materias activas en la formulación de los insecticidas.

La especie de mosca blanca *Bemisia tabaci*, representa una gran amenaza económica para los cultivos de todo el mundo tanto por los daños directos como indirectos que ocasionan sobre los cultivos. Sin embargo, el daño indirecto que mayor pérdidas económicas ocasiona se debe a que *B. tabaci* es el más importante vector del complejo de virus *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* (TYLCV). Dentro de los principios generales para la aplicación de un adecuado plan de gestión integrada de plagas, es imprescindible proteger los cultivos hortícolas frente a estos insectos vectores de virosis mediante el empleo de mallas antiinsectos. Además, la tendencia del mercado hacia el consumo de frutas y hortalizas ecológicas o de residuo cero, han provocado un incremento del uso de estos agrotexiles como barrera de protección de los cultivos.

El empleo de mallas antiinsectos conlleva algunos inconvenientes, el principal inconveniente que presentan es debido a la reducción del flujo de aire que provoca su instalación en las ventanas laterales y cenitales de los invernaderos. Esta reducción del flujo del aire y, por tanto, una menor tasa de renovación del aire según las estructuras y manejo, puede provocar condiciones desfavorables para el desarrollo del cultivo como pueden ser; un aumento de la temperatura o un aumento de la humedad relativa en el interior del invernadero.

Actualmente, el uso de mallas antiinsectos por parte de los técnicos y agricultores tiene una aceptación muy alta, debido a las ventajas que aportan frente a los insectos, para mantener sanas sus producciones. Sin embargo, el técnico y el agricultor, actualmente, no tienen un gran conocimiento de los agrotexiles y las diferentes opciones que ofrece el mercado, según la problemática y necesidades específicas de cada agricultor. Actualmente, los fabricantes solamente proporcionan al comprador la densidad de hilos de las mallas, sin facilitar otros datos técnicos de gran importancia, como son: la porosidad, el diámetro de los hilos, las dimensiones de los poros y los valores de eficacia frente a una plaga determinada. La

finalidad de este trabajo monográfico se centra en el análisis de la eficacia de las mallas antiinsectos frente a la mosca blanca *Bemisia tabaci*, teniendo en cuenta los parámetros geométricos de los agrotexiles, así como, la velocidad del aire y la temperatura. Además se analizará el efecto de la tridimensionalidad de los poros sobre la eficacia de las mallas frente a *Bemisia tabaci*. Los objetivos que persigue esta investigación se describen a continuación:

1. Búsqueda y selección de mallas antiinsectos comerciales que presenten similares densidades y anchos de poro.
2. Determinación de las características geométricas y análisis de la uniformidad de las mallas antiinsectos.
3. Evaluación de la eficacia de las mallas antiinsectos frente a la mosca blanca *Bemisia tabaci* en condiciones de laboratorio.
4. Análisis de la influencia de la velocidad del aire y la temperatura sobre la eficacia de las mallas antiinsectos.
5. Comparación entre los valores de eficacia obtenidos de forma teórica y experimental.
6. Estudio del efecto de la tridimensionalidad del poro sobre la eficacia de las mallas antiinsectos mediante el cálculo de la distancia mínima, media y máxima entre los hilos de urdimbre y el coeficiente de forma.
7. Determinar un nuevo criterio de diseño de las mallas antiinsectos a partir del estudio del efecto de la tridimensionalidad del poro.

2. Fases de realización

2. Fases de realización

Al inicio del proyecto, llevaremos a cabo la elección de las mallas antiinsectos con las que vamos a trabajar a lo largo del mismo. El criterio de selección seguido consistirá en elegir entre una amplia gama de mallas comerciales, tejidos con anchos de poros muy similares pero con diferentes largos de poro.

Durante la primera fase del proyecto pondremos en marcha la cría en masa de la especie *Bemisia tabaci*. La cría masiva se llevará a cabo en jaulas sobre cultivo de pimiento y berenjena durante todo el periodo en el que realicemos los ensayos para la determinación de la eficacia de las mallas.

En la segunda fase del proyecto, primero realizaremos los ensayos de eficacia de las mallas antiinsectos a baja temperatura y a diferentes velocidades de aire comprendidas entre valores de 1,5 y 3 m s⁻¹. De forma paralela a la realización de dichos ensayos, se realizará la determinación de las características geométricas de las mallas antiinsectos.

Durante la última fase del proyecto, entre los meses de junio y julio realizaremos los ensayos de eficacia de las mallas antiinsectos a altas temperaturas, es decir, a temperaturas por encima de 25°C.

Además, en la última fase del proyecto analizaremos el efecto de la tridimensionalidad de los poros de las mallas antiinsectos sobre su eficacia.

A continuación se muestra en un cronograma el tiempo de ejecución de cada una de las actividades llevadas a cabo en la realización del presente trabaj

Tabla 1: Cronograma de las actividades realizadas.

Actividades	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
Selección de mallas											
Cría de insectos											
Evaluación de la eficacia a baja temperatura											
Caracterización de mallas											
Evaluación de la eficacia a alta temperatura											
Tridimensionalidad											

3. Revisión bibliográfica

3.1. Descripción morfológica de los estados de *Bemisia tabaci*

Bemisia tabaci, comúnmente llamada mosca del tabaco o mosca blanca, pertenece a la familia *Aleyrodidae*, integrada dentro del orden *Homoptera*. Existen más de 1000 especies integradas en la familia *Aleyrodidae*, un gran número de ellas están consideradas como plagas por los graves daños que ocasionan en los cultivos. *B. tabaci* infecta a más de 600 especies de plantas, ocasionando graves pérdidas en los cultivos al aire libre, concretamente en verano a temperaturas altas (Picó *et al.*, 1996). *B. tabaci* apareció por primera vez en España en los años 40, cuando fue citada en diversos cultivos como el algodón, tabaco y tomate (Beitia *et al.*, 2001). *Bemisia tabaci* es una de las especies de aleiródidos que representa una gran amenaza económica para los cultivos de todo el mundo, como en el campo de Almería. Su desarrollo se divide en tres estados; huevo, ninfa y adulto. El huevo es elíptico asimétrico, piriforme, con un pedicelo subapical que lo mantiene sujeto a la superficie foliar. Inicialmente, es de color blanquecino al ser depositado por la hembra para posteriormente oscurecerse hasta tornarse de una tonalidad marrón-caramelo (Beitia *et al.*, 2001).

Durante la oviposición, la hembra inserta el pedicelo en la planta, y lo sujeta con un pegamento, una secreción que mantiene el huevo anclado en su lugar (Buckner *et al.*, 2002). Este aseguramiento a la planta garantiza el contacto inmediato de la ninfa recién emergida con su anfitrión, además, el vértice del pedicelo, tiene una estructura fibrosa y porosa que absorbe el agua y los solutos de la hoja. La absorción del agua de la hoja es esencial para el desarrollo de los huevos (Byrne *et al.*, 1990; Castañé y Savé, 1993; Buckner *et al.*, 2002).

3.1.1. Ninfa

Las ninfas de la mosca blanca se instalan de forma permanente en un punto de la hoja para obtener todas sus necesidades nutricionales durante el desarrollo de sus cuatro estadios. Su morfología es muy reducida debido a que su comportamiento es muy sésil. Las ninfas son de forma oval y aplanada. Sus dimensiones aumentan dentro de cada estadio ninfal (Gelman *et al.*, 2002).

La longitud y la anchura proporcionan criterios fiables para distinguir los diferentes estadios, aunque el tamaño de un estadio dado puede variar según la planta hospedante (Bethke *et al.*, 1991; Gelman y Gerling, 2003).

El primer estadio tiene forma elíptica de color verdoso-amarillento pero bastante translúcido (fig. 1), posee numerosas sedas y un par de ojos simples que ocupan los márgenes cefálicos y aparecen como dos pequeñas manchas rojizas, está es la única fase móvil gracias a sus tres pares de patas funcionales (Beitia *et al.*, 2001).



Fig. 1. Primer estadio de la ninfa de *Bemisia tabaci*.

Después de la eclosión, la ninfa móvil deambula por la superficie de la hoja en busca de un sitio de asentamiento adecuado. Una vez encuentra el sitio, la ninfa inserta sus estiletes y, por lo general, mantiene ese sitio inicial.

La capacidad de dispersión de las ninfas del primer estadio se ha considerado limitada (Van Lenteren y Noldus, 1990), debido a que normalmente se asientan muy cerca del huevo del que emergieron (Prince y Taborsky, 1992).

Prince y Taborsky (1992), descubrieron que la mayoría de las ninfas móviles se establecen en un tiempo de 3 horas después de emerger del huevo a $24\pm 2^{\circ}\text{C}$, aunque en algunos casos algunas ninfas todavía permanecían en movimiento después de 2 días (Summers *et al.*, 1996). La temperatura ambiente y la humedad, son variables que sin duda afectan al tiempo que la larva móvil puede sobrevivir sin alimentación. Domenichini (1981), demostró claramente que las patas del primer emergido móvil están relativamente bien desarrolladas y formadas por; la coxa, el trocánter, el fémur, un tarso unisegmentado provisto de una seta larga terminada en un arolio pedunculado.

Las antenas de los primeros estadios tienen tres segmentos y son relativamente largas, se extienden más allá del margen de la cabeza. Portan una serie de órganos sensoriales presumiblemente para proporcionar información necesaria para seleccionar el sitio.

En el margen lateral del cuerpo de la ninfa del primer estadio hay muchas setas que en los siguientes estadios están ausentes. Estas setas son mecano-sensoriales y se ha planteado la hipótesis de que su función sea la de detectar los tricomas de las plantas, mientras que la ninfa móvil pasea por la superficie de la hoja en busca de un sitio para su asentamiento. La detección de los tricomas de la planta afecta al desarrollo de las setas dorsales.

En las plantas con tricomas, las setas pueden llegar a ser más largas, y, en los casos de plantas ausentes de tricomas, las setas pueden ser más cortas o incluso inexistentes, (Azab *et al* 1969; Neal y Bentz, 1999; Guershon y Gerling, 2001).

Los otros tres estadios ninfales son muy similares, la principal diferencia es el tamaño que cada vez es mayor, a diferencia del primer estadio ninfal no poseen patas funcionales, presentan diversos tipos de sedas (dorsales, abdominales y submarginales), (Beitia *et al.*, 2001).

Las patas no son funcionales para caminar, sin embargo, parecen jugar un papel importante en el agarre a la superficie de la hoja durante la muda (las ninfas de *Bemisia tabaci* por lo general se producen en la superficie abaxial de la hoja), además, pueden ser de ayuda a la hora de insertar los estiletes.

Los “ojos” durante la etapa de ninfa consisten en dos pequeñas manchas que carecen de córnea cuticular (fig. 2) y tienen una retina subdesarrollada (Gelman *et al.*, 2002), más tarde se desarrollaron los ojos compuestos de los adultos, pero en la ninfa presumiblemente funcionan como detectores de luz simple.



Fig. 2. Tercer estadio ninfal de *Bemisia tabaci*.

El ano está situado dorsalmente y posteriormente en una depresión denominada “orificio vasiforme”. El ano se abre entre las bases de dos estructuras, el “opérculo” y la lígula, este último sirve para catapultar las gotas de melaza lejos del cuerpo ayudando a la ninfa a evitar el atrapa-miento en su propio excremento pegajoso.

3.1.2. Pupa

El uso del término “pupa” para referirse al cuarto estadio ninfal está muy extendido en la literatura de moscas blancas, sin embargo, no se trata de una “pupa” verdadera. La ninfa del cuarto estadio pasa por tres fases diferentes; al principio se alimenta y presenta un aspecto aplanado de color amarillo pálido, además de un contorno oval ancho; posteriormente pasa por una forma intermedia durante la cual se vuelve más opaca y al final la ninfa deja de alimentarse. En el interior de su envoltura pupal tiene lugar la transformación en adulto con la aparición de los ojos compuestos, de color rojo-granate; cuando se aproxima la emergencia del adulto pueden observarse los esbozos alares (Beitia *et al.*, 2001).

Las sedas que presenta el estado pupal son muy importantes desde un punto de vista taxonómico, pues sirven para la determinación específica de los aleiródidos. También, el conjunto de piezas que conforman el ano y sus estructuras asociadas (Beitia *et al.*, 2001).

A 26°C, en poco más de 24 horas los puntos del ojo comienzan a agrandar, y el simple ojo de ninfa se transforma en un ojo compuesto complejo de adultos. Al mismo tiempo, las alas se

desarrollan a partir de bicapas simples de tejido a alas aproximadamente del tamaño de las adultas (Gelman *et al.*, 2002). Cerca del momento de la emergencia del adulto, la cutícula es casi transparente, y el adulto se hace visible por debajo.

3.1.3. Adulto

Los adultos, machos y hembras, son muy similares pero la hembra suele presentar unas dimensiones superiores a las del macho (fig. 3). Presentan el cuerpo de color amarillo pero revestido, al igual que los dos pares de alas membranosas, de una secreción cérica pulverulenta de color blanco. El macho, se distingue de la hembra por presentar en el extremo del abdomen dos apéndices con forma de gancho denominados claspers o parámetros, que protegen el edeago (aparato copulador) (Beitia *et al.*, 2001).

Presentan ojos compuestos, los cuales están formados por un número relativamente pequeño de omatidios lo que significa que su agudeza visual es bastante pobre. Cada ojo compuesto se divide en parte superior y parte inferior distintos entre sí, que a su vez en la especie *Bemisia tabaci* están conectadas por un solo omatidio. Además de los ojos compuestos hay un par de ocelos justo por encima de ellos. Los adultos se sienten atraídos por las longitudes de onda comprendidas entre 330-340nm (radiación ultravioleta) favoreciendo el comportamiento de dispersión. Por lo contrario, cuando el comportamiento de estos insectos es de localización y aterrizaje sobre la planta huésped, se sienten atraídos por longitudes de onda comprendidas entre 520-530nm (luz visible: verde-amarillo) (Mound, 1962; Coombe, 1982; Blackmer y Byrne, 1993a, b).

Las patas de las moscas blancas adultas están bien desarrolladas como es típico en la mayoría de los insectos, están formadas por: coxa y trocánter cortos, fémur y tibia larga, tarsos (en el segundo segmento cortos y segmentados) y pretarso corto. La mosca blanca *Bemisia tabaci* entra en contacto con el sustrato solamente con su pretarso, los segmentos tarsales se quedan por encima del sustrato. El pretarso lleva un par de garras de sujeción, que es típico en la mayoría de los insectos.



Fig. 3. Adulto de Bemisia tabaci.

Las alas delanteras son de mayor tamaño que las alas traseras y la nerviación son muy reducidas.

El ovipositor femenino consta de tres apéndices esclerotizados que encajan perfectamente entre sí y terminan en una punta afilada en su ápice. El ovipositor aparece retraído en reposo por lo que, puede ser difícil identificarlo en ocasiones, la puesta de huevos se inicia al extender el ovipositor posterior, flexión ventral del abdomen, de esta forma se acerca el ovipositor al tejido de la planta.

Las dimensiones que presentan tanto los adultos como los estados inmaduros de *Bemisia tabaci* son muy variables y dependen en gran medida de la planta hospedante. Como término medio, para los adultos, se puede indicar una longitud de 0.64-0.85 mm para el macho y 0.70-1.10 mm para la hembra (Beitia *et al.*, 2001).

3.1.4. Ciclo biológico

Bemisia tabaci es una plaga universal, originaría de oriente, probablemente de Pakistán o India (Mound 1983). La mosca blanca es muy polífaga, muy dañina tanto en cultivos al aire libre e invernadero, particularmente en verano y en presencia de altas temperaturas. La velocidad de su desarrollo depende de parámetros como la temperatura y las características de la planta hospedante (Powell y Bellows, 1992).

El ciclo de vida medio de *B. tabaci* es de 17-27 días, pero en condiciones de altas temperaturas puede ser completado en 12-14 días o puede alargarse a 43-49 días en condiciones de bajas temperaturas. El rango de temperaturas de desarrollo es muy amplio aunque sus condiciones ideales son entre 16-24°C, a temperaturas por debajo de 9°C y superiores a 40°C son letales para los insectos.

La humedad relativa óptima para el desarrollo de los insectos se encuentra entre 30-60%. El período de oviposición puede verse afectado por las lluvias, las temperaturas extremas o la baja humedad (Zalom *et al.*, 1985; Cohen, 1990; Lacasa y Contreras, 1995).

Bemisia tabaci presenta una reproducción por partenogénesis de tipo arrenotoca, es decir, las hembras depositan huevos fertilizados que dan lugar a hembras (diploides) y huevos no fertilizados que dan lugar a machos (haploides), por lo general, la razón sexual es 1:1. La hembra deposita el huevo verticalmente sobre la superficie de la hoja, generalmente en el envés, unido a ella por un pedicelo. Los huevos suelen disponerse de manera aislada y habitualmente están recubiertos de una secreción cérica blanca (Beitia *et al.*, 2001).

La ninfa móvil que emerge del huevo se desplaza sobre la hoja y finalmente se fija a ella con el pico de su aparato bucal, generalmente cerca de alguna nerviación foliar y perdiendo la funcionalidad de sus tres pares de patas. Este estadio suele ser el que presenta una mortalidad más elevada. El resto de su desarrollo prematuro lo lleva a cabo en la zona de fijación, hasta la emergencia del adulto del pupario a través de una hendidura en forma de T, quedando dicho pupario vacío sobre la hoja (Beitia *et al.*, 2001).

La ninfa móvil que emerge del huevo se desplaza sobre la hoja y finalmente se fija a ella con el pico de su aparato bucal, generalmente cerca de alguna nerviación foliar y perdiendo la funcionalidad de sus tres pares de patas. Este estadio suele ser el que presenta una mortalidad más elevada. El resto de su desarrollo prematuro lo lleva a cabo en la zona de fijación, hasta la emergencia del adulto del pupario a través de una hendidura en forma de T, quedando dicho pupario vacío sobre la hoja (Beitia *et al.*, 2001).

El adulto recién emergido, tras desplegar sus alas, se recubre rápidamente de la secreción cérica blanquecina producida por sus glándulas abdominales. A las 24 horas de la emergencia se produce la maduración sexual de macho y hembra, tras lo cual ya puede producirse el

acoplamiento y la puesta de huevos fertilizados o no por parte de la hembra (Beitia *et al.*, 2001).

Los adultos y las larvas jóvenes tienen la preferencia de alimentación sobre las hojas jóvenes, ya que parecen tener una mejor adaptación a la mayor concentración de compuestos nitrogenados solubles. Su preferencia por los tejidos jóvenes se refleja claramente en su distribución sobre la planta, los adultos, huevos y larvas durante las primeras etapas se encuentran en la parte superior de las plantas jóvenes en las hojas apicales, mientras, que las pupas y los adultos recién emergidos solamente se encuentran en las hojas más viejas (Mound, 1983). Los adultos y las larvas se encuentran en la zona abaxial de las hojas, alimentándose a través de su floema mediante su estilete que penetra en los tejidos foliares intercelulares.

La especie puede llegar a sobrepasar las once generaciones anuales, dependiendo de las condiciones climatológicas y de la planta hospedante, especialmente si se desarrolla sobre cultivos protegidos (Beitia *et al.*, 2001).

3.1.5. Daños producidos

Bemisia tabaci se trata de un insecto fitófago muy polífago, se ha llegado a descubrir un rango de plantas hospedantes que abarca 420 especies vegetales, encuadradas en 74 familias botánicas distintas. En la actualidad su importancia económica radica especialmente en su capacidad de desarrollo sobre plantas hortícolas muy diversas: tomate, pepino, pimiento, calabacín, etc (Beitia *et al.*, 2001).

Los daños que es capaz de causar sobre los cultivos *Bemisia tabaci*, se dividen en daños directos y daños indirectos.

Los daños directos, son producidos debido a su alimentación sobre las hojas tanto por parte de los adultos como de inmaduros, extrayendo los contenidos celulares; en este proceso, además, inyectan toxinas con la saliva que puede producir distintas alteraciones en las plantas y, que de manera general, conlleva el debilitamiento de la planta, detención del crecimiento y disminución general de su rendimiento (Beitia *et al.*, 2001).

Los daños indirectos, son debidos a la secreción de melaza de los estados inmaduros, que favorecen el desarrollo de hongos de tipo como la negrilla (*Cladosporium*), en las hojas,

flores y frutos, lo que conlleva la asfixia vegetal, dificultando la función fotosintética y disminución en la calidad de la cosecha. La gran importancia económica que tiene esta especie de aleiródido es atribuible especialmente a otro “daño indirecto”, si así se puede considerar, su cualidad de ser vector de numerosas virosis que son de nefasta incidencia en el desarrollo y viabilidad de los cultivos afectados entre éstas virosis se puede destacar el *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* (TYLCV) o virus del rizado amarillo del tomate (Beitia *et al.*, 2001).

3.2. *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* (TYLCV)

3.2.1. Introducción

Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV) es un begomovirus detectado por primera vez en Israel entre 1939-1940, veinte años más tarde, en 1959, cuando toda la cosecha de tomate en el valle del Jordán era destruida por una enfermedad con síntomas similares al TYLCV (Cohen y Antignus, 1994). El virus del rizado amarillo del tomate o (TYLCV) fue detectado por primera vez en nuestro país en 1992 sobre plantas de tomate en Almería. También se ha detectado infección por esa virosis en judía común y en pimiento en cultivos protegidos bajo invernadero (Beitia *et al.*, 2001).

Los primeros síntomas del *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* (TYLCV) se observan sobre las plantas de tomate entre las semanas 2-4 tras la infección y alcanza su desarrollo plenamente después de un período de 2 meses (Ionnou, 1985; Credi *et al.*, 1989). El tipo y la gravedad de los síntomas varían según el aislado del virus, los antecedentes genéticos del huésped, las condiciones ambientales, la etapa de crecimiento y el estado fisiológico de la planta de tomate en el momento de la infección (Picó *et al.*, 1996).

Los cultivos poco después de la infección presentan los folíolos curvados hacia abajo y hacia dentro en forma de gancho. Las hojas que se desarrollan posteriormente presentan un tamaño más pequeño y deformes, mostrando clorosis internervial y un rizado hacia arriba de los folíolos (fig. 4). También pueden aparecer en la superficie inferior de los folíolos coloraciones púrpuras (Nitzany, 1975; Jordan, 1993).



Fig. 4. Clorosis internervial y rizado hacia arriba de los folíolos de una planta de tomate tras la infección de TYLCV. <http://forums.gardenweb.com/discussions/2243127/yellow-leaf-curl-virus-infected-all-my-tomatoes-plants>.

Cuando las temperaturas son superiores a 25°C aumentan los síntomas foliares, estos síntomas consisten en marcas amarillentas, rizado superficial de la hoja y reducción severa del tamaño de las hojas superiores (fig. 5). Las láminas de las hojas sufren curvaturas intervenal (Picó *et al.*, 1996).

Los pecíolos arqueados se pueden observar en las hojas más viejas, muestran manchas de color amarillo brillante en la superficie de las hojas, que con el tiempo aumentan de tamaño, sin embargo, estos no son los síntomas más comunes que muestran las plantas infectadas (Picó *et al.*, 1996).



Fig. 5. En estas plantas de tomate se puede ver un rizado superficial de las hojas y reducción severa de tamaño de las hojas superiores.

<https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5411489>.

Las plantas de tomate infectadas por el *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* (TYLCV), presentan un severo atrofiamiento, con un hábito de crecimiento erecto con gran crecimiento de ramas pequeñas y produciéndose un acortamiento de sus entrenudos (Mazyad *et al.*, 1979; Credi *et al.*, 1989).

Las plantas infectadas durante los estados más jóvenes son generalmente improductivas debido a la pérdida severa de flores, por lo tanto, se produce una reducción de su rendimiento superior a cuando las plantas son infectadas en estados más desarrollados. La infección durante etapas de crecimiento más tardías reduce las producciones de frutos drásticamente. Por lo general, las plantas infectadas tienden a reducir sus producciones y a la vez producir frutos de menor tamaño, los frutos cuajados antes de la infección tienden a madurar uniformemente (Nitzany, 1975; Ioannou, 1985).

Tomato Yellow Leaf Curl Virus, ha producido un gran impacto económico, debido a las reducciones de rendimiento y calidad que produce en los cultivos de tomate de las zonas afectadas, lo que lo ha convertido en un problema grave y una amenaza en las regiones donde las producciones de tomate son extensas. En muchas aéreas el TYLCV se ha convertido en el principal factor limitante para el cultivo de tomate (Makkouk *et al.*, 1979; Ioannou, 1985).

3.2.2. *Biología de Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV)*

El *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* (TYLCV), es un *Begomovirus* con genoma bipartito que tiene una morfología característica de partículas geminadas ($20 \times 30 \text{ nm}^2$) que consiste en dos icosaedros incompletos unidos entre sí por un lado (Russo *et al.*, 1980; Cherif y Russo, 1983; D'Hondt y Russo, 1985).

Alrededor del 80% de las partículas del geminivirus se compone de proteínas, la estructura doble icosaédrica está compuesta por subunidades proteicas denominadas capsómeros, con un total de 22 capsómeros por nucleocápside. El genoma que presenta el TYLCV, es único, ya que consta de ADN de una sola hebra circular (ssDNA), a diferencia de la mayoría de los virus conocidos que su genoma está formado por ARN (Harrison, 1985; Francki *et al.*, 1991).

El TYLCV es causado por un complejo de especies de *Begomovirus* filogenéticamente relacionados que producen síntomas similares al infectar las plantas de tomate.

3.2.3. *Transmisión del Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV)*

El *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* (TYLCV), es transmitido únicamente por *Bemisia tabaci*, se ha demostrado que las mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* y el áfido *Myzus persicae* son capaces de adquirir el virus pero no de transmitirlo (Antignus *et al.*, 1994).

El TYLCV es transmitido por los adultos de *B. tabaci*. Este insecto tiene capacidad para moverse activamente en distancias cortas y pasivamente por medio del viento a largas distancias. Esta mosca blanca es muy polífaga, alimentándose de un gran número de plantas, llegando a poder completar de 11 a 15 generaciones por año en condiciones climáticas favorables. En las regiones tropicales *Bemisia tabaci* no entra en diapausa, es una plaga en movimiento continuo que se desplaza de un huésped a otro a lo largo del año, en estas regiones las plantas huésped y el equilibrio biológico con los enemigos naturales son los principales factores que afectan a la población del insecto. En las regiones templadas los insectos pasan el invierno como ninfas, siendo las bajas temperaturas el principal factor que controla las poblaciones. En los países mediterráneos, se produce un aumento de la población a final de verano y principios de otoño, que se ven drásticamente reducidas en invierno. Los adultos pueden pasar el invierno en las hojas de las especies perennes (Cohen, 1990; Horowitz y Gerling, 1992; Powell y Bellows, 1992).

Cohen y Harpaz (1964), describieron la interacción virus-vector existente como un “Período de adquisición”, ya que el insecto no es capaz de volver a adquirir el virus hasta el final del período de infección.

TYLCV se transmite de manera persistente y circulativa, no se transmite a la progenie, pero las ninfas pueden adquirir el virus y transmitirlo en la etapa adulta. Las ninfas son tan eficaces como los adultos para contraer el virus. Las hembras pueden tener una mayor eficacia que los machos en la transmisión (Cohen y Nitzany, 1966; Caciagli *et al.*, 1995).

El insecto adquiere el virus al alimentarse de plantas infectadas a través de su estilete que llega a las células del floema. El virus pasa a través de las células específicas dentro de la pared intestinal para entrar en el hemocele, donde es acumulado, posteriormente este virus es transmitido por la mosca blanca durante su alimentación a través de las glándulas salivales (Picó *et al.*, 1996). La cubierta proteica del geminivirus es esencial para el reconocimiento por parte del vector, mutaciones en la cubierta proteica puede perjudicar la adquisición o transmisión del virus por el vector (Accoto *et al.*, 1994).

El período de adquisición oscila entre 15 y 60 minutos, necesitando un tiempo similar para inocularlo. Los adultos son capaces de transmitir el virus antes de las 17 horas después de su primera ingestión, siendo capaz de infectar durante un período de más de 8 días, llegando hasta un máximo de 20 días. Durante ese período la infectividad del vector disminuye progresivamente, pudiendo adquirirlo de nuevo en sucesivas alimentaciones sobre plantas infectadas. Los síntomas en las plantas pueden aparecer a los 15 o 20 días después de ser transmitido el virus por el vector (Picó *et al.*, 1996).

3.3. Métodos de control

3.3.1. Introducción

Las principales estrategias de control de TYLCV se centran en métodos para evitar que las poblaciones de *Bemisia tabaci* entren en contacto con el cultivo y en introducir resistencias genéticas al cultivo frente a los virus que transmiten estas poblaciones. Las nuevas estrategias para el control del TYLCV deben tener en cuenta los tres elementos que intervienen en la infección viral, es decir, virus, vector y hospedante. Por tanto, se deben de tomar las medidas de control siguiendo una serie de estrategias.

3.3.2. 1ª Estrategia: Reducción del potencial del inoculo

El objetivo de la primera estrategia debe ser disminuir la cantidad de inoculo mediante la eliminación de las plantas infectadas, para ello, podemos seguir dos estrategias para reducir o eliminar las fuentes de inoculo donde el vector adquiere el virus y empieza la infección del cultivo, estas son:

- Usar plantas libres de virus
- Eliminar plantas reservorio adyacentes al cultivo

3.3.3. 2ª Estrategia: Control del vector

La propagación del TYLCV depende principalmente del vector *B. tabaci*, ya que la correlación entre el tamaño de la población del vector y la propagación de la enfermedad es directamente proporcional (Ioannou y Iordanou, 1985; Cohen *et al.*, 1988).

Para controlar la propagación del *Tomato Yellow Leaf Curl Virus*, es necesario impedir el acceso del vector *B. tabaci* al cultivo y para ello utilizamos las barreras físicas, además se debe de reducir la población del vector y para ello se utilizan métodos químicos o biológicos.

- **Control Químico**

El control químico de *B. tabaci* presenta principalmente dos problemas, en primer lugar la baja sensibilidad que presenta esta especie ante los pesticidas utilizados actualmente, además del rápido desarrollo de resistencias a estos, en segundo lugar la presencia de diferentes estadios de mosca blanca presentes en la planta al mismo tiempo y la migración de las poblaciones a los cultivos adyacentes.

Debido a la capacidad que tiene la mosca blanca para desarrollar resistencias rápidamente a los pesticidas utilizados, es importante coordinar la alternancia de distintos pesticidas para lograr que estos insectos tarden más tiempo en desarrollar resistencias.

El desarrollo de resistencias a los pesticidas ha incrementado de forma importante debido a la aparición de un nuevo biotipo de mosca blanca, denominado biotipo B, caracterizado por su alto nivel de resistencia a muchos derivados organofosforados y carbamatos (Mckenzie *et al.*, 2009; Oliva 2013).

Para el control químico de *Bemisia tabaci* solamente existe una materia activa permitida por el ministerio de agricultura en España actualmente, está materia activa es el metomilo. También se utilizan en las aplicaciones aceites como el aceite de parafina, aceite de colza, además de hongos como la *Beauveria bassiana*. La aplicación de estos productos debe de ser adecuada ya de ello depende la eficiencia del tratamiento. Debido a que las poblaciones de estos insectos se suelen instalar en el envés de las hojas condiciona la eficacia de los productos de contacto, por tanto, es aconsejable la adición de un mojante que aumente el efecto de estos.

La aplicación de los tratamientos debe de llevarse a cabo cuando se inicia la instalación de la plaga en los cultivos jóvenes, para evitar fuentes de inóculo, conforme se desarrolle el cultivo debe de ir dilatándose en el tiempo las aplicaciones de pesticidas. Aunque el uso de pesticidas en las primeras etapas de desarrollo reduzca las poblaciones de vectores, esto no justifica de manera económica ni ecológicamente el uso de pesticidas de forma intensiva, es necesario cambiar este tipo de control por otros métodos para lograr un mayor éxito (Kisha, 1981; Sharaf, 1986).

○ **Control Biológico**

El control biológico es una alternativa al control químico e implica el uso de enemigos naturales del vector, éstos se agrupan de acuerdo con su modo de acción, como depredadores o parásitos.

Dentro del grupo de parásitos, la mayoría son *Himenópteros* de la familia *Aphelinidae* que parasitan *B. tabaci*. Para las regiones mediterráneas, las tres especies más adaptadas son, *Encarsia formosa*, *Encarsia zutea*, *Eretmocerus mundus* (Gerling, 1986; Natarajan, 1990; Rapisarda, 1990; Henneberry y Bellows, 1995). Siendo *Eretmocerus mundus* el parásito más abundante que aparece de forma natural en los cultivos del sureste de España, además destaca por su alta capacidad reproductiva y competitividad respecto a otros parásitos. También destacan otras especies de *Encarsia* que parasitan *B. tabaci* (*E. formosa*, *E. bimaculata*, *E. porteri*, *E. sophia*, *E. reticulata*, *E. lutea*, *E. cibecensis*, *E. zutea*, etc) aunque muestran una menor eficacia.

Dentro del grupo de depredadores, destacan los chinches de la familia *Miridae* que son ampliamente utilizadas en la región del mediterráneo como enemigos naturales de *B. tabaci*,

Macrolophus caliginosus y *Nesidiocoris tenuis* son consumidores de larvas de mosca blanca, colonizan un gran número de campos de cultivo, proporcionando un eficaz control de la mosca blanca (Alomar *et al.*, 2002; Vacante y Benuzzi 2002; Nannini 2003; Arnó *et al.*, 2005; Calvo *et al.*, 2008; Sánchez 2008). Las sueltas en el cultivo deben realizarse cuando las poblaciones de mosca blanca sean bajas, para que los enemigos naturales logren instalarse en el cultivo, las especies nombradas anteriormente pueden ocasionar daños en el cultivo cuando tenemos una gran población y los niveles de mosca blanca son bajos, llegando a producir abortos y pérdidas de rendimiento en la floración (Sánchez y Lacasa 2008; Arnó *et al.*, 2010).

Destaca *Amblyseius swirskii* un ácaro de la familia *Phytoseiidae*, presente en las regiones del mediterráneo, se encuentra adaptado a numerosos cultivos, y es un depredador eficaz de huevos y larvas de mosca blanca. Cuando las condiciones de humedad relativa son altas, también se emplean algunos hongos entomopatógenos, como *Beauveria bassiana* y *Verticillium lecani*, que actúan infectando las larvas de *B. tabaci*.

○ **Control Físico**

El principal método físico para evitar el contacto del vector con las plantas es el uso de mallas antiinsectos. El objetivo de la presente investigación es evaluar la eficacia en condiciones de laboratorio de las mallas antiinsectos desde un punto de vista tridimensional frente a la mosca blanca *Bemisia tabaci*, se procederá a su explicación en los siguientes apartados.

3.3.4. 3ª Estrategia: Desarrollo de resistencias

La utilización de variedades resistentes al TYLCV, hoy en día no es posible en todas las especies de cultivos. Existen variedades silvestres en los cultivos de tomate que tienen una alta resistencia al TYLCV. La introducción de estos genes de resistencia, en las variedades comerciales actuales abrirían una nueva dimensión en el control de plagas y posiblemente el camino más eficaz (Oliva, 2013).

3.4. Incidencia y pérdidas producidas en los cultivos

Una de las especies de *Aleyrodidae* que representan un serio problema económico a nivel mundial es la mosca blanca del tabaco, *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889). Esta especie, al principio fue considerada como una plaga menor en cultivos extensivos de zonas tropicales y sub-tropicales, pero a finales del siglo XX se convirtió en una plaga transcendental para los cultivos hortícolas y ornamentales de las zonas templadas, incluida la Cuenca Mediterránea (Oliva, 2013).

La presencia de *B. tabaci* en España es conocida desde los años 40, cuando fue citada por primera vez sobre diversos cultivos como algodón, tabaco y tomate. En los últimos años se ha convertido en una plaga de gran importancia económica que afecta a todo el mundo, especialmente a los cultivos hortícolas protegidos (Beitia et al., 2001).

Uno de los cultivos más afectados económicamente por la presencia de *B. tabaci*, es el tomate, donde produce debilitamiento de toda la planta, caída de flor y fruto causado por la infección del TYLCV, produciéndose serias pérdidas de rendimiento. Estas pérdidas son esencialmente severas cuando la infección se produce antes de la floración, induciendo una reducción del tamaño de los frutos y disminución de la calidad. ;

El gran impacto provocado por el TYLCV en el rendimiento y la calidad del cultivo conllevan unas pérdidas económicas que hacen de este patógeno un grave problema en las zonas donde el cultivo del tomate es amplio. En muchas regiones el TYLCV se ha convertido en el principal factor limitante del cultivo del tomate en las producciones tanto al aire libre como protegidas (Makkouk *et al.*, 1979; Ioannou, 1985). La incidencia, gravedad y extensión de la enfermedad tienen variaciones estacionales significativas correlacionadas con las fluctuaciones de la población del vector (Ioannou y Iordanou, 1985; Cohen *et al.*, 1988).

Cuando las condiciones son las ideales para la propagación de la enfermedad, se alcanzan proporciones epidémicas que conducen al abandono de los campos de cultivo en muchas regiones (Nakhla *et al.*, 1994; Abou Jawdah., 1995).

Según Picó *et al.*, (1996), las pérdidas económicas causadas por el *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* debido a la disminución de la producción del cultivo del tomate afectaron a numerosos países. En Israel y Jordania afectó a los cultivos durante los meses de primavera y

verano, con una incidencia de la enfermedad del 93-100%, llegando a provocar unas pérdidas de productividad del 50-75% al aire libre y del 63% bajo invernadero (Nitzany, 1975; Makkouk, 1978 y Al-Musa, 1982). En Líbano la incidencia de la enfermedad en septiembre es del 28-50%, llegando a ser en diciembre del 85-90%, durante los meses de verano y otoño las plantaciones de las regiones costeras fueron abandonadas, en las plantaciones bajo invernadero se produjeron unas pérdidas del 63% (Makkouk *et al.*, 1979; Abou Jawdah *et al.*, 1995). En Egipto la incidencia de la enfermedad en otoño llegó a ser del 100%, nombrando el TYLCV como la enfermedad más severa del cultivo del tomate, produciéndose unas pérdidas productivas en el cultivo del 80-99% (Nakhla *et al.*, 1993; Mazyad *et al.*, 1979). En Arabia Saudí la incidencia de la enfermedad durante los meses de agosto y septiembre fueron del 58-100%, causando unas pérdidas productivas del 30-80% (Mazyad *et al.*, 1979). En Chipre durante los meses de verano y principios de otoño la incidencia de la enfermedad sobre el cultivo fue del 20-100%, afectando tanto al cultivo al aire libre como bajo invernadero (Cherif y Russo, 1983). En Italia la incidencia del TYLCV durante los meses de otoño a invierno llegó a ser del 80%, produciendo severas pérdidas económicas tanto en el cultivo al aire libre como bajo invernadero (Credi *et al.*, 1989; Gallitelli *et al.*, 1991; Polizzi y Areddia, 1992; Nucifora, 1994).

Por último, en España se vieron afectadas las regiones de Almería, Murcia y Canarias, produciéndose una incidencia de la enfermedad durante los meses de otoño e invierno del 70%, produciéndose importantes pérdidas económicas en los cultivos al aire libre y bajo invernadero (Jorda, 1993; Moriones *et al.*, 1993).

3.5. Las mallas para la protección de cultivos

3.5.1. Introducción

Las mallas antiinsectos son utilizadas como barreras físicas de protección para los cultivos. Su uso está ampliamente extendido en todo el mundo. En los cultivos protegidos bajo invernadero estas mallas se colocan en aberturas laterales y cenitales dedicadas a la ventilación.

A mediados de los ochenta en los invernaderos del mediterráneo se empezaron a utilizar las mallas de materiales plásticos en las aberturas de ventilación de los invernaderos. En aquella época las estructuras eran precarias, de escasa altura, y su sistema de ventilación

consistía simplemente en abrir las bandas laterales mediante la recogida del plástico, dejando el cultivo sin ningún tipo de protección contra los vientos, lo que causaba daños en los frutos, además de pérdidas de producción. Para resolver este problema se empezaron a colocar “mallas mosquiteras” en la superficie que dejaban los plásticos una vez que se recogían para proceder a la ventilación del invernadero, reduciéndose notablemente los daños a la vez que se empezó a apreciar un descenso en el ataque de muchas plagas (Oliva, 2013).

Fue entonces cuando se pensó en el uso de mallas como barrera física contra los insectos (Díaz *et al.*, 2003). Su introducción fue lenta debido a que la baja superficie de ventilación que presentaban aquellos invernaderos se veía reducida con el uso de estas mallas, cuya densidad de hilos inicialmente era de 6x6 hilos/cm⁻², además esta malla no era suficiente para controlar la entrada de insectos de menor tamaño, pasándose a utilizar un breve período de tiempo mallas de 6x8 hilos/cm⁻², y, 6x9 hilos/cm⁻², al aumentar la densidad de las mallas se agravó aún más los problemas de ventilación ya existentes (Díaz *et al.*, 2003).

En el 2003, la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía establece como medida de control obligatoria contra las enfermedades víricas en los cultivos hortícolas la utilización de mallas en las ventilaciones laterales y cenitales del invernadero de una densidad mínima de 20x10 hilos/cm⁻², excepto en aquellos casos en los que no permitan una adecuada ventilación del invernadero. En el sur de España, más del 90% de los invernaderos usan mallas antiinsectos, la exclusión de los insectos se considera como el primer paso para desarrollar una gestión integrada de las plagas en invernadero (Bailey, 2003). Su utilización también se extiende a los cultivos al aire libre, en este caso se utiliza el nombre de cubiertas flotantes (Avilla *et al.*, 1994). Las cubiertas flotantes consisten en cubiertas no tejidas de polipropileno (mantas térmicas) muy permeables a la luz y al agua que se disponen sobre el cultivo de forma flotante sin ningún tipo de soporte (Avilla *et al.*, 1994).

Aunque la efectividad de las mallas 20x10 hilos/cm⁻² frente a densidades inferiores ha sido corroborada, no se ha podido erradicar en su totalidad la transmisión de virosis, por lo que la presencia de plantas infectadas pone de manifiesto la falta de hermeticidad de las estructuras ante la entrada de insectos como *Bemisia tabaci*, debido, entre otras variables, a la falta de estanqueidad del invernadero, del mal estado del plástico y la falta de hermeticidad en las puertas del invernadero (Díaz *et al.*, 2003).

El objetivo de las mallas antiinsectos es impedir o disminuir la entrada de los principales vectores de virosis al interior del invernadero. Por tanto, las mallas deben diseñarse en función del tamaño de la especie del insecto plaga que presente unas menores dimensiones y su presencia sea indeseable (Bailey, 2003). La habilidad de los insectos para pasar a través de una abertura no debe reducirse únicamente en función de la anchura torácica del insecto ni del tamaño que presente el hueco (Bethke y Paine, 1991).

Debido a las reducidas dimensiones que presentan estas especies de insectos, como es el caso de *Bemisia tabaci* o *Frankliniella occidentalis*, hace que sean arrastrados por el viento con facilidad y que puedan atravesar las mallas por aquellos orificios de mayor tamaño, debido no solo a la falta de uniformidad del tejido, sino que la disposición espacial de los hilos dejan una superficie de poro más grande de lo que puede medirse en su proyección ortogonal, permitiendo la entrada de todos aquellos insectos de dimensiones inferiores al tamaño del poro de la malla (Díaz *et al.*, 2003). Por lo tanto, el efecto de la tridimensionalidad del poro también influye en su capacidad excluyente.

Cuando se va a diseñar una malla antiinsectos, se tiene como referencia la medida del tamaño de los insectos, que se determina por la región más ancha del tórax, ya que se asume que está es la parte más rígida de su cuerpo, esto determinará el tamaño máximo de los poros de la malla (Bethke y Paine, 1991). Otro aspecto importante está relacionado con la diferencia de tamaño entre sexos; las hembras tienen un tamaño significativamente mayor (Bethke y Paine, 1991).

Los valores medios del tamaño de los insectos considerados plagas peligrosas para los cultivos y el tamaño máximo del poro de las mallas recomendado para conseguir su exclusión del interior del invernadero, según la bibliografía son: para *Frankliniella occidentalis* el valor medio de la medida del tórax es de 257,9µm para las hembras y de 190,6µm para los machos desde la vista dorsal, presentando un valor medio del tórax de 190,6 µm para las hembras y de 165,8 µm para las hembras, perspectiva lateral, recomendando un tamaño máximo de poro de 192 µm para detener el paso de *Frankliniella occidentalis* a través de los textiles (Oliva, 2017). Para *Bemisia tabaci* el valor medio de la medida del tórax es de 277,5µm para las hembras y de 241,6µm para los machos (Oliva, 2017). El tamaño máximo de poro de la malla antiinsectos para *B. tabaci* debe de ser 462 µm (Bethke y Paine, 1991; Bethke, 1994). Para *Trialeurodes vaporariorum* el valor medio de la medida del tórax es de 288µm y el tamaño

máximo de poro de la malla antiinsectos es de 288 μ m, para *Aphis gossypii* el valor medio de la medida del tórax es de 486,3 μ m y el tamaño máximo de poro de la malla antiinsectos es de 340 μ m y por último para *Liriomyza trifolii* el valor medio de la medida del tórax es de 608 μ m y el tamaño máximo de poro de la malla antiinsectos es de 640 μ m (Bethke y Paine, 1991; Bethke, 1994). Para *Drosophila suzukii* el valor medio de la medida del tórax es de 1062,6 μ m para las hembras y de 486,3 μ m para los machos (Oliva, 2017).

Las acciones preventivas para la exclusión de plagas deberían considerarse como una de las primeras medidas a tomar en un sistema de control integrado (Bell y Baker, 1997, 2000; Bailey, 2003). Además, del uso de mallas antiinsectos es necesario llevar a cabo durante el cultivo otras medidas de control complementarias, ya que durante todo el ciclo del cultivo encontraremos presencia de insectos plaga en el interior del invernadero. Entre las posibles causas, cabe destacar la falta de hermeticidad de los invernaderos mediterráneos y el bajo interés que presentan los agricultores, al estado de conservación del cerramiento plástico y de la propia malla antiinsectos (Garijo, 1992).

La instalación de mallas antiinsectos en las ventanas laterales y cenitales de los invernaderos también evita la salida de los insectos polinizadores (Berlinger *et al.*, 2002) y de los insectos empleados en los programas de control biológico (Berlinger *et al.*, 2002), además, fuertes vientos (Díaz, 2003). Por tanto, los agrotexiles representan un método de control cada vez más extendido, su auge se debe en gran medida a los inconvenientes derivados del uso de químicos como la pérdida de eficacia de los insecticidas debido a la rápida aparición de poblaciones resistentes (Berlinger *et al.*, 2002), el alto coste de los tratamientos químicos (Bailey, 2003), el impacto ambiental (Bethke y Paine, 1991; Bell y Baker, 2000), la eliminación de los agentes de control biológico (Antignus, 2000), el marco legal cada vez más restrictivo, los problemas de residuos en las cosechas (Belda y Rodríguez, 1989), y, el consecuente rechazo por parte de los mercados (Jiménez, 1991).

3.5.2. Materiales y procesos de fabricación de las mallas antiinsectos

Dentro de la industria textil, el sector textil dedicado a la fabricación de textiles para uso agrícola y pesca es importante a nivel global. De hecho, el consumo mundial de textiles destinados a estas actividades creció del año 2000 al 2005 en 120.000 toneladas, lo que supone un crecimiento anual medio en torno al 2,5% (Byrne, 2007).

En el mercado español de agrotexiles, el 67% de la población de agrotexiles está destinada a las mallas de protección y de estos el 14% está dedicado a la producción de mallas antiinsectos. La tasa de crecimiento anual de consumo de mallas de protección es superior al 7%, y el mercado potencial es muy grande (Fernández y Salgado, 2006). Según la asociación estadounidense de fabricantes de invernaderos *National Greenhouse Manufacturers Association* NGMA (2001), los materiales más utilizados en la fabricación de mallas de protección son acero inoxidable, latón, polietileno, poliéster, nailon y mezcla de polietileno y fibras acrílicas (Álvarez, 2009; Oliva, 2013).

Cada uno de estos materiales transmite una o varias cualidades distintivas al tejido final según describe la NGMA. Los hilos de polietileno son los más empleados en la confección de mallas de protección debido a que ofrecen los tejidos con la mejor relación calidad/precio según la tendencia y criterios actuales; las características de las mallas tejidas con hilos mixtos multifilamento de polietileno y fibras acrílicas conceden estabilidad al tejido; las mallas tejidas con hilos de nailon son de bajo costo y tienen un buen comportamiento a corto plazo (Álvarez, 2009; Oliva, 2013).

La fabricación de estos textiles comienza en las manufacturas de hilados que reciben la materia prima en forma de granza. El material empleado es, fundamentalmente, polietileno de alta densidad que representa un 60% en el consumo de materias primas del mercado español de agrotexiles (Fernández y Salgado, 2006). El empleo de poliéster permite obtener hilos de menor diámetro pero su vida útil es más limitada frente a las radiaciones solares (Bethke, 1994). El proceso parte con la fusión por calor de la granza en la tolva de la extrusora. En este momento la materia prima se aditiva para mejorar sus propiedades. Se emplean aditivos de todo tipo y con múltiple objetivos: con el fin de que el propio proceso de fabricación no degrade el producto y mejorar, así, su calidad final; con el objetivo de aumentar la estabilidad de los polímeros frente a la acción de las radiaciones ultravioletas; en algunos casos se utilizan aditivos para incorporar a los hilos propiedades fotoselectivas con el objetivo de interferir en las señales visuales que atraen a los insectos hacia la planta que parasitan; otros aditivos, los colorantes, empleados para teñir los hilos de color, están en desuso puesto que reducen la cantidad de radiación disponible para el cultivo y, actualmente, en algunas mallas se está empezando a incorporar como aditivos sustancias químicas con el objetivo de dotarles de propiedades insecticidas. Cuando la masa fundida sale por la boquilla de la extrusora en forma de delgado hilo se enfría y pasa a las etapas de *estirado* y *fijación* donde obtendrá sus

propiedades y dimensiones definitivas. El aumento de longitud del monofilamento dependerá de la velocidad diferencial de los rodillos que hacen avanzar al hilo y tiene un peso muy importante en las propiedades mecánicas del producto fabricado. En la etapa de fijación el hilo vuelve a calentarse y se hace circular por otro juego de rodillos para contraerlo. El objetivo de esta fase es conferir estabilidad al tejido frente a las contracciones que experimentan los hilos como consecuencia de los aumentos de temperatura. El proceso de fabricación finaliza con el bobinado del hilo. Los diámetros o títulos de los monofilamentos que se fabrican en las hilaturas para confeccionar mallas antiinsectos oscilan, normalmente, entre 0,20-0,28mm (Álvarez, 2009; Oliva, 2013).

Las tecnologías de fabricación empleadas en las mallas antiinsectos son la de *calada*, *punto por urdimbre* y otros procesos a través de los que se logran obtener *telas no tejidas* y *láminas perforadas*, que no deberían ser denominadas mallas sino barreras antiinsectos (NGMA, 2001; Fernández y Salgado, 2006). La tecnología de *punto por urdimbre* consiste en formar una malla entrelazando el hilo mediante agujas en una serie de lazadas unidas entre sí, consiguiendo un tejido muy resistente al rasgado. Las *telas no tejidas* se obtienen uniendo o entrelazando las fibras con métodos mecánicos, químicos o térmicos; los agrotexiles no tejidos se obtienen principalmente mediante adhesión termoplástica. La fabricación de láminas perforadas realmente no es una tecnología que esté relacionada con el sector textil; se trata de practicar perforaciones de pequeño diámetro en una lámina, normalmente de polietileno; este tipo de barreras antiinsectos consiste en telares a la plana que emplean técnica de calada. Consiste en entrelazar perpendicularmente dos conjuntos de hilos que reciben el nombre de urdimbre y trama. Los hilos de urdimbre son los que se disponen longitudinalmente. En función de la densidad de fibras que se persiga conseguir, un número determinado de bobinas de hilos se enrollan en el enjullo o plegador de urdimbre: se trata de un cilindro que gira lentamente a medida que trabaja el telar. Los hilos de urdimbre se dividen en dos conjuntos (pares e impares) que se mueven alternativamente dando lugar a una separación o calada. En cada calada se hace circular un hilo de trama conducido por una lanzadera, u otro sistema, que queda entrelazado perpendicularmente con la urdimbre creando la estructura del tejido. El factor limitante en la producción es la velocidad de la lanzadera lo cual determina que la dirección de hilos menos tupida sea la de trama. El tejido confeccionado se bobina quedando listo para su comercialización (Álvarez, 2009; Oliva, 2013).

3.5.3. Ensayos para evaluar la eficacia de las mallas antiinsectos

Bethke y Paine (1991), realizaron ensayos de laboratorio para evaluar la efectividad de las mallas antiinsectos como método de protección de cultivos, durante los ensayos utilizaron once tipos de barreras físicas (textiles y láminas perforadas) con diferentes especies de insectos. El tamaño medio de los poros de las barreras ensayadas osciló entre 192,5 y 938,8 μm . *Mizus persicae* fue la única especie ensayada que no atravesó ninguna barrera, por lo tanto, no alcanzó el estímulo alimenticio preparado al otro lado de la barrera, aunque la anchura media del tórax de *M. persicae* fue de 438,8 μm y cinco de las barreras físicas utilizadas presentaban poros de mayor dimensión.

Liriomyza trifolii, sólo fue capaz de atravesar la barrera que contenía los poros de mayor tamaño (938,8 μm), que eran 1,4 veces más grandes que el tamaño medio del tórax de los dos sexos. Los individuos machos de *L. trifolii* no consiguieron atravesar una malla con un tamaño medio de poro de 640,0 μm , a pesar de que la anchura de su tórax posee dimensiones más reducidas.

Aphis gossypii, se restringió su paso significativamente a través de nueve de las barreras ensayadas, no pudiendo penetrar a través de ninguna barrera con tamaño de poro inferior a la anchura media de su tórax. Para pasar de forma significativa a través de una de las barreras de protección ensayadas, el tamaño de los poros tuvo que ser 1-5 veces mayor que el ancho medio del tórax. La especie *Bemisia tabaci*, logró atravesar las barreras que poseían un tamaño de poro aproximadamente dos veces mayor respecto al ancho de su tórax. *Frankliniella occidentalis*, fue el insecto de menor tamaño y mayor capacidad de penetración ensayado, ya que paso a través de poros con un tamaño sólo ligeramente mayor a la anchura de su tórax (Bethke y Paine, 1991).

Un aspecto interesante de la experiencia llevada a cabo por Bethke y Paine (1991), está relacionada con las características que presentan los poros de las láminas perforadas sometidas al ensayo; debido al proceso de fabricación, uno de los lados de la lámina presenta el poro como una depresión en el plástico, mientras, en el otro lado de la lámina el material desplazado durante la perforación del poro toma la forma de una corona que define el contorno del poro. Al ensayar las barreras de protección por ambos lados, *B. tabaci* y *F. occidentalis* mostraron mayor capacidad de penetración por el lado de la lámina en el cuál el

poro se define como una depresión en el plástico. En el caso del trip, esta característica actuaba como un estímulo que incitaba al insecto a introducirse a través de la abertura. Este fenómeno puede estar relacionado con los propios hábitos de búsqueda de alimento del insecto, ya que, con frecuencia puede encontrarse en espacios muy reducidos, entre los pétalos de las flores en capullos cerrados (Robb, 1989).

Según describe Nucifora (1994), en una serie de trabajos realizados en laboratorio y en invernaderos comerciales, a principios de la década de los noventa en Sicilia (Italia). Durante estos ensayos analizó el comportamiento de seis mallas comerciales frente a *Bemisia tabaci*. Las mallas ensayadas presentaban unas densidades de hilo comprendidas entre 6x8 y 10x20 hilos cm^{-2} , con un intervalo de luz de poro entre 0,28 y 1,00 mm. Los ensayos de laboratorio consistieron en introducir 100 adultos de *B. tabaci* en una caja cerrada y opaca que poseía una abertura protegida por una de las mallas ensayadas. La duración de los ensayos fue de 5, 60 y 480 minutos y durante ese período se incitaba a los insectos a salir de la caja mediante un estímulo luminoso.

Los resultados obtenidos durante la realización del ensayo descrito desvelaron que las dos mallas que poseían densidades de 10x20 hilos cm^{-2} (0,28 y 0,32 mm de ancho de poro) bloquearon totalmente el paso de la mosca blanca. Sin embargo, los textiles que presentaban un ancho de poro de 0,42, 0,46 y 0,60 mm correspondientes a mallas con densidades de 15x15, 10x14 y 12x12 hilos cm^{-2} , solamente consiguieron frenar parcialmente el paso de *B. tabaci*, presentando unos porcentajes relativos al número de individuos que lograron pasar a través de la malla de 24,8, 49,2 y 64,4%, respectivamente. Las mallas con densidades de 8x10 y 6x8 hilos cm^{-2} , portando un ancho de poro de 0,75 y 1,00 mm, se mostraron absolutamente ineficientes frente a *B. tabaci* (Nucifora, 1994).

Los ensayos de campo se llevaron a cabo durante tres ciclos productivos sobre cultivo de tomate. En todas las experiencias los resultados se compararon con los de un invernadero testigo sin ningún tipo de malla de protección en sus ventanas. No se realizó ningún tipo de tratamiento con insecticidas ni en los invernaderos protegidos ni en los invernaderos testigo, por lo tanto, las diferencias obtenidas, en cada caso, se debieron a la protección conferida por la malla. Dado los resultados puede deducirse que los textiles menos densos (6x8 y 8x10 hilos cm^{-2}) se mostraron muy ineficientes en la protección contra *B. tabaci*, hecho que aprueba las conclusiones obtenidas en los ensayos de laboratorio. El resto de mallas proporcionaron una

protección significativa frente a mosca blanca, con respecto a la población del insecto encontrada en el invernadero testigo, lo cual se tradujo en una menor incidencia de plantas infectadas por el virus TYLCV en los invernaderos protegidos por malla (Nucifora, 1994).

Bell y Baker (2000), ensayaron la eficacia de ventiocho mallas comerciales frente a *Bemisia argentifolii* (Perring y Bellows) y distintas especies de trips. El objetivo del trabajo fue simular las condiciones reales de ventilación de invernaderos comerciales (Carolina del Norte, Estados Unidos), durante el período estival. Para ello, forzaron el paso de los insectos a través de las mallas generando una corriente de aire aproximadamente de $1,5 \text{ s}^{-1}$. Los autores de este trabajo, no ofrecen ninguna información acerca del tamaño de los poros de las mallas ensayadas, limitándose a citar sus nombres comerciales. Varios de los textiles ensayados presentan porcentajes de exclusión muy bajos y, por ello, los autores alertan de la necesidad del control de las mallas por parte de los laboratorios independientes para evitar la presencia en el mercado de productos de baja calidad.

Ticó *et al.* (2002), llevaron a cabo un ensayo en condiciones reales en (Almería, España) comparando la efectividad frente a *Bemisia tabaci* y *Frankliniella occidentalis* de una malla comercial de 10x20 hilos cm^{-2} con una luz de poro de 270 μm , con respecto a una malla patrón de 6x8 hilos cm^{-2} . Los resultados obtenidos presentan una menor presencia de *B. tabaci* y una menor incidencia del virus TYLCV en la parcela protegida con la malla de 10x20 hilos cm^{-2} respecto a la parcela protegida con la malla de 6x8 hilos cm^{-2} . Sin embargo, esta malla no fue eficaz a *F. occidentalis*. En cuanto a las condiciones microclimáticas, en la parcela del invernadero protegida con la malla de 10x20 hilos cm^{-2} , se ocasionó un incremento de la incidencia de podredumbre provocada por *Botrytis cinerea*. La malla analizada, contaba con propiedades fotoselectivas, sin embargo, debido al diseño del experimento no permite comprobar la influencia de las propiedades ópticas frente a la exclusión de mosca blanca.

Berlinger *et al.* (2002), llevo a cabo un ensayo con diez agrotexiles (ocho mallas antiinsectos, una malla de sombreado y una tela no tejida), en condiciones de laboratorio y en campo para determinar su eficacia frente a *Bemisia tabaci*. El dispositivo experimental del laboratorio estaba formado por dos tubos de plástico, el tubo A y el tubo B; el tubo A tenía un diámetro de 7 cm, tamaño un poco inferior respecto al tubo B. En la parte inferior del tubo A se colocaba la muestra de la malla a ensayar y este a su vez se encajaba en la parte inferior del

tubo B; en el extremo superior del tubo B se encajó una placa Petri, a la que se había adherido en la parte exterior un plástico semitransparente de color amarillo y en la parte interior se había extendido un pegamento para atrapar a los individuos que consiguiesen atravesar la malla. Se soltaban en torno a 120-150 individuos adultos de *Bemisia tabaci* por ensayo en el interior de la cámara A y se realizaron 12 ensayos por malla de una duración de 24 horas cada uno, con unas condiciones ambientales controladas de 28 ± 1 °C y 60 ± 5 % de humedad relativa. Cinco de las mallas ensayadas ofrecieron resultados positivos en la exclusión de mosca blanca.

Según los datos suministrados por Berlinger *et al.* (2002), el mayor tamaño de poro que se muestra eficaz impidiendo el paso de *Bemisia tabaci* tiene una luz de poro en torno a los 290 μm y se consiguió con una malla de densidad 10×20 hilos cm^{-2} , ofreciendo un porcentaje de exclusión de 6,2%.

Los ensayos se repitieron en campo en Israel, se seleccionaron los textiles que se mostraron eficientes en condiciones de laboratorio. El montaje experimental consistió en la fabricación de unas jaulas en forma de túnel de dimensiones $45\times 45\times 300$ cm^3 , confeccionadas con las mallas a ensayar y la malla de sombreado se utilizó como control. Se colocaron trampas adhesivas en el interior y exterior del invernadero y en el interior de las jaulas se colocaron placas Petri con plástico semitransparente de color amarillo y pegamento para atrapar las moscas. Los ensayos en campo confirmaron los resultados obtenidos en el laboratorio, solamente un número reducido de moscas blancas con capacidad transmisora del virus TYLCV era capaz de infectar a las plantas sanas en un periodo de 24 horas, aunque es cierto que la incidencia del virus tiene una alta correlación con la densidad de población de mosca blanca (Berlinger *et al.* 1990; Berlinger *et al.* 2002).

Por último, las tres mallas antiinsectos que mostraron mayor efectividad en la exclusión de *Bemisia tabaci* en los ensayos realizados en campo, se probaron en invernaderos comerciales en Israel, los ensayos se llevaron a cabo en diez invernaderos de al menos 1000 m^2 . Se colocaron diez trampas adhesivas de color amarillo en el interior y exterior de cada invernadero. Los resultados del ensayo confirmaron los resultados anteriormente obtenidos en el laboratorio y en las jaulas, el promedio de moscas atrapadas en interior del invernadero fue muy bajo, oscila entre 0,4-0,9 moscas blancas por día, en comparación con la media de 40

moscas atrapadas por día en el exterior del invernadero. Por tanto, las tres mallas ensayadas se mostraron muy eficaces en la exclusión de *Bemisia tabaci* (Berlinger *et al.* 2002).

Respecto a la efectividad de las mallas ensayadas en el control de otros tipos de insectos (*Trialeurodes vaporariorum*, *Aphis gossypii*, *Myzus persicae*, *Liriomyza brassicae*, *Frankliniella occidentalis* y *Thrips tabaci*), la comparativa entre el número de capturas dentro y fuera del invernadero parece indicar que las mallas resultaron efectivas frente a estas especies (Berlinger *et al.* 2002). Sin embargo, la comparativa gráfica de las densidades aéreas de trips dentro y fuera del invernadero refleja una mayor presencia de estos insectos en interior respecto a las otras especies.

Díaz-Pérez *et al.* (2003), realizaron un ensayo en el que introdujeron insectos de mosca blanca capturada en campo y los encerraron en jaulas protegidas con mallas de diferentes densidades y espectros luminosos. Entre los resultados obtenidos pese a la ausencia de viento por estar en condiciones de laboratorio, la protección de la malla fue del 100%, no obstante, la proporción de fugas fue inferior en el caso de las mallas de 10x20 hilos cm^{-2} que en densidades de hilos inferiores. Además, Fernández *et al.* (2002) y Díaz-Pérez *et al.* (2003), demostraron que la barrera física es suficiente para frenar la entrada de mosca blanca y por tanto la combinación de barrera física y óptica no está justificada si la eliminación espectral no se produce en todo el interior del invernadero, ya que una vez que el insecto entra en el interior de este, su orientación estaría condicionada por la transmisividad del plástico. Además, la eliminación espectral de la radiación UV-B entre 290-380 nm no es total en el caso de las mallas pero sí en el de una cubierta plástica.

Álvarez (2009), evaluó la eficacia de doce mallas antiinsectos frente a *Bemisia tabaci* bajo condiciones de laboratorio. La malla con una densidad de 14x27 hilos cm^{-2} y con un tamaño de poro de 187,3 μm , presentó una eficacia del 100% en la exclusión de *Bemisia tabaci*. Las mallas con densidades de 10x20 y 15x15 hilos cm^{-2} y con valores de ancho de poro de 250,3 y 392,7 μm , respectivamente, presentaron porcentajes de exclusión superiores al 95% frente a *Bemisia tabaci*. Los resultados que se obtuvieron con las mallas ensayadas demostraron que para frenar el paso de *B. tabaci* se requieren tamaños de ancho de poro inferiores a 392,7 μm . Sin embargo, la malla con densidad de hilos de 10x17 hilos cm^{-2} posee un ancho de poro inferior al límite anteriormente fijado (315,2 μm) y presentó una eficacia muy baja de exclusión frente a *Bemisia tabaci*. Por lo tanto, se afirmó que el efecto cárcel cuyo objetivo es

restringir la entrada de insectos limitando la separación entre los hilos de urdimbre y, a su vez, obtener tejidos de elevada porosidad distanciando la separación entre los hilos de trama, es contraproducente en el objetivo de la exclusión de insectos si se utiliza como criterio de diseño sin tener en cuenta la tridimensionalidad del poro. Además, demostró que los valores que aparecen en la bibliografía con respecto a los tamaños de poro máximos recomendados para evitar el paso de *B. tabaci* son muy superiores a los valores que se obtuvieron en los ensayos.

Según Álvarez (2009), los resultados teóricos con respecto a la eficacia de las mallas frente a *B. tabaci* considerando la tridimensionalidad del poro no estaban en concordancia con los resultados prácticos ya que se debe tener en cuenta que lo que se analiza desde el punto de vista teórico es el paso de un cuerpo cilíndrico (o elíptico) de un insecto, que es una estructura viva, a través del espacio definido por la separación entre hilos; por ese motivo, el estudio de la eficacia de las mallas debe ir unido al análisis experimental.

Otros ensayos realizados por Álvarez (2009), demostraron que las recomendaciones dadas en la bibliografía acerca del tamaño máximo de poro (192 μm) para evitar la entrada de *Frankliniella occidentalis* estaban muy por encima de los valores encontrados en la práctica. Realmente, en la práctica (se realizaron ensayos de carácter cualitativo) en ninguna de las mallas que se ensayó se consiguió frenar por completo el paso de *F. occidentalis* (el menor tamaño de poro que fue probado tenía una dimensión aproximadamente 120 μm). Se observó también, que la sección transversal del cuerpo de *F. occidentalis* era elíptica y que este insecto tenía capacidad de atravesar los poros de menor tamaño orientando el eje mayor según la dirección de los hilos de urdimbre, es decir, aprovecha el largo del poro para pasar a través de la malla. Además el autor demostró que para frenar a esta especie mediante la utilización de las mallas antiinsectos era necesario tomar como referencia la medida del eje menor de la elipse a la que se asimila la sección transversal del cuerpo de *F. occidentalis*.

Oliva (2013), Álvarez y Oliva (2013), evaluaron cinco mallas antiinsectos frente a *Bemisia tabaci* en condiciones de laboratorio. La malla con una densidad de 14x27 hilos cm^{-2} y un ancho de poro de 174,8 μm , presenta una eficacia del 100% frente a *Bemisia tabaci* tanto en calma como a las diferentes velocidades ensayadas (1,5 y 3 m s^{-1}). La malla con una densidad de 10x20 hilos cm^{-2} y un ancho de poro de 199,2 μm , también presenta unos valores altos del coeficiente de exclusión, entre el 100% en calma y del 89,08% a una velocidad de 3 m s^{-1} .

Los resultados obtenidos con la malla que posee una densidad de 15x15 hilos cm^{-2} y un tamaño de poro de 362,6 μm , muestra un coeficiente de exclusión del 95,01%, a velocidades nulas, sin embargo, a velocidades mayores este comienza a decrecer hasta alcanzar el valor de 17,00% a 3 m s^{-1} . De forma general, menos en los ensayos realizados con la malla que presenta una densidad de 14x27 hilos cm^{-2} , el coeficiente de exclusión disminuye a medida que aumenta la velocidad del aire. La relación entre la velocidad del aire y el coeficiente de exclusión de la malla antiinsectos se ajusta a una ecuación lineal.

Álvarez y Oliva (2015), evaluaron la eficacia de cuatro mallas antiinsectos y una manta térmica frente a *Drosophila suzukii* en condiciones de laboratorio. Las dos primeras mallas que se ensayaron poseían una densidad de 5,6x5,7 y 5,5x6,9 hilos cm^{-2} y presentaban una luz de poro de 1406,9 y 1175,1 μm respectivamente, ofrecieron unos porcentajes de exclusión muy bajos, inferiores al 10%, este porcentaje de exclusión era de esperar ya que el tamaño medio de tórax de *Drosophila suzukii* es de 1062,6 μm para los individuos hembra y de 957,6 μm para los individuos machos. La tercera malla antiinsectos ensayada presenta una densidad de 6,1x8,8 hilos cm^{-2} y un tamaño de poro de 815,3 μm , muestra un porcentaje de exclusión muy alto 98,1%, dicho porcentaje de exclusión decrece cuando esta malla es ensayada en presencia de aire a 1,5 m s^{-1} , hasta un valor de 18,4%. Los resultados obtenidos con la última malla que posee una densidad de 7,4x10,6 hilos cm^{-2} y un tamaño de poro de 637,8 μm , ha presentado un porcentaje de exclusión del 100%. El porcentaje de exclusión obtenido al ensayar la manta térmica ha sido muy elevado del 99,4%, el principal problema que presenta este textil en relación a las mallas antiinsectos es la reducida porosidad que presenta 35,3%, la cual podría originar problemas de ventilación.

4. Materiales y métodos

4.1. Introducción

El objetivo de este trabajo se centra en el análisis de la eficacia de las mallas antiinsectos frente a *Bemisia tabaci* teniendo en cuenta tanto la velocidad y la temperatura como el efecto de la tridimensionalidad de los poros. Los ensayos para determinar la eficacia de las mallas antiinsectos se llevaron a cabo en el laboratorio mediante la utilización de un dispositivo experimental diseñado para medir el porcentaje de exclusión de las mallas a diferentes velocidades y temperatura del aire. La gestión del dispositivo de ensayos se realizó con el programa informático Bóreas v. 1.3.

Durante la realización de este trabajo también se ha llevado a cabo la determinación de las características geométricas de las mallas antiinsectos, como la densidad, el tamaño de la luz de los poros en la dirección de trama y de urdimbre, el diámetro de los hilos y la porosidad de cada textil mediante la utilización del programa informático Euclides v.1.4.

Además, hemos relacionado el porcentaje de exclusión de las mallas antiinsectos con la proporción entre sexos de los insectos, debido a las diferencias existentes entre las dimensiones de los individuos macho y hembra, las velocidades de aire y la temperatura.

Por último, hemos estudiado el efecto de la tridimensionalidad de los textiles sobre la eficacia de las mallas antiinsectos frente a la mosca blanca *B. tabaci*.

4.2. Mallas antiinsectos

4.2.1. Elección de las mallas antiinsectos

Dada la existencia de una amplia variedad de tipos de mallas antiinsectos fabricadas con destino a la agricultura intensiva, hemos decidido ensayar los agrotexiles más representativos de las mallas antiinsectos comerciales destinadas a la lucha frente a la especie *B. tabaci*. Se han ensayado un total de seis mallas antiinsectos, las seis mallas utilizadas para llevar a cabo los ensayos se caracterizan por tener una distribución de los hilos con geometría rectangular, esta geometría se logra aumentando la densidad de hilos en la dirección de urdimbre con respecto a los hilos en la dirección de trama. Este tipo de diseño persigue conseguir en la malla el efecto cárcel que consiste en evitar la entrada del insecto limitando una de las dimensiones del poro a un valor inferior al tamaño de la sección transversal del cuerpo del insecto.

En la siguiente tabla se exponen los tipos de mallas ensayadas:

Tabla 2: Densidades teóricas y diseño del poro de la malla antiinsectos.

Malla	Densidad teórica	Diseño del poro
	$\rho_x \times \rho_y$ (hilos cm^{-2})	
1	10x20	Rectangular
2	9x21	Rectangular
3	8x20	Rectangular
4	9x16	Rectangular
5	8x16	Rectangular
6	10x16	Rectangular

4.2.2. Caracterización geométrica de las mallas antiinsectos

4.2.2.1. Introducción

La caracterización geométrica de las mallas antiinsectos nos aporta información sobre la geometría de la malla, como, las dimensiones de los poros, mediante la comparación de las medidas características que presenta *Bemisia tabaci* y las dimensiones de los poros podemos determinar la capacidad de exclusión de estos agrotexiles.

El análisis de la caracterización geométrica de las mallas se ha realizado según el procedimiento descrito en la norma UNE 40606: Agrotexiles. Determinación de las características geométricas. Medidas en proyección ortogonal de tejidos de calada con monofilamentos. Para llevar a cabo este proceso hemos utilizado diversas herramientas informáticas, por un lado hemos usado aplicaciones de edición de imágenes, y, por otro lado el programa informático Euclides v.1.4. (Álvarez, 2009) que determinará las características geométricas de las mallas antiinsectos.

El análisis geométrico de las mallas se llevará a cabo a partir de las imágenes digitales capturadas con el microscopio Motic DMWB1-223 (Motic Spain S.L, Barcelona, España) que incorpora una cámara de video digital Altra 20. Con el fin de conocer el equivalente en

unidades métricas de cada pixel se ejecutará una calibración previa del microscopio para cada objetivo.

Las características geométricas calculadas mediante el programa informático Euclides v.1.4 (Álvarez, 2009), son las siguientes: la densidad de los hilos en la dirección de urdimbre y trama, el grosor de los hilos, el área de los poros y las dimensiones medias de los poros en las dos direcciones principales. Estos parámetros permiten determinar los valores teóricos de la eficacia de las mallas como barreras físicas frente al paso de los insectos.

4.2.2.2. Obtención de imágenes digitales y conversión a blanco y negro

Se han tomado cinco muestras de cada una de las mallas ensayadas, cada una de las muestras presenta un tamaño de 1 cm². Para obtener las imágenes digitales colocamos cada muestra entre dos portaobjetos con el objetivo de que se ajuste de forma plana sin pliegues. El mayor campo de barrido que se puede lograr con el microscopio (0,33x0,25cm²) se consigue empleando el objetivo de 4x en combinación con la lente de la cámara digital. El número de capturas necesarias para abarcar la superficie de análisis prefijada varía según la densidad que presente el agrotexil. A la hora de tomar las capturas de las muestras se ha seguido el siguiente protocolo, estas se tomarán de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, presentando un pequeño porcentaje de solape entre sí.

Las imágenes digitales capturadas con el microscopio Motic DMWB1-223 (Motic Spain S.L, Barcelona, España), son proporcionadas en color (fig. 6), en dichas imágenes, se puede identificar el contorno del hilo (color oscuro), la región central de este (color claro) y los poros de la malla (color claro).

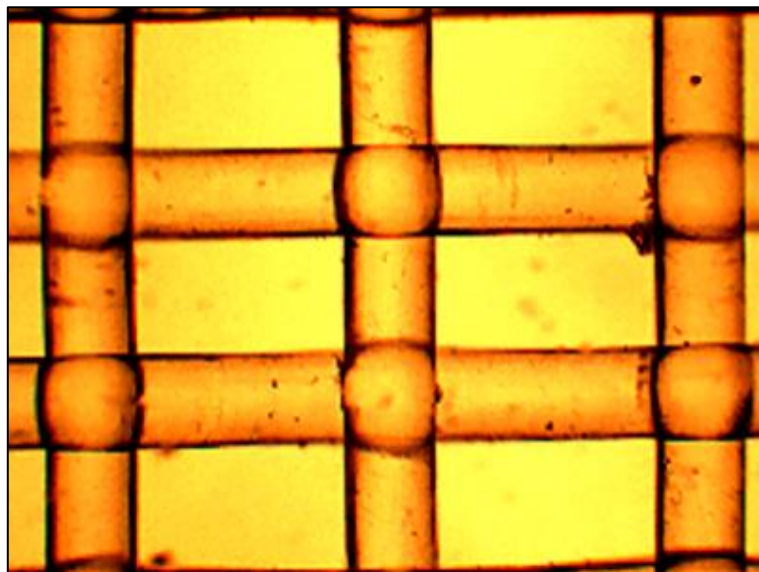


Fig. 6. Imagen capturada al microscopio de la malla antiinsectos número 6 en color.

Una vez capturada la imagen por el microscopio, es procesada mediante la utilización de aplicaciones de diseño de imágenes, durante este proceso la imagen pasa por varios procedimientos antes de poder ser utilizada en el programa informático Euclides v.1.4. (Álvarez, 2009).

El primer paso al que es sometida la captura mediante el uso del editor de imágenes consiste en convertir a blanco y negro la imagen en color, el siguiente paso consiste en rellenar de color gris los poros de la malla antiinsectos (fig. 7), con la ayuda del editor de imágenes.

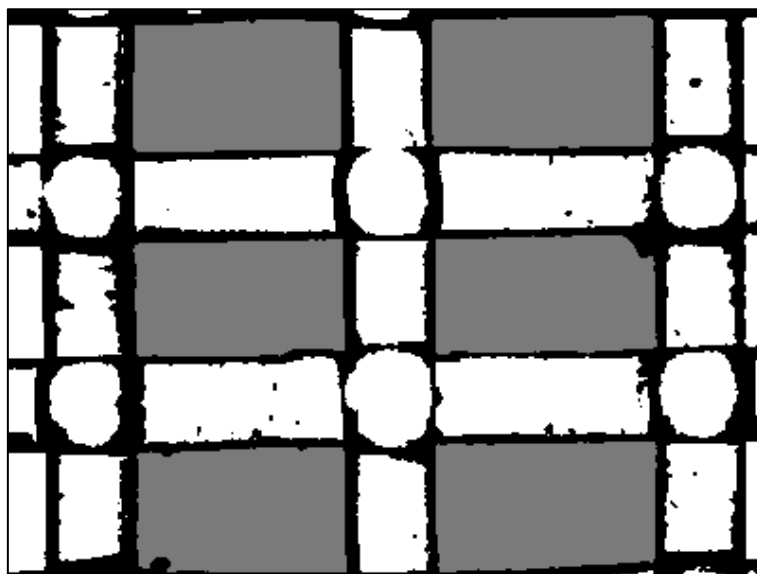


Fig. 7. Imagen de la malla antiinsectos número 6 en escala de grises.

Cuando tenemos la imagen convertida en blanco y negro con los poros coloreados en gris, ya puede ser utilizada en el programa informático Euclides v.1.4. (Álvarez, 2009). A partir de la imagen en escala de grises el programa ejecuta la conversión definitiva a blanco y negro, para realizar este paso se escoge en la barra de herramientas la opción *Convertir* y seguidamente se selecciona la opción *Blanco y Negro* (fig. 8), a continuación el programa nos solicita que se seleccione algún poro de la malla antiinsectos, al hacer clic sobre alguno de estos poros de color gris el programa convertirá todas las regiones de color gris de la imagen en color blanco, y el resto de regiones de la imagen se convertirán en color negro. Finalmente, obtendremos una imagen con dos regiones perfectamente diferenciadas en dos colores, las zonas de color blanco corresponden a los poros de la malla y las zonas de color negro son correspondientes a los hilos que constituyen la malla antiinsectos, (fig. 9).

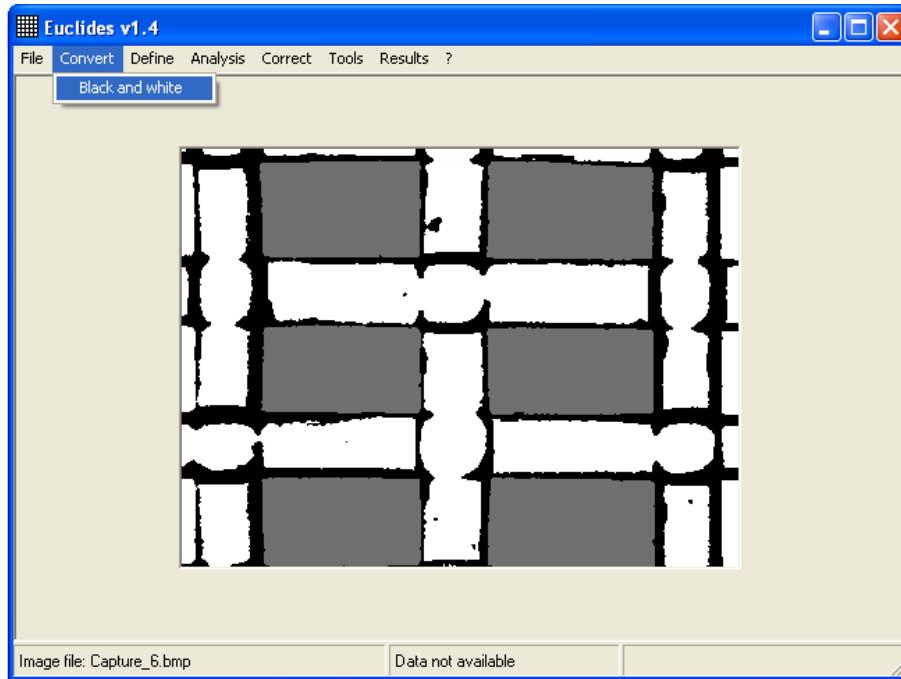


Fig. 8. Conversión de la imagen en blanco y negro mediante el programa Euclides v1.4.

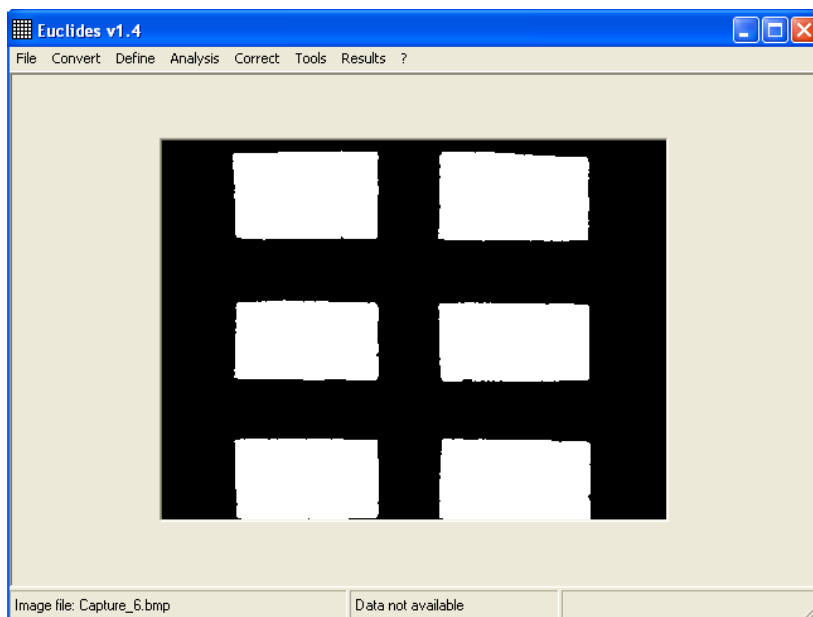


Fig. 9. Imagen convertida en blanco y negro mediante Euclides v1.4.

4.2.2.3. Definición de márgenes

Después de convertir la imagen en blanco y negro, el siguiente paso consiste en definir los márgenes de la imagen capturada, para realizar dicho proceso se debe seleccionar en la barra de herramientas del Euclides v.1.4. (Álvarez, 2009), la opción denominada *Definir*, seguidamente se selecciona la opción *Márgenes* (fig. 10).

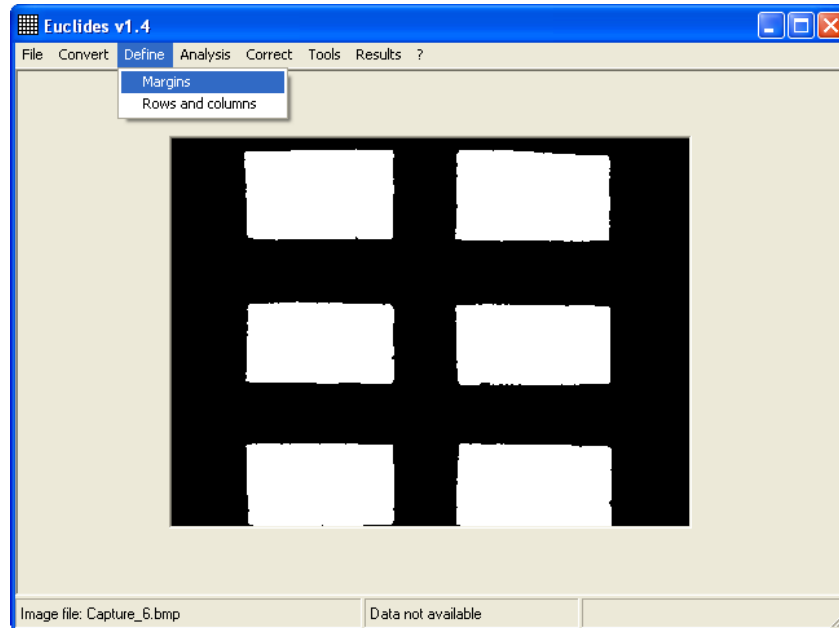


Fig. 10. Definición márgenes de la imagen en blanco y negro mediante Euclides v1.4.

La definición de los márgenes de las imágenes capturadas, se utiliza debido a la presencia de filas (margen superior e inferior) y columnas (margen izquierdo y derecho) de poros incompletos, estas filas y columnas de poros incompletos no deben de ser tenidos en cuenta en el análisis de caracterización geométrica. Por tanto, debemos definir el margen izquierdo superior (fig. 11) y el margen derecho inferior (fig. 12).

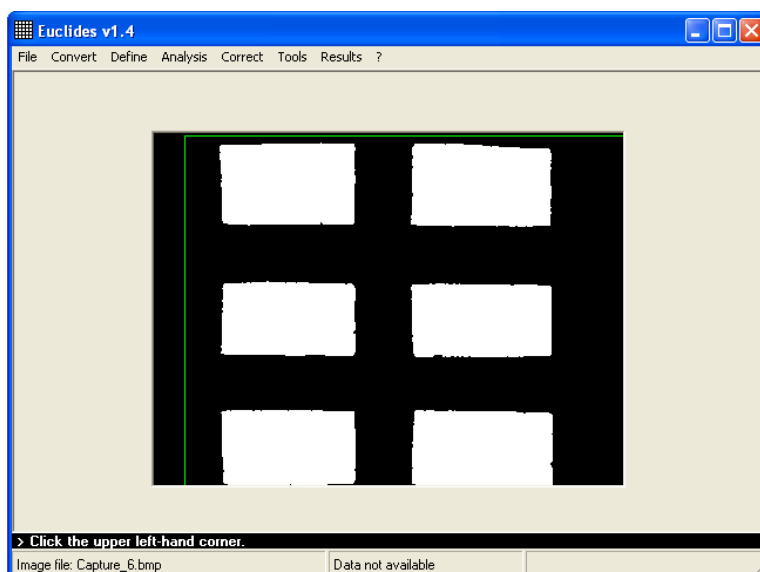


Fig. 11. Definición del margen izquierdo superior.

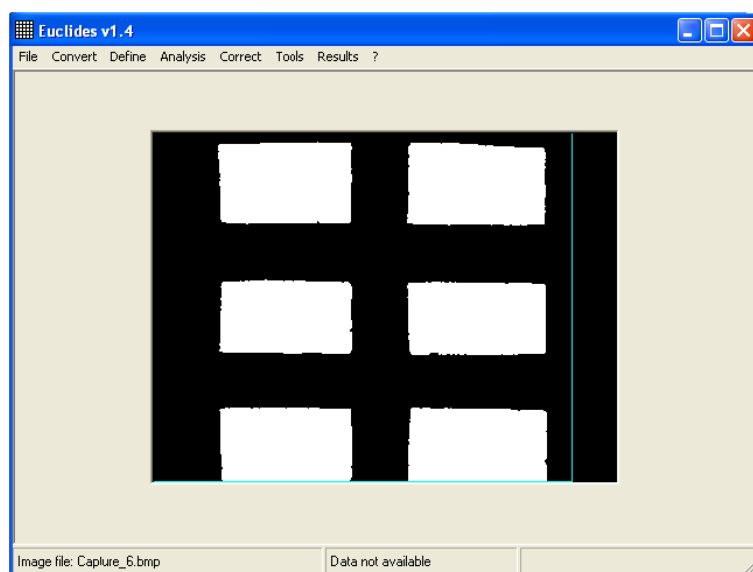


Fig. 12. Definición del margen derecho inferior.

4.2.2.4. Identificación de los vértices y detención de errores

El siguiente paso dentro de la caracterización geométrica de las mallas antiinsectos, consiste en la identificación de los vértices de los poros que conforman la malla, durante esta fase, Euclides v.1.4 (Álvarez, 2009), realiza un barrido de la imagen capturada, marcando sobre la imagen los vértices que identifica con circunferencias de distinto color según el vértice considerado. Seguidamente después de seleccionar los márgenes de la imagen,

seleccionamos en la barra de herramientas la opción *Análisis*, a continuación se desplegará un menú en el cuál debemos de seleccionar la opción *Identificar vértices* (fig. 13).

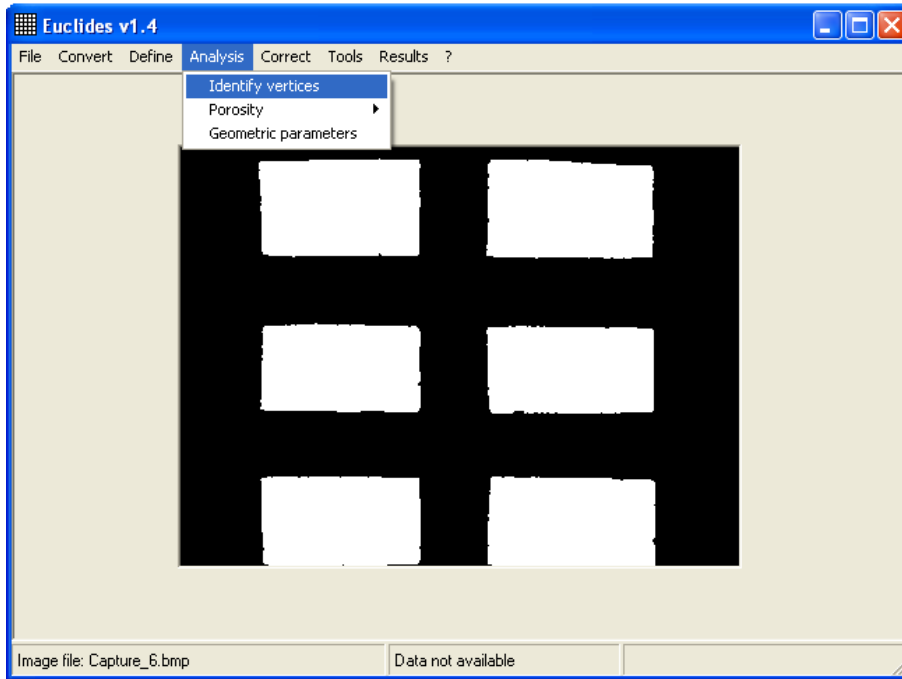


Fig. 13. Identificación de vértices.

Una vez finalizada la identificación de los vértices, se puede observar en la imagen las circunferencias que ha dibujado Euclides v.1.4 (Álvarez, 2009), sobre cada uno de los vértices considerados, mostrándose circunferencias de distintos colores según la posición del vértice. A lo largo del proceso de identificación de los vértices Euclides v.1.4, puede cometer dos tipos de errores: el primer error que puede cometer el programa es la no detección de alguno de los vértices que conforma los poros de la malla a analizar, o la identificación de un vértice inexistente, el segundo error que puede cometer el programa durante este proceso, es la identificación de un vértice en el lugar de otro, es decir, que identifique un vértice derecho inferior en el lugar correspondiente al vértice derecho superior. Debido a este segundo error, cada vértice se marca con una circunferencia, la cual según la posición de cada vértice, es decir, derecho superior, derecho inferior, izquierdo superior e izquierdo inferior, posee un color distinto. Las circunferencias de color celeste representan el vértice derecho superior, el magenta el vértice derecho inferior, el verde el vértice izquierdo inferior y el color amarillo el vértice izquierdo superior (fig. 14).

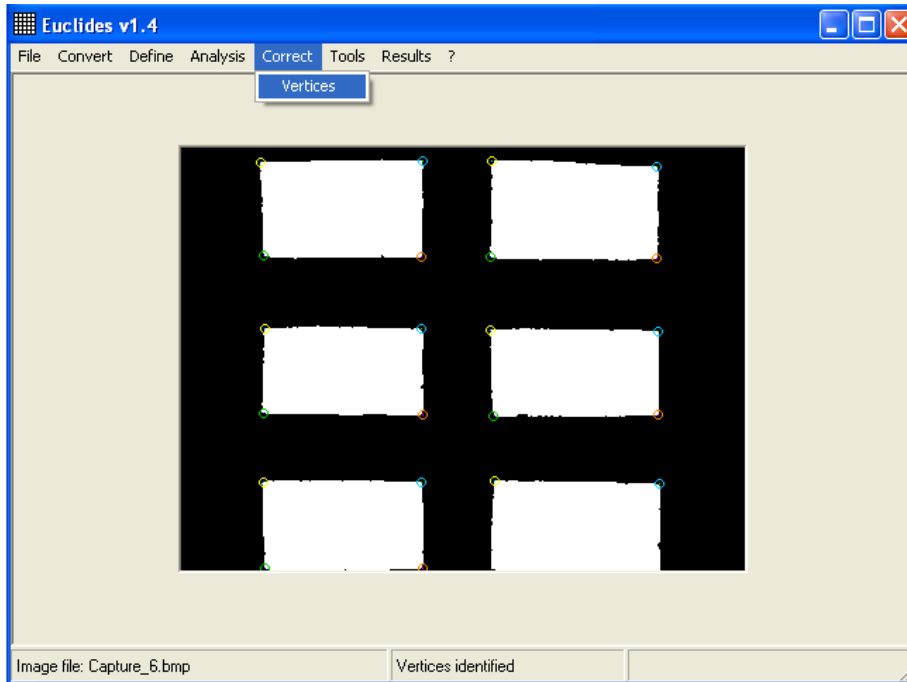


Fig. 14. Resultado final tras la identificación de los vértices, cada uno marcado con su color correspondiente.

A lo largo del proceso de identificación de los vértices puede producirse algún tipo de error, estos errores se pueden paliar, ya que Euclides v.1.4 (Álvarez, 2009) nos permite realizar la corrección de estos errores, a través de la opción *Corregir* presente en la barra de herramientas, una vez seleccionamos la opción *Corregir* se desplegará un menú en el cuál seleccionaremos la opción *Vértices*. Seguidamente se abrirá una segunda ventana que nos muestra una parte de la imagen analizada a tamaño real, conforme movemos el puntero del ratón por la imagen principal, la imagen que aparece en la segunda ventana se va desplazando. La imagen puede ser ampliada por un factor de dos o cuatro con el objetivo de poder identificar el error con mayor facilidad y rapidez. Para corregir los vértices se debe seleccionar la opción *Borrar/Agregar vértices* (fig. 15) presente en la barra de herramientas de la segunda ventana. Al seleccionar esta opción, la imagen se amplía por un factor de cuatro y en el extremo superior izquierdo aparece dibujado un cuadrado que corresponde a la superficie igual a la de un píxel. La superficie que aparece en este cuadrado indica la posición en la cual se agregará o eliminará el vértice. Sobre el extremo superior derecho de la ventana aparece un recuadro en el que se muestra la misma porción de la imagen ampliada pero a tamaño real y sin ningún vértice marcado en ella.

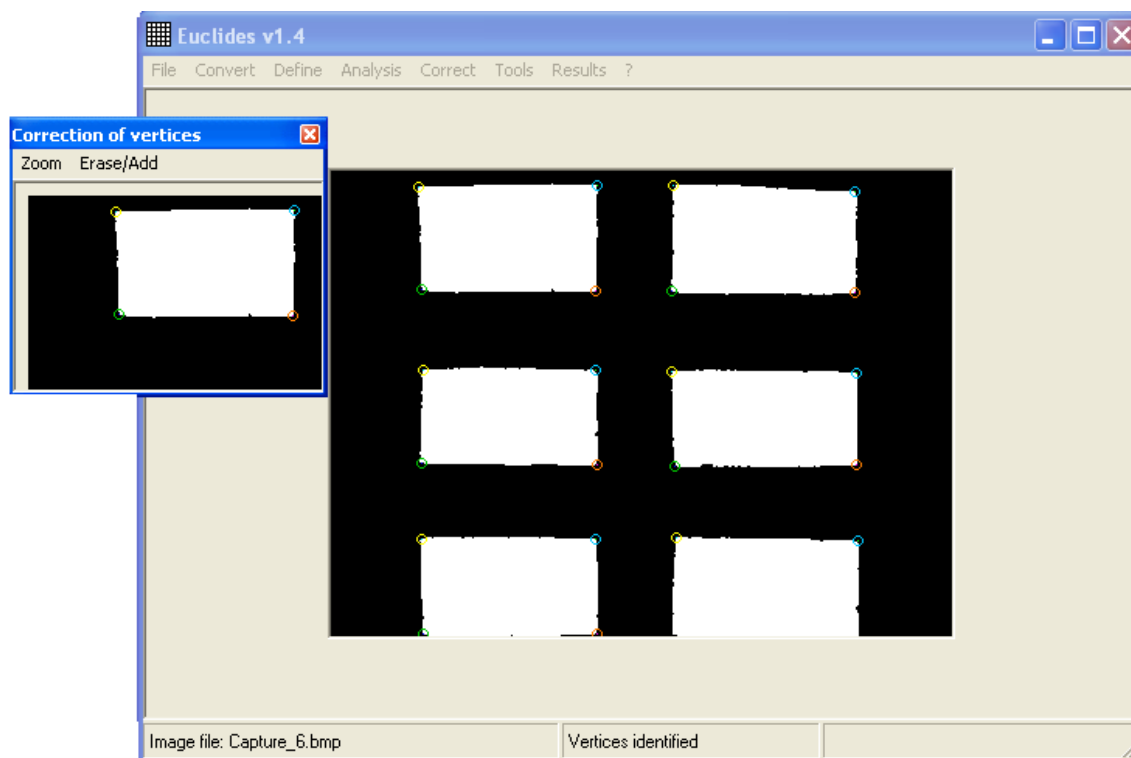


Fig. 15. Corrección de vértices.

Cuando nos encontramos un vértice erróneo, eliminarlo es bastante sencillo, solamente es necesario acercar el puntero del ratón a las proximidades del vértice marcado erróneamente y pulsar el botón principal del ratón. A la hora de agregar un vértice colocaremos el puntero sobre el pixel exacto correspondiente y pulsaremos el botón secundario del ratón.

4.2.2.5. Cálculo de los parámetros geométricos de la malla antiinsectos

Para llevar a cabo el cálculo de los parámetros geométricos de las mallas antiinsectos es necesario obtener anteriormente las coordenadas de los vértices de los poros que conforman la malla antiinsectos, una vez que tengamos estos datos, seleccionamos en Euclides v.1.4 (Álvarez, 2009), la opción *Análisis* de la barra de herramientas, a continuación seleccionaremos la opción *Parámetros geométricos* (fig. 16) del menú desplegable.

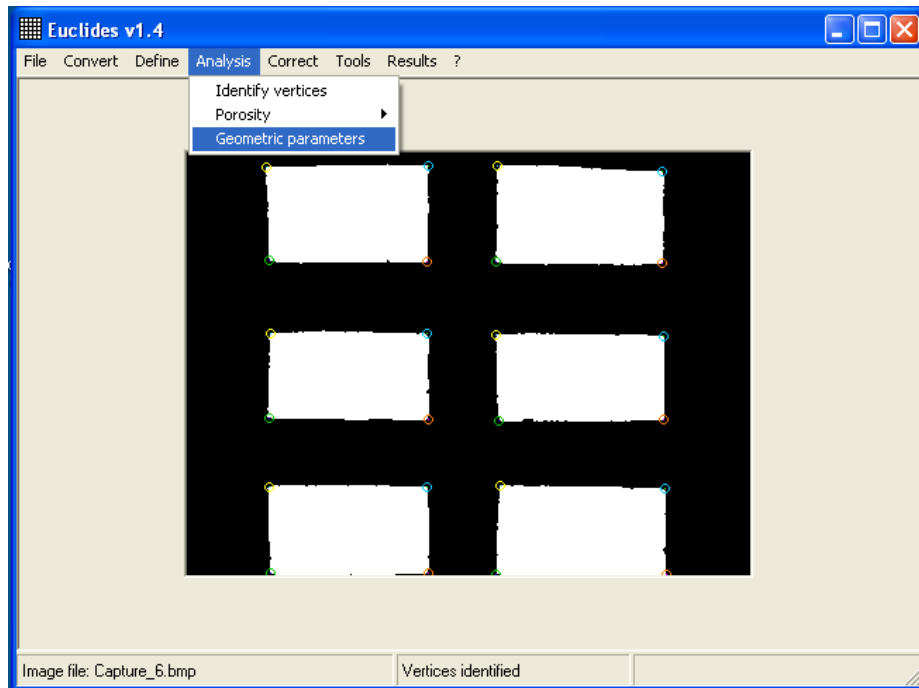


Fig. 16. Cálculo de los parámetros geométricos.

Antes de realizar el cálculo de los parámetros geométricos de la malla antiinsectos a analizar, debemos de calibrar el microscopio y modificar el factor de conversión del programa Euclides v.1.4. (Álvarez, 2009) mediante la opción *Herramientas* que aparece en la barra de herramientas del programa, y seguidamente debemos de seleccionar la opción *Factor de conversión* (fig. 17) del menú desplegable, a continuación emergerá en el programa una segunda ventana en la cual introduciremos el valor obtenido de la calibración del microscopio realizada previamente.

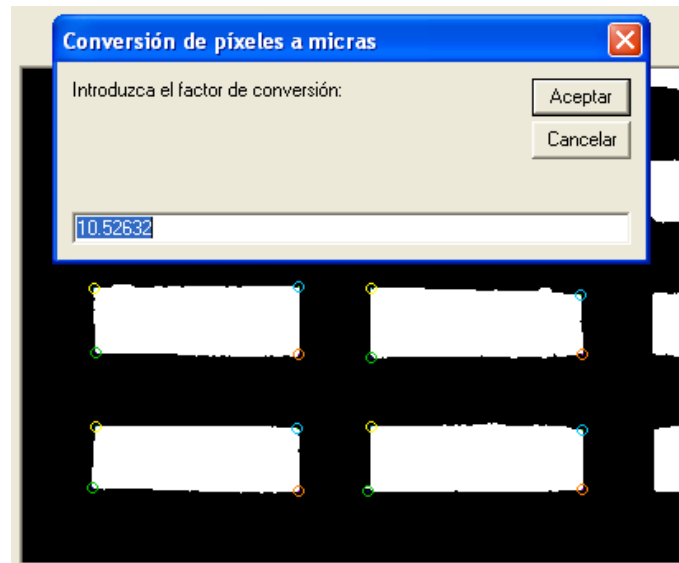


Fig. 17. Modificación del factor de conversión.

Para obtener los resultados de los parámetros geométricos que presenta la malla analizada tenemos que seleccionar la opción *Resultados* de la barra de herramientas del programa y seguidamente elegir la opción *Resumen* del menú desplegable. El programa informático Euclides v.1.4. (Álvarez, 2009), calculará los valores de los parámetros geométricos de la malla antiinsectos analizada: el tamaño de la luz de los poros en la dirección de urdimbre y trama determinados por L_{py} y L_{px} , los grosores de los hilos de urdimbre y trama definidos por D_{hy} y D_{hx} , el área de los poros A_p , y la densidad de los hilos del tejido en las direcciones de urdimbre y trama definidas por ρ_x y ρ_y (fig. 18).

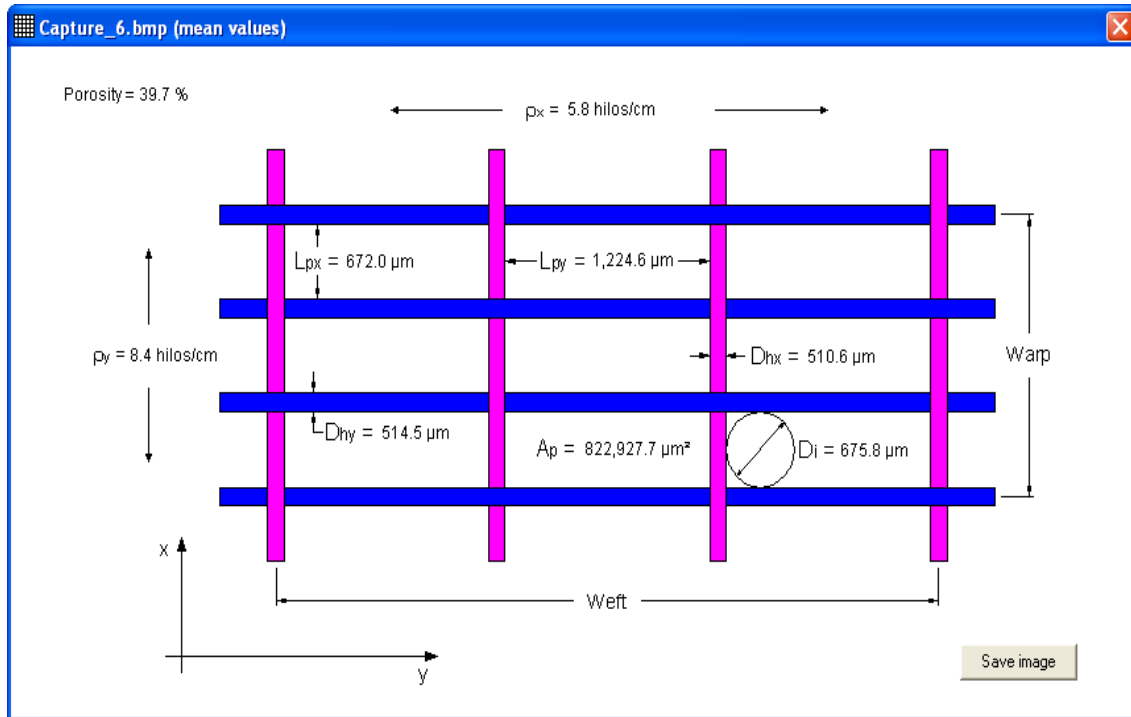


Fig. 18. Resumen de los resultados de los parámetros geométricos de una de las mallas ensayadas que nos ofrece el programa Euclides v.1.4.

4.2.2.6. Cálculo de la porosidad

La porosidad se define como el cociente de la superficie del poro S_p y la superficie total S_T .

$$\alpha = \frac{S_p}{S_T} \quad (1)$$

La superficie del poro se define como el producto entre el tamaño de la luz del poro en la dirección de trama L_{px} y el tamaño de la luz del poro en la dirección de urdimbre L_{py} . La superficie total se calcula como el producto del tamaño de la luz del poro en la dirección de trama más el diámetro del hilo de la dirección de urdimbre ($L_{px} + D_{hy}$) y el tamaño de la luz del poro en la dirección de urdimbre más el diámetro de hilo de la dirección de trama ($L_{py} + D_{hx}$).

Después de obtener los parámetros geométricos de la malla antiinsectos analizadas mediante el programa informático Euclides v.1.4. (Álvarez, 2009) se calculará la porosidad α mediante la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{L_{px}L_{py}}{(L_{px}+D_{hy})(L_{py}+D_{hx})} \quad (2)$$

4.2.2.7. Uniformidad de la malla

La uniformidad de las mallas no puede ser determinada a través de la interpretación de los resultados obtenidos de los parámetros geométricos de la malla, como la medida de la luz del poro (media) y su dispersión (desviación).

Para estudiar la uniformidad de estos tejidos, hemos utilizado los histogramas de frecuencia y el cálculo de los coeficientes de formas, como la curtosis, sesgo y recorrido.

Un histograma de frecuencias es una representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados. De esta forma podemos obtener una visión en conjunto permitiendo observar una tendencia por parte de la muestra. En el eje vertical se representan las frecuencias relativas, y en el eje horizontal los valores de las variables, para determinar la uniformidad de la malla la variable del eje horizontal serán los valores del tamaño del poro en la dirección de trama L_{px} .

La frecuencia relativa N_i , es el cociente entre la frecuencia absoluta f_i de un determinado valor de tamaño del poro y el número total de datos obtenidos N . La frecuencia relativa N_i se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$N_i = \frac{f_i}{N} \quad (3)$$

Obtenido los histogramas de frecuencia de las variables L_{px} y L_{py} estudiaremos los factores de forma definida por la curtosis y el sesgo. La curtosis es una medida que analiza el grado de concentración que presentan los valores de una variable alrededor de la media de dicha variable. Mientras el sesgo determina la asimetría de la distribución de los valores de dicha variable.

El sesgo puede presentar tres tipos de distribuciones (fig. 19); la distribución puede mostrar un sesgo positivo o asimetría positiva cuando en una distribución la minoría de los datos están situados en la parte derecha de la media aritmética, la representación gráfica del sesgo positivo presenta una elevada concentración de valores en la parte izquierda y presenta un alargamiento hacia la derecha que conforme avanza disminuye la concentración de valores. Cuando el sesgo es negativo o presenta una asimetría negativa, la minoría de datos se encuentran situados en la parte izquierda de la media aritmética, es decir, presenta una

elevada concentración de valores en la parte derecha de la gráfica y podemos observar que presenta un alargamiento hacia la izquierda. Cuando el sesgo sea igual a cero, será representado por una distribución simétrica (Oliva, 2013).

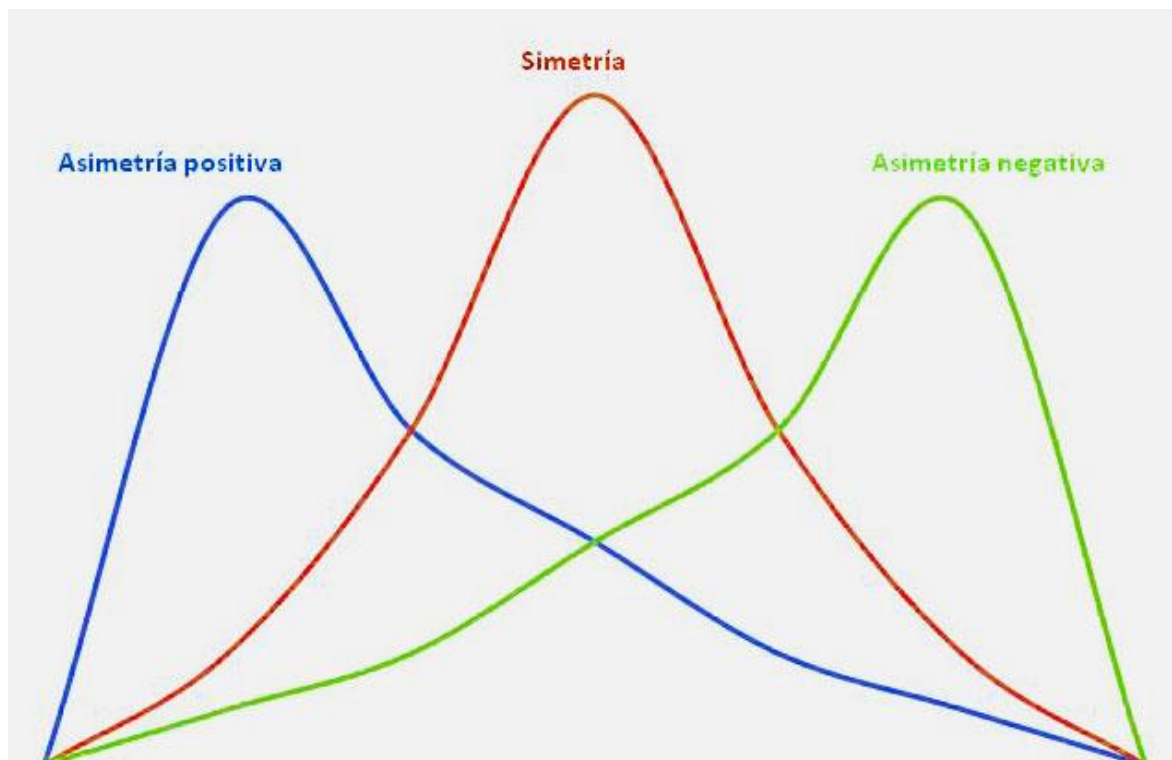


Fig. 19. Tipo de sesgos en una distribución.

La curtosis puede tener diferentes valores (fig. 20), si la curtosis es negativa indica que tiene una distribución platicúrtica, es decir, el histograma de frecuencias presenta un reducido grado de concentración entorno a los valores medios de la variable, y presentaría una distribución aplastada. Cuando se obtiene una curtosis con valores positivos tendrá una distribución leptocúrtica, es decir, el histograma de frecuencias presenta un elevado grado de concentración alrededor de los valores medios de la variable, y presentará una distribución elevada entorno al valor medio.

Por último, si la curtosis es igual a cero presentará una distribución mesocúrtica, que se encuentra en grado intermedio entre la distribución platicúrtica y leptocúrtica, en este caso el histograma de frecuencias presentará un grado de concentración medio alrededor de los valores centrales de la variable. (Oliva, 2013).

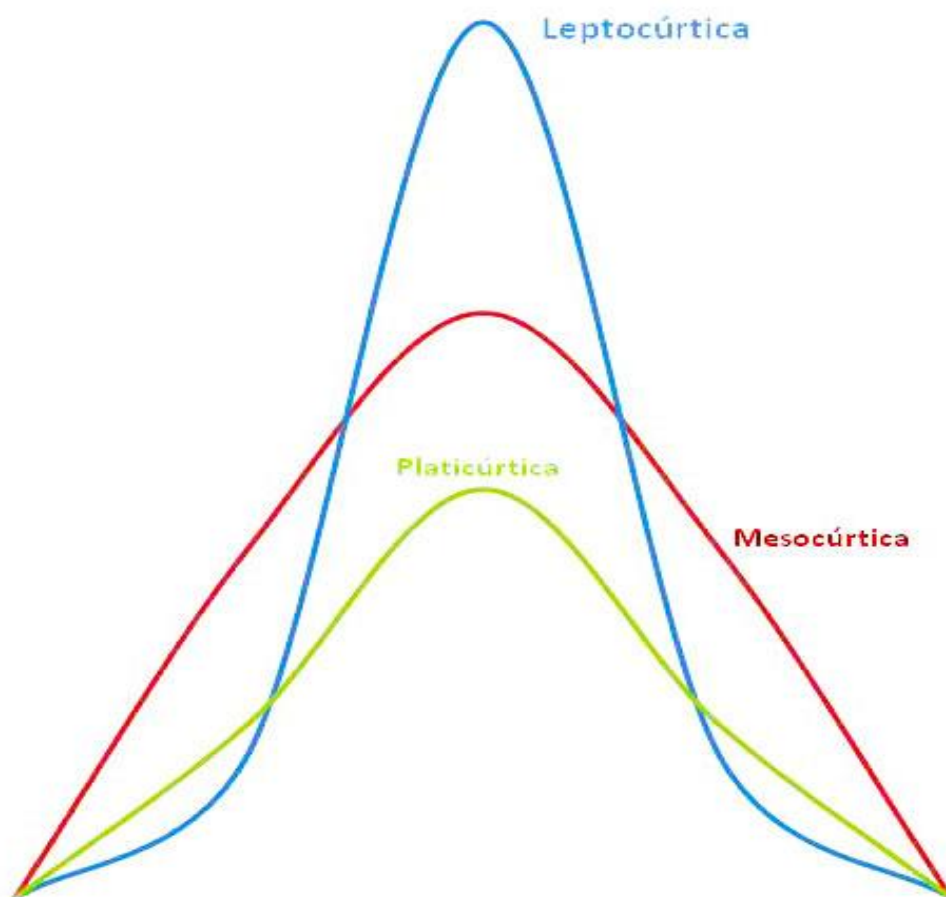


Fig. 20. Tipos de curtosis en una distribución.

4.3. Estudio de la población de *Bemisia tabaci*

4.3.1. Captura y manipulación de *Bemisia tabaci*

El periodo de captura de los individuos de *Bemisia tabaci* utilizados durante los ensayos abarcó desde los meses de octubre a julio. Para proceder a la captura de los individuos adultos de *Bemisia tabaci* se ha utilizado un aspirador entomológico (fig. 21), los individuos de *B. tabaci* han sido capturados sobre el cultivo de berenjena y dispuesto en las jaulas de crías propias de las que dispone el laboratorio de agrotexiles de la Universidad de Almería. El número de insectos capturados para llevar a cabo cada uno de los ensayos realizados osciló entre 120-150.



Fig. 21. Aspirador entomológico.

Una vez finalizado cada uno de los ensayos de evaluación de la eficacia de las mallas antiinsectos frente a *Bemisia tabaci* se procede al anestesiar de los individuos que se encuentran en el dispositivo experimental con el objetivo de facilitar su manipulado y, de esta forma poder realizar el conteo y sexado de las moscas que consiguieron atravesar la malla de las que no lograron atravesarlo. Con este propósito se ha expuesto a los insectos a una dosis de 1 ml de cloroformo durante 30 minutos.

4.3.2. Sexado de *Bemisia tabaci*

La diferenciación a simple vista de los adultos macho y hembra de la especie *Bemisia tabaci* es muy complicada debido a sus similitudes. Por tanto, para poder llevar a cabo la diferenciación entre machos y hembras de esta especie es necesario observarlas mediante el microscopio óptico. Una de las principales diferencias que podemos observar es que las hembras poseen un mayor tamaño que los machos, además presentan un abdomen con una forma globosa, la diferencia más significativa es la presencia en el extremo del abdomen del macho de dos apéndices con forma de gancho denominados claspers o parámetros (fig. 22).



Fig. 22. Vista al microscopio óptico de un individuo macho de Bemisia tabaci, se puede observar bien los claspers o parámetros, dos apéndices con forma de gancho en el extremo del abdomen.

Para poder realizar la determinación del sexo de *Bemisia tabaci* se procedió al anestesiarlo de los insectos mediante 1 ml de cloroformo que se depositaba sobre un vidrio de reloj en el interior del dispositivo experimental. Tras treinta minutos de espera y previa observación de que las moscas se encontraban anestesiadas, se realizaba el conteo y sexado de las diferentes poblaciones de *B. tabaci* bajo el microscopio. El sexado de las moscas se realizó a las que consiguieron atravesar el textil y las que no lograron atravesarlo.

Cada ensayo realizado estaba compuesto por una población formada entre 120-150 individuos.

4.4. Descripción de los ensayos

4.4.1. Eficacia de las mallas frente a *Bemisia tabaci*

La evaluación de la eficacia de las mallas antiinsectos utilizadas en el presente trabajo, se llevarán a cabo mediante un dispositivo experimental que permite ensayar dichas mallas en presencia de adultos de *Bemisia tabaci* a diferentes velocidades de aire. Al inicio del ensayo se introducen los individuos adultos de *Bemisia tabaci* a través de un pequeño orificio practicado en la parte superior de la primera cámara del dispositivo experimental.

Entre la primera y la segunda cámara colocamos la malla antiinsectos que deseamos evaluar durante el ensayo. En el interior de la segunda cámara colocamos un estímulo alimenticio junto con uno luminoso con el objetivo de estimular el paso de los insectos a través de la malla ensayada y evitar que vuelvan a la primera cámara. Entre el segundo y el tercer compartimento colocamos un tejido muy tupido que permita el flujo del aire pero evite el paso de los insectos a la tercera cámara. En el interior de la tercera cámara se colocará un termo-anemómetro para medir la velocidad del aire y registrar los valores de temperatura. Al final de este tercer compartimento habrá un ventilador que provocará la corriente de aire a lo largo del dispositivo. El número de individuos utilizados en cada repetición osciló entre 120-150 insectos. El tiempo de duración de cada uno de los ensayos realizados ha sido de 24 horas y una vez transcurrido este periodo se ha introducido 1 ml de cloroformo sobre un vidrio de reloj colocado en el interior de la primera cámara, con el objetivo de anestesiar y posteriormente matar a los insectos (Álvarez y Oliva, 2014).

Una vez transcurridas las 24 horas y finalizado el ensayo, se ha procedido al conteo y sexado de las moscas utilizadas en cada repetición, en la primera cámara se encuentran las moscas blancas que no han logrado pasar a través del textil ensayado. En la segunda cámara encontraremos las moscas blancas que han conseguido atravesar el textil.

Finalmente procedemos al recuento del número de insectos presentes en cada una de las cámaras para poder calcular el porcentaje de exclusión conseguido por la malla antiinsectos. Para realizar el recuento de las moscas, colocamos las moscas que se encuentran en el interior de cada una de las cámaras, en un puesto de trabajo sobre una base de color negro y una plantilla enumerada. En una de las plantillas de conteo colocamos las moscas que han logrado atravesar el textil y en la otra las que no lograron atravesarlo (fig. 23).

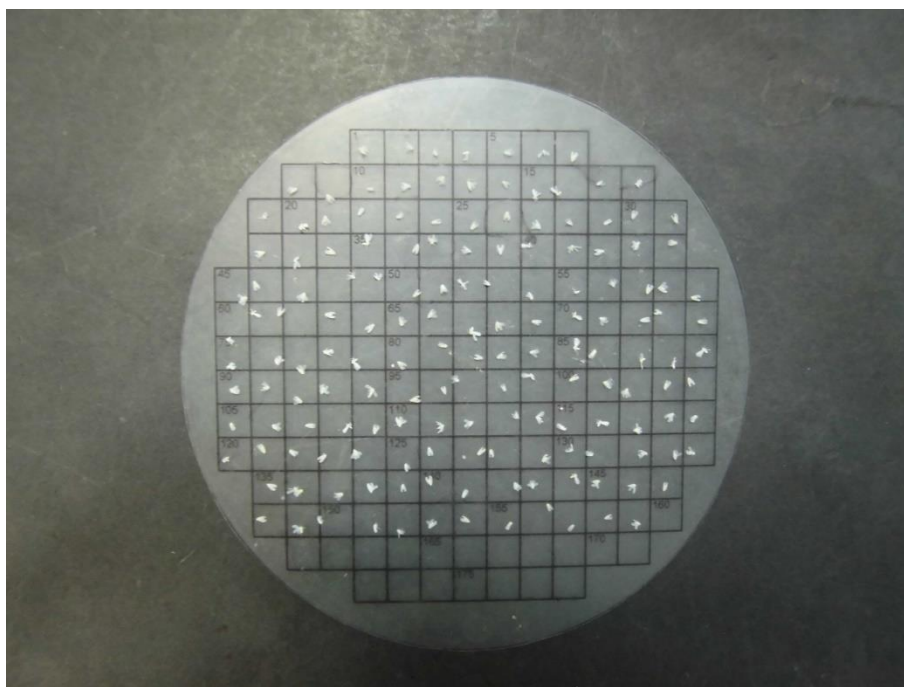


Fig. 23. Conteo de los individuos de *Bemisia tabaci* sobre una plantilla enumerada.

El cálculo del coeficiente de exclusión se ha obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$\theta = \frac{\sum p_i}{\sum r_i + p_i} = \frac{\sum p_i}{\sum T_i} \quad (4)$$

Donde p_i es el número de individuos que consiguen atravesar la malla y el coeficiente r_i es el número de moscas que no logran atravesar la malla ensayada. La población total está definida por el coeficiente T_i , durante la realización de los ensayos su valor ha oscilado entre 100 y 150 individuos (Oliva, 2013).

4.4.2. Características de los ensayos

Cada una de las mallas antiinsectos ha sido ensayada a diferentes velocidades de aire, comprendidas entre 0 m s^{-1} hasta 3 m s^{-1} de máxima. Para cada una de las mallas estudiadas se han realizado tres repeticiones a la velocidad determinada para conferir a los ensayos validez estadística.

A continuación en la tabla adjunta se resume los tipos de mallas estudiadas, además de la densidad de hilos especificada por el fabricante y las velocidades de aire a las que se han ensayado.

Tabla 3: Mallas ensayadas con las densidades de hilos que presentan y las velocidades teóricas.

Malla	Densidad de hilos	Velocidad teórica
	$\rho_x \times \rho_y$ (hilos cm^{-2})	m s^{-1}
		0
BP01	10x20	1,5
		3
		0
GI02	9x21	1,5
		3
		0
CP14	8x20	1,5
		3
		0
GI03	9x16	0
LP05	8x16	0
21	10x16	0

Mediante el programa informático Bóreas v.1.3, se ha realizado el control de la velocidad y la temperatura. Al inicio de los ensayos es necesario especificar en el programa la velocidad del flujo de aire. La velocidad se ha controlado de forma manual en la opción del *Variador de frecuencia*, con el fin de conseguir la velocidad determinada.

Las lecturas se realizaban con un intervalo de tiempo de 60 segundos, además ha sido necesario seleccionar el fondo de escala del anemómetro, el cual se va a utilizar durante los ensayos, con el objetivo de mejorar la precisión de los valores de velocidad.

4.4.3. Descripción del dispositivo experimental

Para la evaluación de eficacia de las mallas antiinsectos en condiciones de laboratorio frente a *Bemisia tabaci*, se requiere un diseño experimental que permita evaluar el paso de los insectos a través de la malla antiinsectos ensayada a diferentes velocidades de aire. El dispositivo experimental (fig. 24) utilizado está dividido en tres cámaras o compartimentos unidos mediante una pareja de bridas, los compartimentos consisten en un tubo transparente de PVC con un diámetro de 11,05 cm.

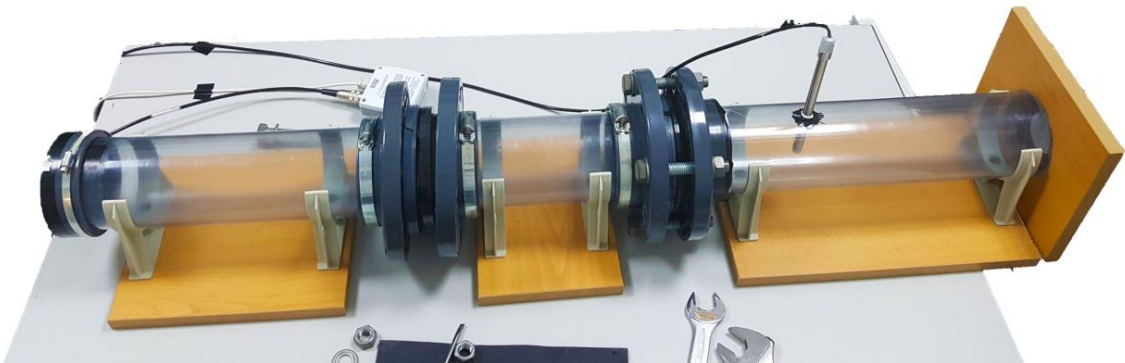


Fig. 24. *Dispositivo experimental.*

La primera cámara tiene una longitud de 40 cm, se le denomina cámara oscura, ya que durante la realización de los ensayos se recubre con una lámina de plástico de color negro. La segunda cámara tiene una longitud de 30 cm, se le denomina cámara iluminada y la tercera cámara de la que consta el dispositivo tiene una longitud de 46,5 cm. En la unión entre el primer compartimento y el segundo se intercala la muestra del textil que se va a ensayar, la unión entre los dos compartimentos se realiza mediante una brida. El segundo compartimento o cámara iluminada, es iluminada con un tubo fluorescente Philips TL-D de 36w, con el objetivo de ser un atractivo visual para los insectos. El segundo compartimento y el tercero también son unidos mediante una brida en la cual se intercala un tejido poroso por el cual pasa el flujo de aire pero impide el paso de los insectos. En la tercera cámara se localiza el anemómetro de lámina caliente mediante el cual se mide la velocidad y temperatura. El flujo

de aire a través del dispositivo es generado por un pequeño ventilador de corriente continua NMB-4715KL (NMB Technologies Inc., Chatsworth, USA) se localiza en el extremo de este compartimento (Oliva, 2013).

4.4.4. Equipos de medida y control

4.4.4.1. Anemometría de lámina caliente

El anemómetro de lámina caliente utilizado durante la realización de los ensayos presentes en este proyecto está ubicado en la tercer compartimento del dispositivo experimental, este se localiza a 150 mm de la brida que une el segundo compartimento con el tercer compartimento. El anemómetro de lámina caliente utilizado en estos ensayos es el modelo EE70-VT32C5 (Elektronik Engerwitzdort, Austria).

El rango de medida que presenta este anemómetro es de 0 a 10 m s⁻¹ y cuenta con una precisión de 0,1 m s⁻¹. Una falta de alineación inferior a 10° entre la lámina del sensor y la dirección del flujo de aire se traduce en errores inferiores a 0,3 m s⁻¹ para velocidades del flujo de 10 m s⁻¹ (Oliva, 2013).

El anemómetro de lámina caliente utilizado durante los ensayos permite medir también la temperatura del aire en un intervalo comprendido entre 0 y 50 °C, para temperaturas de 20 °C presenta una sensibilidad de ±0,5 °C (Oliva, 2013).

4.4.4.2. Controlador del ventilador de corriente continua

En el extremo de la tercera cámara del dispositivo experimental se encuentra ubicado el ventilador de corriente continua (fig. 25). Para su funcionamiento se utiliza un motor de corriente continua (12V).

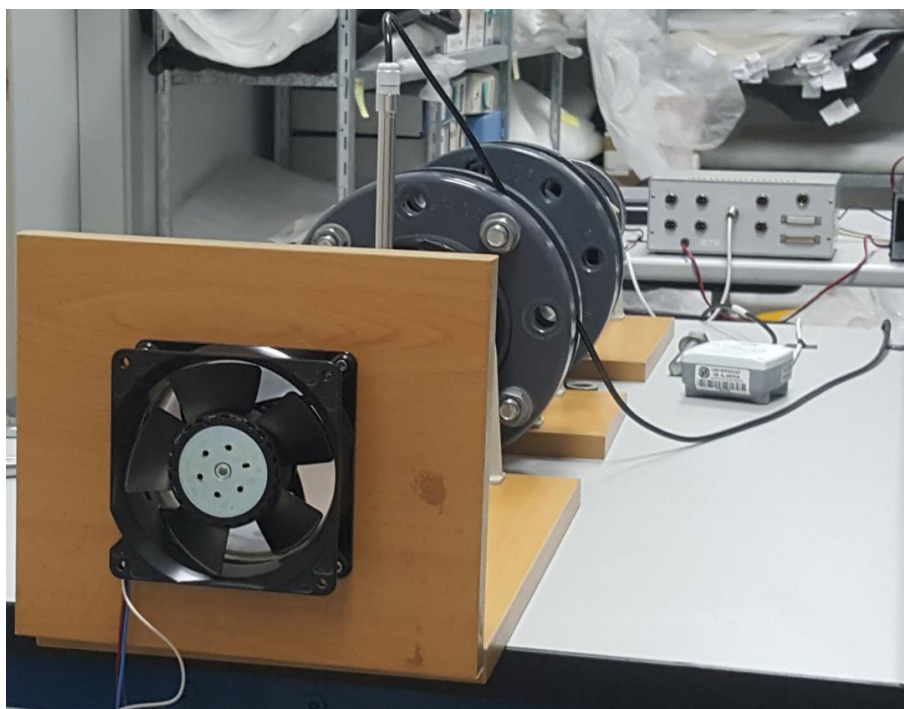


Fig. 25. Ventilador corriente continua del dispositivo experimental.

Por este motivo no es posible controlar la velocidad de giro del motor mediante un variador de frecuencia, para solucionar este problema, la alimentación del ventilador proviene de provocar recortes en el suministro de corriente (Álvarez, 2009).

Los recortes en la corriente eléctrica de alimentación del motor se realizaron sobre un circuito eléctrico diseñado con este propósito. La base de su funcionamiento consiste en generar un valor suficientemente alto de frecuencia de onda que en combinación con la propia inercia del motor implican unas condiciones estables de la corriente de aire en el dispositivo experimental (Álvarez, 2009).

Desde el programa Bóreas v.1.3 se envía la señal para que el ventilador funcione a la velocidad determinada para cada uno de los ensayos.

4.4.4.3. Unidad para la adquisición de datos

La unidad para la adquisición de datos consiste en tomar los datos de forma real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser operados por parte del ordenador (sistema digital). Su funcionamiento consiste en recoger un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas para que puedan ser procesadas por el ordenador.

Durante los ensayos realizados, la adquisición de datos se ha utilizado para medir la temperatura y velocidad del aire en el dispositivo experimental durante la realización de los ensayos. Para medir dichos parámetros durante el transcurso de los ensayos, se utilizará un anemómetro de lámina caliente como sensor para convertir las propiedades físicas en una señal eléctrica medible, en este caso, en tensiones de salida comprendidas entre 0 y 10 V.

La tarjeta de adquisición de datos será el elemento que convertirá la señal eléctrica de la medida de las propiedades físicas en señal digital para que puedan ser procesadas por el programa informático Bóreas v.1.3 (Oliva, 2013).

4.4.4.4. Gestión del dispositivo experimental

El objetivo de la gestión del dispositivo experimental persigue conseguir el control automático sobre el valor de la velocidad del aire y sobre la lectura de las señales procedentes de los equipos de medida.

Para la gestión del dispositivo experimental se ha utilizado el software Bóreas v.1.3 que permite controlar la velocidad de giro del motor que mueve las hélices del ventilador mediante el controlador para el ventilador de corriente continua. La automatización del control de la lectura de las señales eléctricas emitidas por los sensores está gestionada por la unidad para la adquisición de datos.

En primer lugar se mide a través del dispositivo de medición (anemómetro de lámina caliente) las señales analógicas que en este caso son la temperatura y la velocidad, determinadas por tensiones de salida medibles en voltios.

Este valor resultante medido en voltios se convierte a una cantidad digital por medio de un convertidor analógico-digital denominado tarjeta de adquisición de datos. La señal digital será procesada por el programa informático Bóreas v.1.3.

La salida digital se convierte nuevamente a través de la tarjeta de adquisición de datos en una cantidad analógica. Esta salida analógica alimenta a un controlador que en nuestro caso es el motor que mueve las hélices de nuestro ventilador para ajustar la velocidad.

El programa Bóreas v.1.3 permite la completa automatización del proceso del ensayo; la única intervención del usuario consiste en la colocación de las muestras en la sección de

ensayos del dispositivo experimental y en la definición previa de los parámetros que configuran el ensayo (Oliva, 2013).

4.5. Tridimensionalidad de los poros

La tridimensionalidad de los poros de las mallas antiinsectos, consiste en analizar la superficie hueca que dejan los hilos de trama y urdimbre entre sí, debido a que los hilos de la dirección de trama y urdimbre van tejidos, por tanto, al tejer un hilo sobre otro se crea una superficie tridimensional en los vértices del poro. Consecuentemente, la superficie del poro no la podemos considerar una superficie plana, por lo cual desde el punto de vista de la exclusión de insectos debemos de considerar la estructura tridimensional de los poros, en vez, de su proyección ortogonal.

Por tanto, analizando las mallas antiinsectos teniendo en cuenta la tridimensionalidad de los poros, las dimensiones más limitantes a la hora de diseñar una malla desde el punto de vista de la exclusión de insectos ya no será la separación de los hilos de urdimbre que viene definida por el ancho de poro L_{px} que representa la medida en proyección ortogonal sino ahora debemos de considerar unas dimensiones superiores que van a ser determinada por la disposición espacial de estos hilos.

Las medidas espaciales del poro vienen determinadas por los valores de la distancia d_1 , la cual se encuentra definida por los puntos p_1 y p_2 , la distancia d_2 viene dada por la posición de los puntos q_1 y q_2 y, por último, la distancia d_3 determinada por los puntos r_1 y r_2 (Oliva, -).

La distancia d_1 representa la máxima separación de dos hilos de urdimbre en el contexto de un poro, la distancia d_3 viene dada por el ancho del poro L_{px} medido en proyección ortogonal y la distancia d_2 es el valor medio de las distancias d_1 y d_3 .

Estas distancias han sido obtenidas según el método aproximado descrito por Álvarez (2009) mediante las siguientes expresiones:

$$d_1 = \sqrt{L_{px}^2 + (\Delta x + D_{hy})^2} \quad (5)$$

$$d_2 = \sqrt{L_{px}^2 + \left(\frac{\Delta x - D_{hy}}{2}\right)^2} \quad (6)$$

$$d_3 = L_{px} \quad (7)$$

donde L_{px} es la dimensión de la luz en la dirección de trama, Δx es el espesor de la malla y D_{hy} es el diámetro de los hilos en la dirección de urdimbre.

A la hora de calcular el espesor que presentaban las distintas mallas antiinsectos utilizadas en los ensayos se ha utilizado un micrómetro digital (Micromaster easy, TESA). Los valores de la dimensión de la luz en la dirección de trama L_{px} y el diámetro de los hilos de urdimbre D_{hy} han sido determinados por el software Euclides v.1.4. (Álvarez, 2009).

5. Resultados y discusión

5.1. Caracterización geométrica de la malla antiinsectos

5.1.1. Introducción

Las características geométricas de las mallas antiinsectos son de gran importancia, ya que tienen una estrecha relación con la exclusión de los insectos, además de una gran influencia en el flujo de aire que circulará en el interior del invernadero a través de las ventanas que se instalan en este. El presente trabajo se centrará en el estudio de las mallas antiinsectos, centrándose en el primer objetivo expuesto anteriormente, la exclusión de insectos.

Actualmente, el control de calidad que se realiza a las mallas antiinsectos es casi inexistente. Una muestra de ello es que la información técnica que aportan los fabricantes a los agricultores, es muy reducida, se limita únicamente a la densidad teórica (no contractada mediante análisis) de los hilos en las direcciones de trama y urdimbre. Por ahora, es difícil disponer de información sobre otros parámetros de las características geométricas de las mallas antiinsectos como las dimensiones del poro, la porosidad, el diámetro de los hilos, etc. Por tanto, generalmente hoy en día en el mercado no existe ninguna diferencia entre una malla de 10x20 hilos cm^{-2} tejida con fibras de 200 μm de grosor y otra malla con igual densidad de hilos pero con fibras de 250 μm de grosor.

5.1.2. Parámetros geométricos de las mallas antiinsectos

El estudio de las dimensiones y geometría de las mallas antiinsectos utilizadas durante los ensayos, se ha realizado sobre cinco muestras, elegidas al azar, con una superficie de 1 cm^2 para cada una de las seis mallas antiinsectos ensayadas.

Entre las mallas seleccionadas para ser estudiadas hay una representación de distintas densidades teóricas cuyos valores son proporcionados por los fabricantes. La mayoría de fabricantes no aportan los datos técnicos de los parámetros geométricos de las mallas antiinsectos como; el grosor de los hilos y las dimensiones de los poros. Los cuales son importantes para determinar el valor de la eficacia teórica de una malla anti-insectos.

Mediante el programa informático Euclides v.1.4 y el procedimiento descrito en el apartado de Materiales y Métodos, se han obtenido las densidades de hilo medias y el grosor medio de los hilos para cada uno de los textiles.

Los valores de las densidades teóricas y de las densidades medias (ρ_y y ρ_x), además del grosor de los hilos en la dirección de trama y urdimbre (D_{hx} y D_{hy}), son representados en la siguiente tabla:

Tabla 4: Densidades teóricas y medias y grosor de hilos en dirección de trama y urdimbre de las mallas antiinsectos.

Malla	Densidad teórica	Densidad media	Grosor hilos dirección trama	Grosor hilos dirección urdimbre
	$\rho_y \times \rho_x$ (hilos cm ⁻²)	$\rho_y \times \rho_x$ (hilos cm ⁻²)	D_{hx} (μm)±Δ	D_{hy} (μm)±Δ
1	20x10	21,4x10,3	240,4±8,8	243,6±9,9
2	21x9	20,8x8,8	234,0±6,4	232,9±7,8
3	20x8	19,8x7,7	264,3±22,3	280,2±18,8
4	16x9	16,6x9,0	244,6±7,5	245,4±7,5
5	16x8	16,2x7,7	266,1±11,9	268,2±15,6
6	16x10	16x10,4	272,0±9,1	269,9±20,2

Generalmente, los fabricantes de mallas antiinsectos diseñan los textiles con el criterio de obtener mallas con poros de geometría rectangular para impedir el paso de los insectos a través de esta. Para conseguir poros de geometría rectangular, se aumenta la densidad de los hilos en la dirección de urdimbre respecto a la densidad de los hilos en la dirección de trama. Lo que se pretende conseguir mediante este tipo de diseño es evitar el paso de los insectos a través de la malla produciendo en esta el denominado efecto cárcel que se basa en la siguiente idea: se considera que el cuerpo del insecto tiene forma cilíndrica y, por tanto, limitando una de las dimensiones del cuerpo de los insectos se evita la posibilidad de que logre atravesar la malla.

Al observar la tabla 4 vemos que las seis mallas antiinsectos utilizadas en el presente trabajo siguen los criterios de diseño del denominado efecto cárcel para conseguir una geometría del poro rectangular, por tanto, presentan mayor densidad de hilos en la dirección de urdimbre que en la dirección de trama. Estos tejidos han sido clasificados en dos grupos según la densidad de hilos que presentan en la dirección de urdimbre, de esta forma tendríamos un grupo constituido por tres mallas que tienen una media de 20 hilos en la

dirección de urdimbre y otro grupo formado por tres mallas que presentan 16 hilos en la dirección de urdimbre.

Podemos apreciar en la tabla 4 que no existen diferencias significativas entre las densidades teóricas y las densidades medias de las mallas ensayadas, solamente en el caso de la malla número 1 en la dirección de urdimbre está diferencia llega a ser superior a 1 hilo cm^{-1} en las demás mallas estudiadas las diferencias no son significativas. Estas desviaciones que pueden producirse en las densidades de hilos que presentan las mallas, son positivas en los casos que los hilos dispuestos por unidad de longitud sean superiores al teórico, en cambio, son negativas cuando los hilos dispuestos por unidad de longitud son inferiores al teórico. Otro parámetro representado en la tabla 3 son los grosores de los hilos en la dirección de urdimbre y trama, en los cuales no existen diferencias significativas.

Los valores medios de la luz de los poros (L_{px} y L_{py}) y su desviación estándar (Δ), para cada una de las mallas estudiadas, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5: Dimensiones de la luz de poro en las direcciones de trama y urdimbre de cada una de las mallas antiinsectos.

Malla antiinsectos	Densidad teórica	Luz en la dirección de trama	Luz en la dirección de urdimbre
	$\rho_y \times \rho_x$ (hilos cm^{-2})	L_{px} (μm) $\pm\Delta$	L_{py} (μm) $\pm\Delta$
1	20x10	224,1 \pm 15,9	730,4 \pm 30,0
2	21x9	248,2 \pm 27,9	901,9 \pm 40,7
3	20x8	225,4 \pm 28,4	1029,4 \pm 18,8
4	16x9	357,9 \pm 29,5	870,9 \pm 28,1
5	16x8	351,2 \pm 39,5	1028,8 \pm 29,1
6	16x10	355,4 \pm 29,2	687,4 \pm 70,6

Como se puede observar en la tabla 5, debido al criterio de diseño seguido por los fabricantes de obtener mallas con un mayor número de hilos en la dirección de urdimbre respecto a la dirección de trama para tratar de obtener mallas con geometría rectangular, ha provocado que todas las mallas estudiadas presenten un mayor tamaño de luz de poro en la dirección de urdimbre respecto al tamaño de la luz de poro en la dirección de trama. Al observar la tabla anterior, se puede ver que en algunas mallas la luz de poro en la dirección de

urdimbre llega a ser tres veces mayor respecto al tamaño de la luz de poro en la dirección de trama, como se puede apreciar en las mallas número 3 y 5.

5.1.3. Determinación de la uniformidad de las mallas antiinsectos

La uniformidad de las mallas antiinsectos no se pueden afirmar por las medidas del tamaño de la luz del poro media (L_{px} y L_{py}) y su desviación estándar (Δ). Tampoco podemos asegurar su uniformidad observando las imágenes capturadas mediante el microscopio de las mallas que presentan una elevada densidad de hilos, ya que resulta muy dificultoso percatarse de los defectos que presentan dichas mallas.

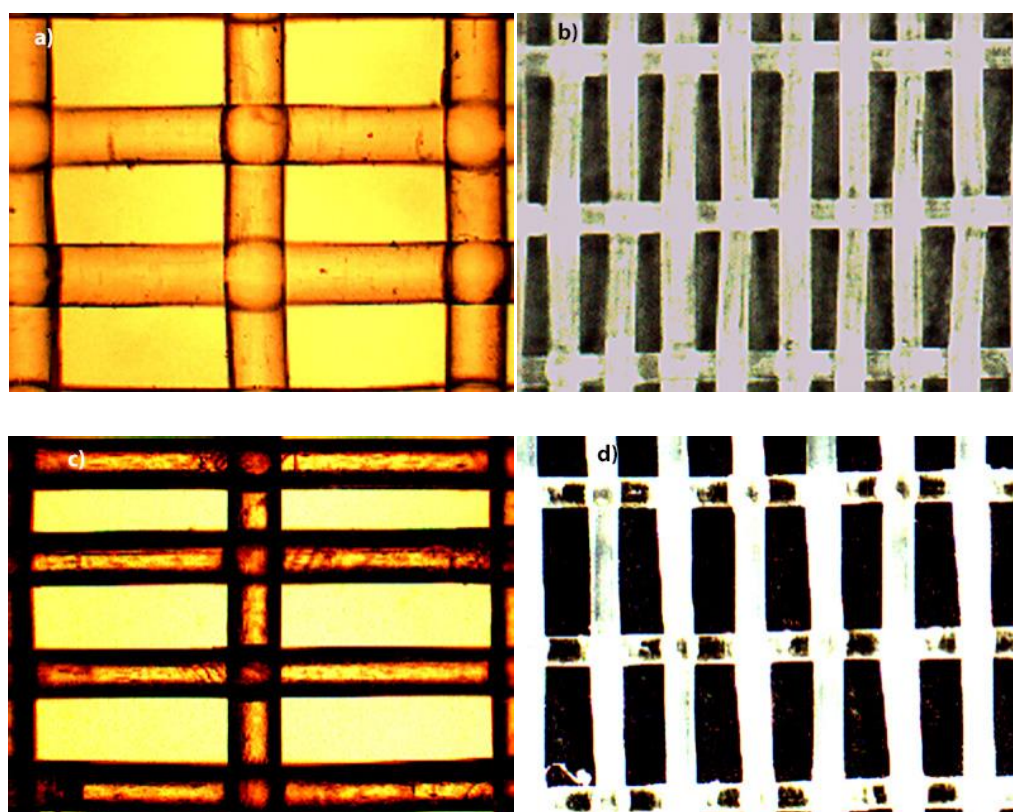


Fig. 26. Imágenes capturadas con el microscopio de las mallas antiinsectos a) malla número 6, b) malla número 3, c) malla número 2, d) malla número 5.

Por tanto, para analizar la uniformidad de una malla antiinsectos utilizamos los histogramas de frecuencia ya que nos pueden revelar los defectos que presentan las mallas. La elección del número de intervalos de clase es fundamental, ya que un número reducido de intervalos puede obtener una impresión visual de la distribución de las mediciones insuficiente para analizar con garantía la dispersión de datos.

La determinación del número de intervalos y los histogramas de frecuencia de las mallas estudiadas en dicho trabajo se muestran en el Anexo. En los ensayos realizados se ha elegido el criterio de elección de 20 intervalos de clases, para observar de forma representativa la dispersión de datos.

Para determinar la relación entre los defectos de fabricación de los tejidos y la capacidad de exclusión de las mallas ensayadas, se ha realizado un análisis de la distribución de las medidas del tamaño de la luz de poro en la dirección de trama L_{px} mediante histogramas de frecuencias.

Se ha seleccionado el valor del tamaño de la luz del poro en la dirección de trama L_{px} ya que está será la medida que limitará el paso de *Bemisia tabaci* a través de la malla antiinsectos, por tanto, determinará la eficacia teórica del tejido.

En la siguiente tabla, se muestran los valores de sesgo, curtosis y recorrido, obtenidos mediante el histograma de frecuencias de la variable L_{px} para cada uno de los textiles ensayados:

Tabla 6: Valores del sesgo, curtosis y recorrido de los histogramas de frecuencia del tamaño de la luz del poro en la dirección de trama L_{px} de las mallas antiinsectos ensayadas.

Malla	Densidad teórica	Luz en dirección de trama	Recorrido	Sesgo	Curtosis	CV
	$\rho_y \times \rho_x$ (hilos cm^{-2})	L_{px} (μm) $\pm \Delta$				
1	20x10	224,1 \pm 15,9	101,9	-0,20	-0,32	7,1
2	21x9	248,2 \pm 27,9	181,2	0,63	1,24	11,2
3	20x8	225,4 \pm 28,4	181,3	0,05	-0,16	12,6
4	16x9	357,9 \pm 29,5	152,8	0,16	-0,56	8,3
5	16x8	351,2 \pm 39,5	236,8	0,41	1,04	11,2
6	16x10	355,4 \pm 29,2	546,8	-0,87	20,13	8,2

El recorrido analiza la distancia que hay desde el valor de L_{px} más pequeño que presentan las mallas analizadas hasta el valor máximo de L_{px} , por tanto, cuanto más pequeño sea el valor de recorrido que obtengamos, a priori, mejor resultados de uniformidad van a presentar las mallas.

Según los valores de recorrido obtenido de las mallas antiinsectos analizadas, podemos dividir las mallas en dos grupos. El primer grupo estará formado por las mallas número (1, 2, 3 y 4), que presentan un recorrido comprendido entre 100-200 μm y el segundo grupo está formado por las mallas número 5 y 6 que presentan un valor de recorrido superior a 200 μm . Es destacable el resultado obtenido para la malla antiinsectos número 6, con un recorrido muy elevado, con un valor de 546,8 μm .

La curtosis analiza el grado de concentración que presentan los valores entorno a los valores medios de L_{px} que muestran las mallas antiinsectos analizadas. Si la curtosis tiene un valor positivo como es el caso de las mallas número (2 (fig. 27), 5 (fig. 28), 6 (fig. 29)), presentan una distribución leptocúrtica, es decir, el histograma de frecuencias presenta un elevado grado de concentración de los valores entorno al valor medio de la variable L_{px} , por tanto, podemos decir que estas mallas presentan una mayor uniformidad. Son destacables los resultados obtenidos para la malla antiinsectos número 6. Este tejido presenta un recorrido muy grande. Sin embargo, el valor de curtosis es muy positivo (20,13). Como se observa en el histograma de frecuencias, la mayoría de los poros presentan un valor de ancho de poro muy cercano a la variable media, sólo algunos pocos intervalos han presentado valores de ancho de poro muy alejados de este valor medio. Este análisis demuestra que existe un problema durante la fabricación del textil debido, probablemente, a que el peine esté deteriorado por el uso y le falten algunas payetas.

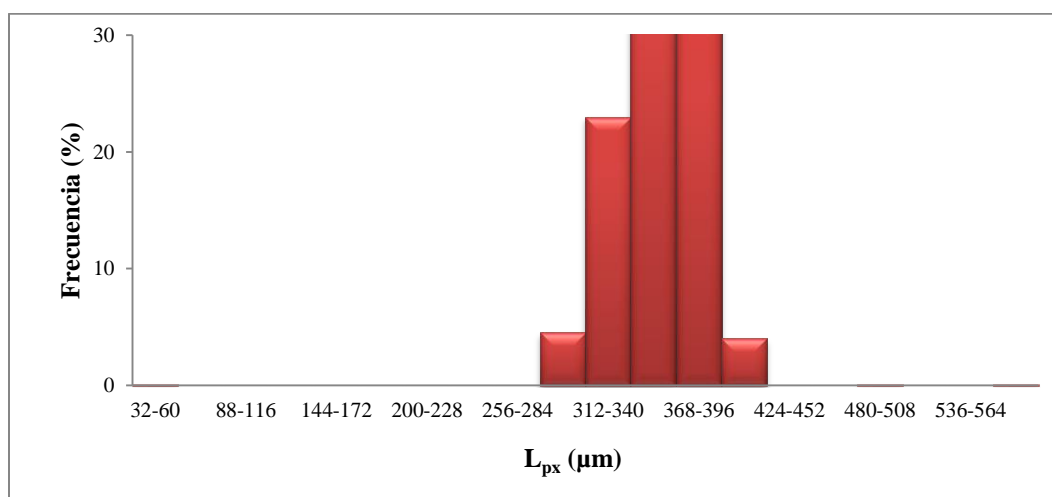


Fig. 27. Histograma de frecuencias de la variable L_{px} de la malla número 6.

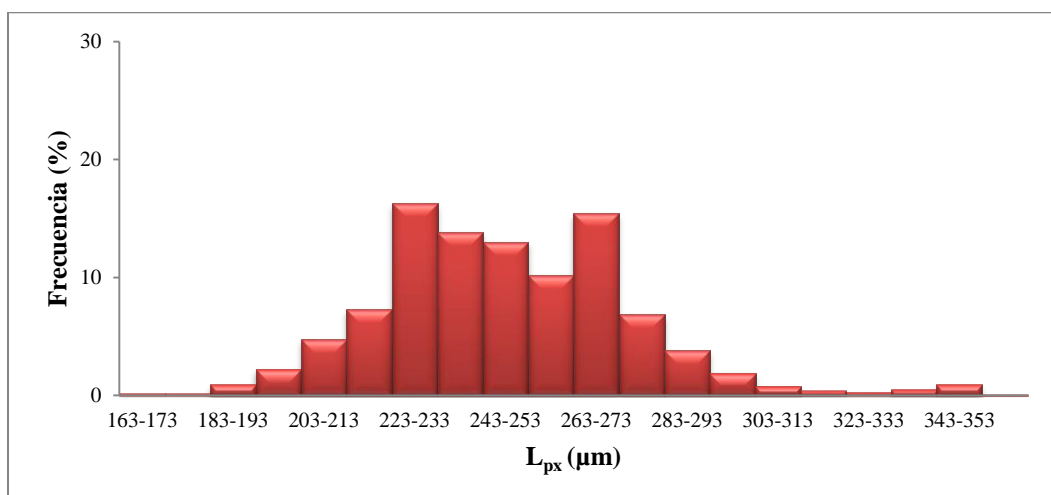


Fig. 28. Histograma de frecuencias de la variable L_{px} de la malla número 2.

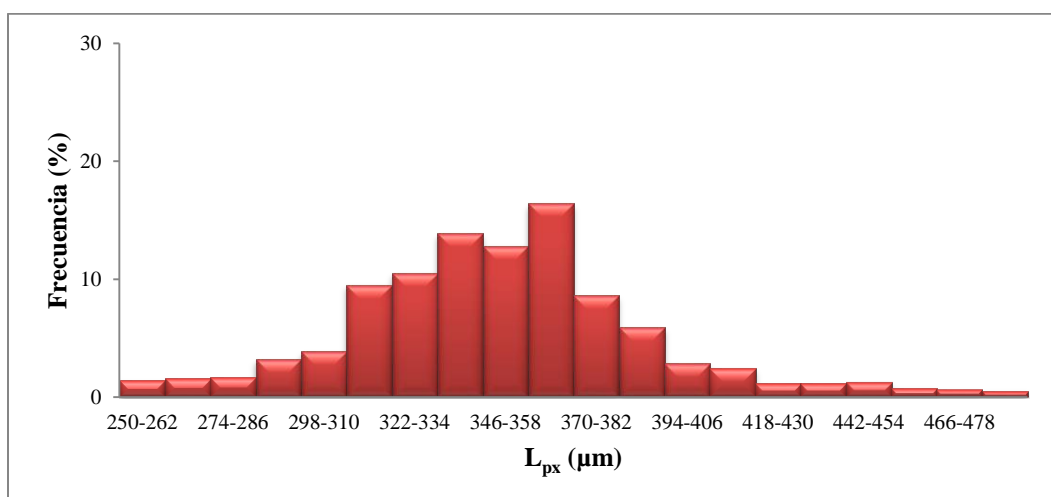


Fig. 29. Histograma de frecuencias de la variable L_{px} de la malla número 5.

Si la curtosis presenta un valor negativo, esto indica que los histogramas de frecuencia de los valores L_{px} siguen una distribución platicúrtica, es decir, los valores de la variable L_{px} presentan un reducido grado de concentración entorno a los valores medios de L_{px} , por tanto, estas mallas no ofrecerán una buena uniformidad. Las mallas número (1 (fig. 30), 3 (fig. 32), 4 (fig. 34)) presentan una distribución platicúrtica.

Al observar los histogramas de frecuencia de estas mallas podemos ver como presentan un número elevado de valores para L_{px} , lo que significa que estos textiles presentan un gran número de poros con diferentes tamaños, por lo que no ofrecerán una buena uniformidad. Esto es debido a anomalías durante el proceso de fabricación.

La malla número 1 (fig. 31), posee un tamaño medio de la luz del poro en la dirección de trama L_{px} de 224,1 μm , una curtosis negativa y una distribución de frecuencias del tipo platicúrtica. Al observar el histograma de frecuencias, se puede ver que posee un gran número de anchos de poros con diferentes valores al de la variable media.

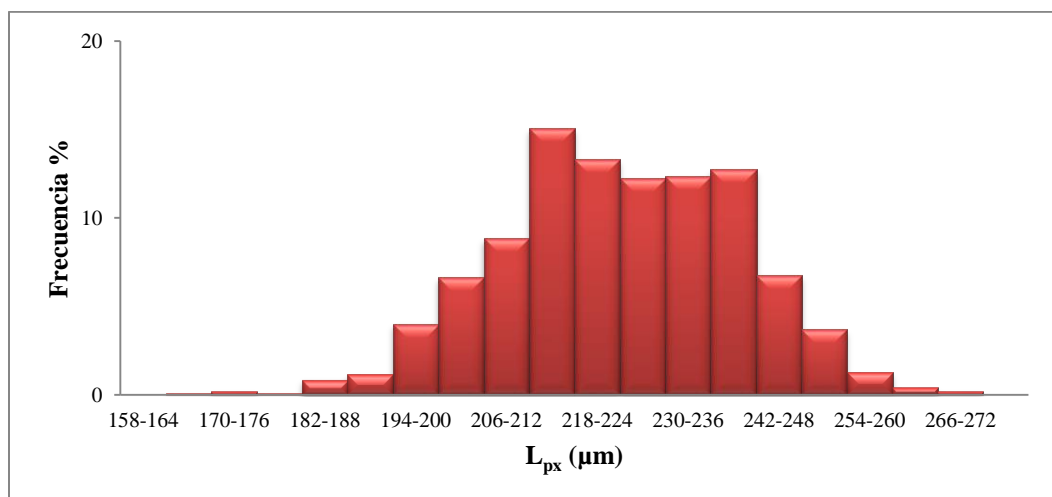


Fig. 30. Histograma de frecuencias de la variable L_{px} de la malla número 1.

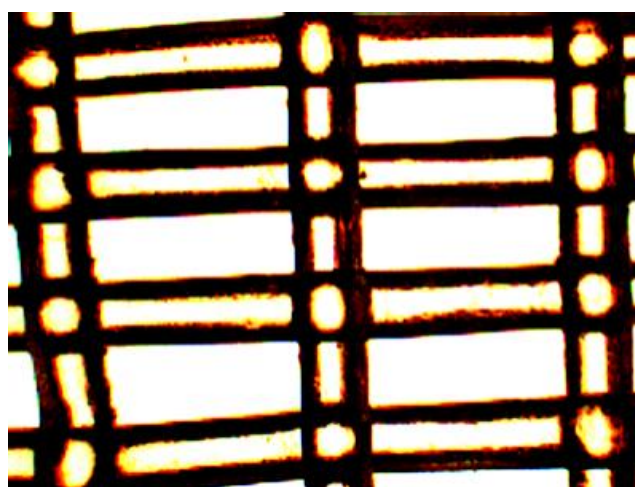


Fig. 31. Imagen capturada al microscopio de los diferentes tamaños de poros de la malla número 1.

En el caso de la malla número 4 (fig. 32), posee un valor medio del tamaño de la luz del poro en la dirección de trama L_{px} de 357,9 μm . Su curtosis es negativa, por tanto, presenta una distribución de frecuencias platicúrtica, es decir, que existen un elevado número de anchos de poros con diferentes valores respecto a la variable media, lo que significa que este textil es muy heterogéneo con una amplia dispersión de anchos de poros (fig. 33).

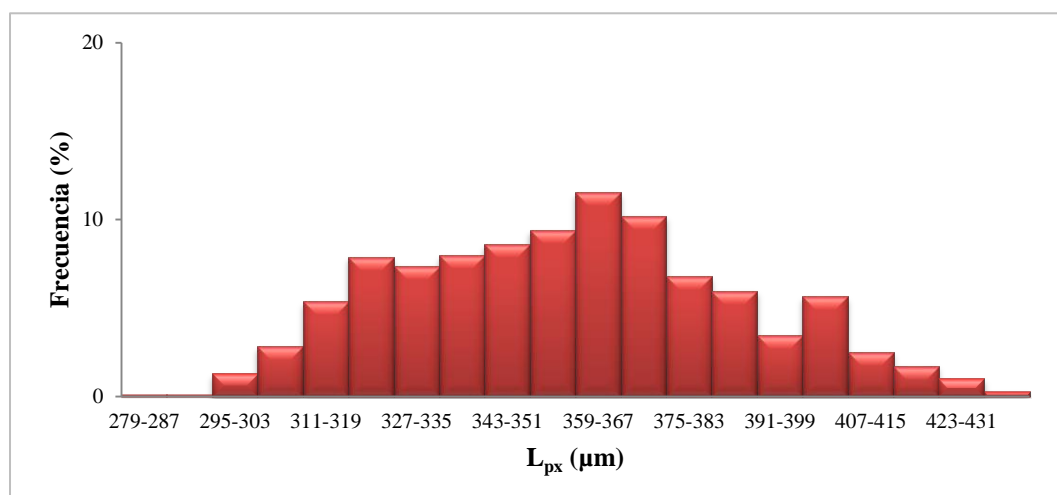


Fig. 32. Histograma de frecuencias de la variable L_{px} de la malla número 4.

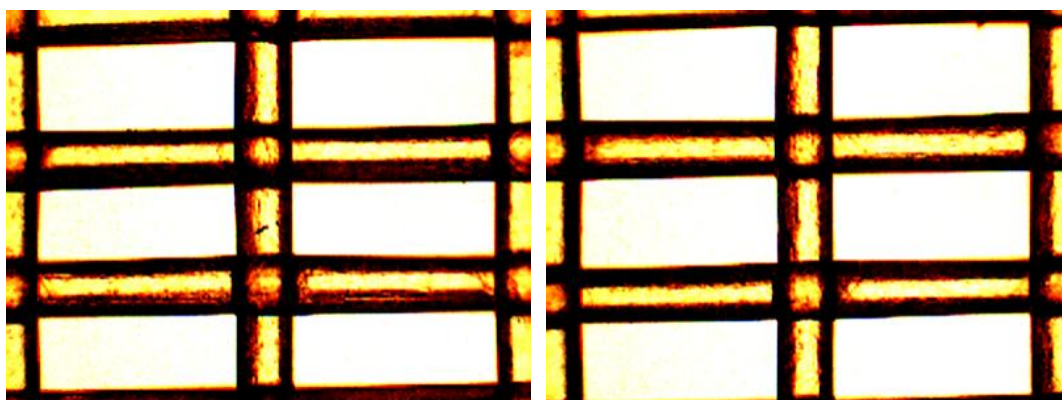


Fig. 33. Imágenes capturadas al microscopio de los diferentes tamaños de poros de la malla número 4.

Como se puede observar la malla número 3 presenta un valor medio de ancho de poro en la dirección de trama L_{px} de 225,4 μm , al observar su histograma de frecuencias se puede ver que presenta una amplia dispersión de anchos de poros, por tanto, presenta una distribución de frecuencias del tipo platicúrtica.

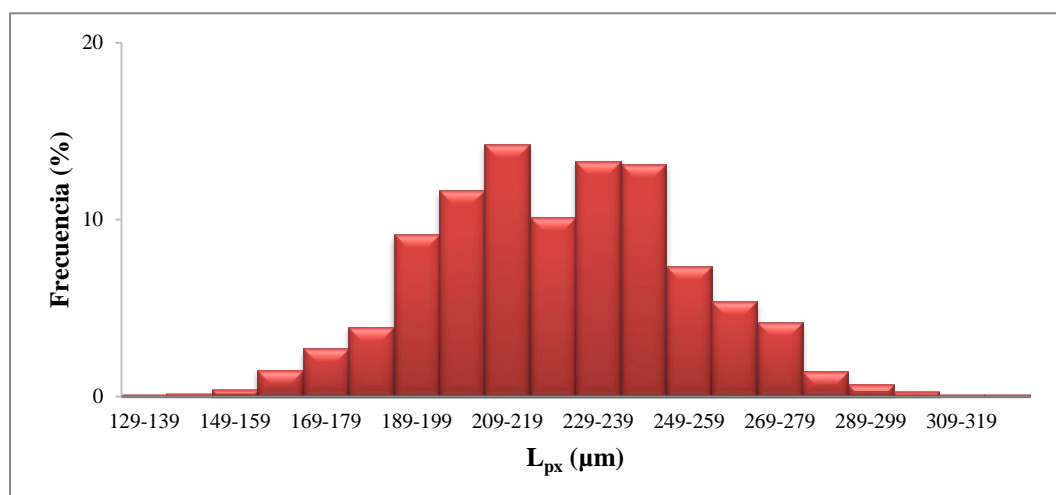


Fig. 34. Histograma de frecuencias de la variable L_{px} de la malla número 3.



Fig. 35. Imagen capturada al microscopio de los diferentes tamaños de poros de la malla número 3.

Como se puede observar las mallas número (2, 3, 4, 5) presentan un sesgo positivo o asimetría positiva, es decir, si hacemos una distribución del tamaño de los poros respecto a la media de la luz del poro en la dirección de trama L_{px} presentada por cada textil, se ha obtenido que éstas cuatro mallas muestran una minoría de valores de anchos de poros a la derecha del valor medio.

Al observar las mallas número (1 y 6), muestran un sesgo negativo o asimetría negativa, lo que indica que dichos textiles poseen una minoría de valores de anchos de poros a la izquierda del valor medio de la luz del poro en la dirección de trama L_{px} .

Las mallas que presentan sesgos cercanos a cero tienden a ser más uniformes.

Los valores del recorrido, sesgo y curtosis de los histogramas de frecuencias de la variable L_{py} de cada una de las mallas antiinsectos ensayadas, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7: Valores del sesgo, curtosis y recorrido de los histogramas de frecuencia de la luz del poro en la dirección de urdimbre L_{py} de las mallas antiinsectos.

Malla	Densidad teórica	Luz en dirección de urdimbre	Recorrido	Sesgo	Curtosis	CV
	$\rho_y \times \rho_x$ (hilos cm^{-2})	L_{py} (μm) $\pm \Delta$				
1	20x10	730,4 \pm 30,0	184,1	0,37	0,39	4,1
2	21x9	901,9 \pm 40,7	248,8	0,32	0,12	4,5
3	20x8	1029,4 \pm 57,7	336,5	0,27	0,27	5,6
4	16x9	870,9 \pm 28,1	141,8	0,08	-0,77	3,2
5	16x8	1028,8 \pm 29,1	176,6	0,17	-0,08	2,8
6	16x10	687,4 \pm 70,6	1045,7	0,93	6,89	10,3

Si observamos los valores de recorrido obtenidos en la tabla 7 para la variable de la luz del poro en la dirección de urdimbre L_{py} , podemos clasificar las mallas antiinsectos analizadas en el presente proyecto en dos grupos, el primer grupo estaría formado por las mallas número (1, 4 y 5) comprendería recorridos entre 100-200 μm y el segundo grupo lo formarían las mallas que presentan un recorrido superior a 200 μm , sería el caso de las mallas número (2, 3 y 6 (fig. 36)).

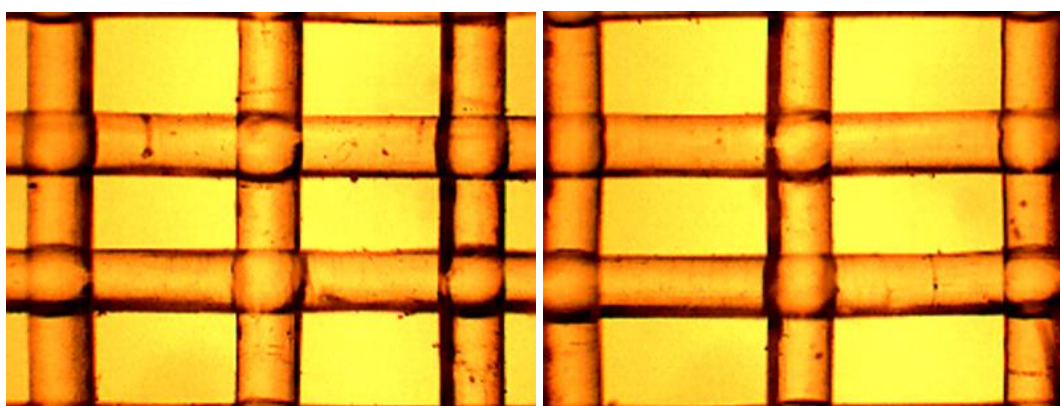


Fig. 36. Capturas de la malla antiinsectos número 6.

Si analizamos los valores de curtosis obtenidos de la luz del poro en la dirección de urdimbre L_{py} , se puede observar en la tabla 7 la presencia de cuatro textiles con una curtosis

positiva, es decir, que presentan un elevado grado de concentración alrededor del valor medio de la variable L_{py} en el histograma de frecuencias, por tanto, muestran una distribución leptocúrtica. Dentro de estas cuatro mallas que presentan una curtosis positiva, vamos a clasificarlas en dos grupos, un primer grupo formado por los textiles (1 (fig. 37), 2 (fig. 38) y 3 (fig. 39)), con unos valores de curtosis comprendidos entre 0,12-0,39, y un segundo grupo en cual se encontraría la malla número 6 con un valor de curtosis de 6,89. En el primer caso, estas mallas antiinsectos podrían considerarse como muy uniformes.

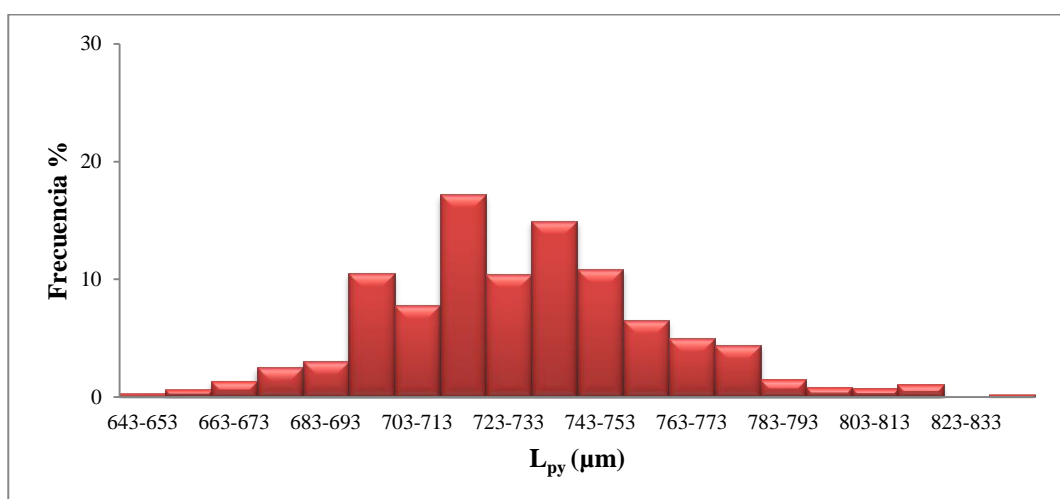


Fig. 37. Histograma de frecuencias de la variable L_{py} de la malla número 1.

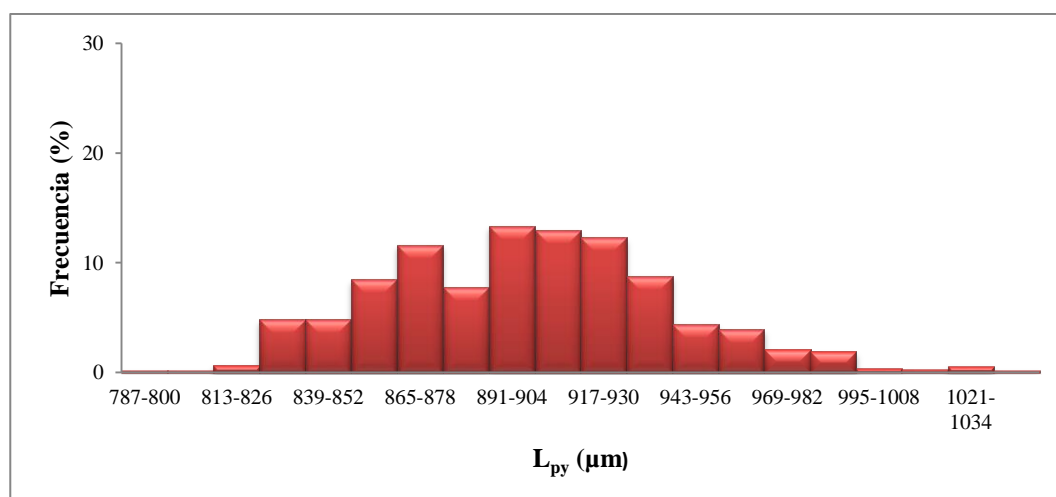


Fig. 38. Histograma de frecuencia de la variable L_{py} de la malla número 2.

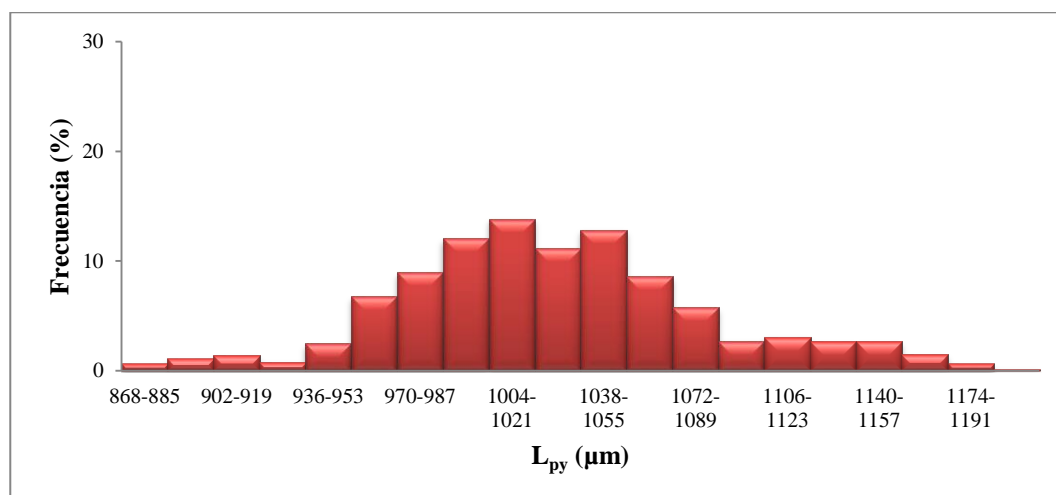


Fig. 39. Histograma de frecuencias de la variable L_{py} de la malla número 3.

Sin embargo, en el caso de la malla número 6, para las variables de recorrido y curtosis vemos que los datos son contradictorios, ya que dicho textil muestra un recorrido muy amplio, presentando una diferencia entre la longitud del poro más pequeño y la longitud del poro más grande de 1045,7, lo que indica que existe un amplio intervalo de valores de largos de poros. Sin embargo, el valor que presenta de curtosis es 6,89, es decir, una curtosis muy positiva y con una distribución leptocúrtica. Por tanto para determinar la uniformidad de este tejido es imprescindible analizar el histograma de frecuencias de la figura 40. Los resultados obtenidos del análisis de uniformidad muestran, una concentración de valores de luz del poro en la dirección de urdimbre L_{py} , muy alejados del valor medio. La conclusión obtenida es que el recorrido tan elevado que muestra la malla 21 se debe a una anomalía durante la fabricación de la malla relacionada con la velocidad de la lanzadera.

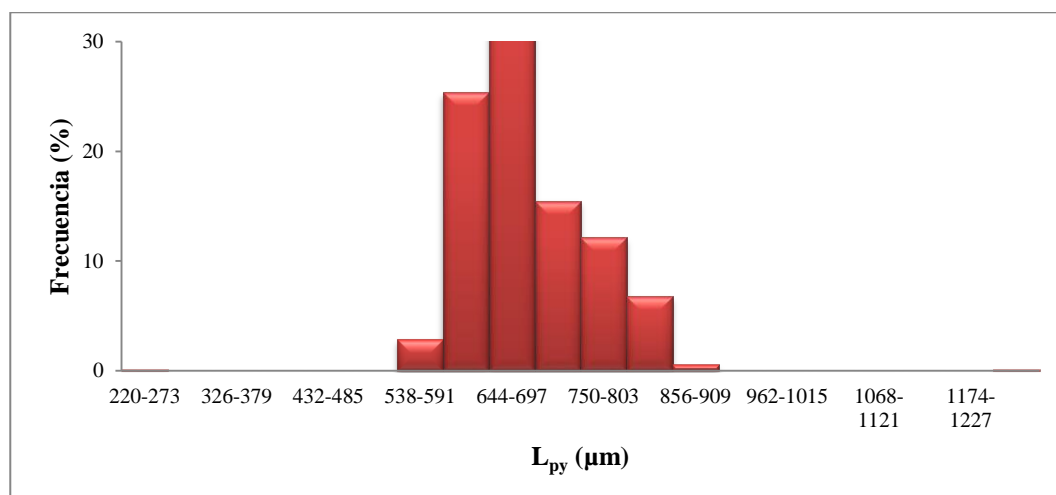


Fig.40. Histograma de frecuencias de la luz del poro en la dirección de urdimbre L_{py} de la malla número 6.

Si la curtosis tiene valor negativo, esto indica que los histogramas de frecuencia de los valores L_{py} , siguen una distribución platicúrtica, es decir, los valores de la variable L_{py} presentan un reducido grado de concentración alrededor de los valores medios de L_{py} . Por tanto, esas mallas no ofrecerán una buena uniformidad del tamaño del poro en la dirección de urdimbre, las mallas número (4 y 5) presentan una distribución platicúrtica.

Al observar los histogramas de frecuencias de estos dos textiles, se puede observar la presencia de un elevado número de valores para L_{py} distintos a la variable media, lo que indica que los poros que conforman estas mallas presentan una amplia dispersión de largos de poros (fig. 41), esta falta de uniformidad que muestran es debido a anomalías durante el proceso de fabricación.

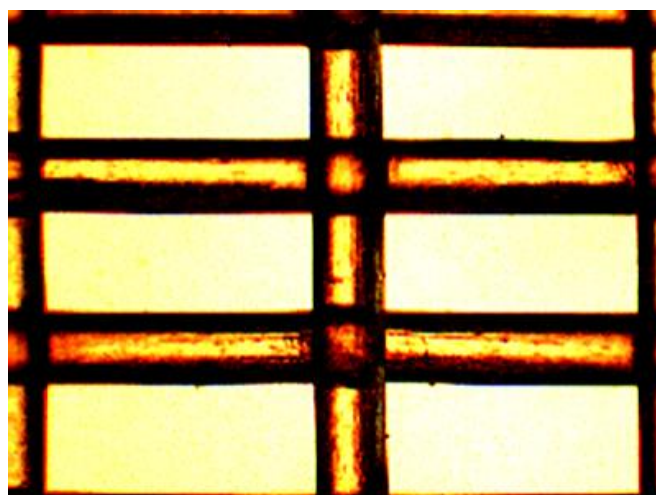


Fig. 41. Imágenes en color de la malla número 4.

La malla número 4, presenta un valor medio de la luz del poro en la dirección de urdimbre L_{py} de 870,9 μm . Este textil muestra una curtosis negativa. Si observamos su histograma de frecuencias (fig. 42) podemos ver que presenta una distribución platicúrtica, esto significa, que contiene un elevado número de largos de poros con diferentes valores respecto a la variable media, por tanto, este textil presenta una amplia dispersión de largos de poros.

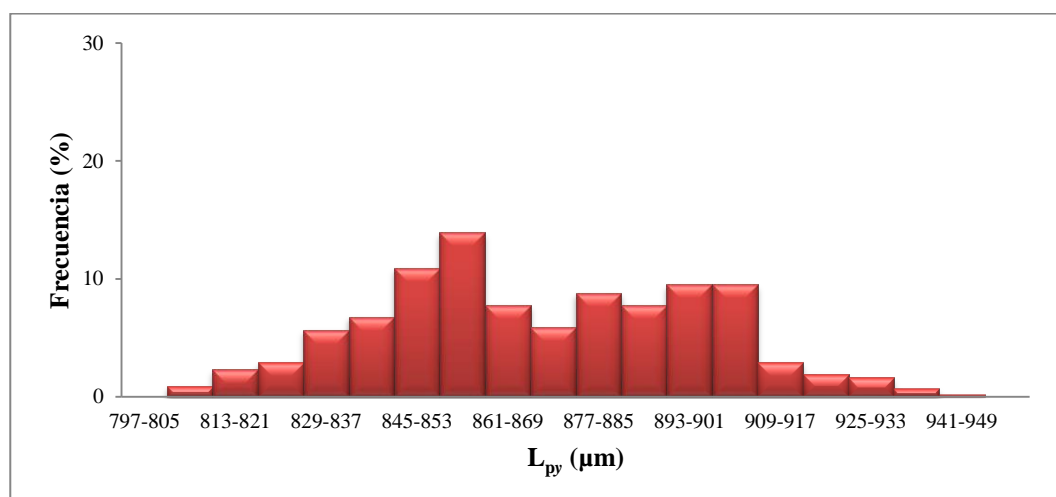


Fig. 42. Histograma de frecuencias de la luz del poro en la dirección de urdimbre L_{py} de la malla número 4.

En el caso de la malla número 5, se ha obtenido un valor medio de la luz del poro en la dirección de urdimbre L_{py} de 1028,8 μm . Esta malla presenta una curtosis negativa muy cercana al 0, si observamos su histograma de frecuencias (fig. 43) se puede ver que muestra una distribución platicúrtica.

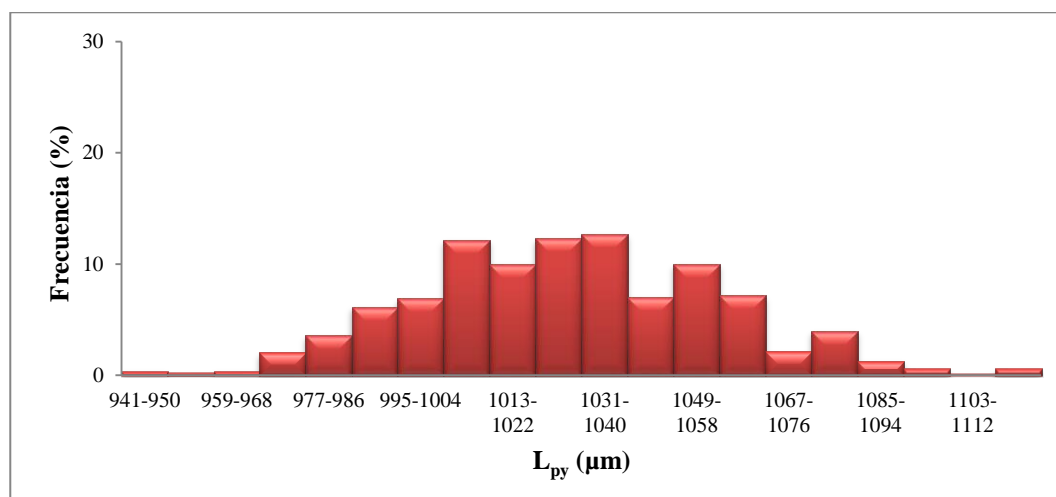


Fig. 43. Histograma de frecuencias de la luz del poro en la dirección de urdimbre L_{py} de la malla número 5.

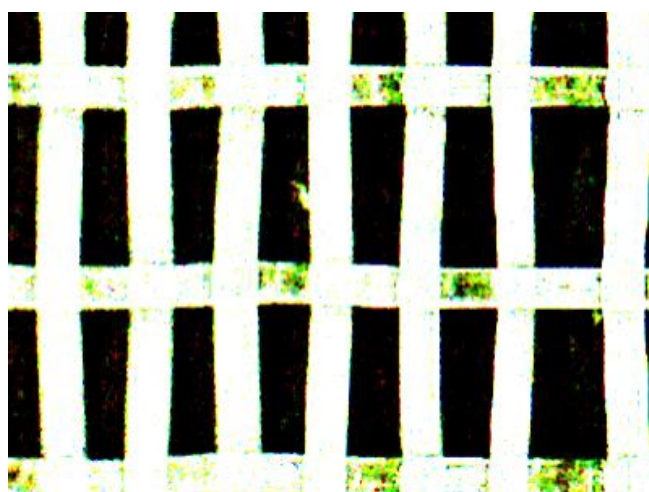


Fig. 44. Imagen capturada al microscopio de los diferentes tamaños de poros de la malla número 5.

Todas las mallas antiinsectos ensayadas en el presente proyecto presentan para la luz del poro en la dirección de urdimbre L_{py} , un sesgo positivo o asimetría positiva. Esto significa, que si hacemos una distribución del tamaño de los poros respecto a la variable media de luz del poro en la dirección de urdimbre L_{py} presentada por cada textil obtendremos que estas seis mallas presentan una minoría de valores de largos de poros a la derecha del valor medio.

Después de analizar, los valores de sesgo, curtosis y recorrido obtenidos mediante el histograma de frecuencias de la variable L_{px} y del histograma de frecuencias de la variable L_{py} de cada uno de los textiles ensayados, podemos clasificar en tres grupos el grado de uniformidad que presentan las mallas analizadas. El primer grupo presentaría una muy buena

uniformidad del tamaño de sus poros y estaría formado por la malla número 2, el segundo grupo estaría formado por las mallas con una uniformidad aceptable (mallas número 1, 3 y 5) y, por último, el tercer grupo lo conformarían las mallas consideradas como poco uniformes, (mallas número 4 y 6).

5.1.4. Determinación de la porosidad

En la siguiente tabla se muestran los valores de porosidad y superficie de poro obtenidos de cada una de las mallas ensayadas, los valores de porosidad α han sido obtenidos mediante la siguiente expresión:

$$\alpha = \frac{L_{px}L_{py}}{(L_{px}D_{hy})(L_{py}D_{hx})} \quad (8)$$

donde los valores L_{px} y L_{py} corresponden a los valores medios de la luz del poro en la dirección de trama y urdimbre respectivamente y D_{hy} y D_{hx} es el diámetro del hilo en la dirección de urdimbre y trama respectivamente. Los valores de la porosidad y la superficie de poro obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 8: Valores de densidad teórica y media, diámetro medio de los hilos, superficie de poro y porosidad.

Malla	Densidad teórica	Densidad media	Diámetro de hilos media	Superficie de poro	Porosidad
	$\rho_y \times \rho_x$ (hilos cm^{-2})	$\rho_y \times \rho_x$ (hilos cm^{-2})	(μm)	(mm^2)	(%)
1	20x10	21,4x10,3	242,2	0,164	36,5
2	21x9	20,8x8,8	233,4	0,224	41,2
3	20x8	19,8x7,7	274,5	0,232	35,3
4	16x9	16,6x9	245,1	0,312	46,5
5	16x8	16,2x7,7	267,4	0,361	45,1
6	16x10	16x10,4	270,8	0,244	40,8

La malla número 4 (16x9 hilos cm^{-2}) es la malla que presenta una mayor porosidad α 46,5 %. De todas las mallas analizadas, este textil es el que presenta un mayor valor de luz en la dirección de trama L_{px} (357,9 μm) y el menor grosor de hilos del grupo de tejidos de densidad 16x10 hilos cm^{-2} . A pesar de que la malla número 5 (16x8 hilos cm^{-2}) presenta el mayor valor

de largo de poro, su porosidad ha sido 1,4 puntos porcentuales inferior al valor de porosidad de la malla 4. Dentro de este grupo, la malla número 6 (16x10 hilos cm^{-2}) posee un valor de porosidad α 40,8 %, 5 puntos porcentuales inferior a la porosidad de la malla 4.

La malla número 1 (20x10 hilos cm^{-2}) tiene un valor de porosidad α de 36,5% similar a la obtenida para la malla número 3. Sin embargo, la diferencia entre la superficie de poro ha sido de 0.068 mm^2 .

La malla número 3 (20x8 hilos cm^{-2}) presenta una porosidad α de 35,3%, el valor más bajo de las mallas que conforma el grupo de tejidos con una densidad de 20x10 hilos cm^{-2} . Este tejido ha sido confeccionado con los hilos de mayor grosor (274,5 μm) con respecto al resto de tejidos de este grupo. El mayor valor de porosidad obtenido para estos tejidos ha sido el alcanzado con la malla 1 (41.2%).

Para concluir el análisis de la porosidad de las mallas ensayadas, podemos determinar que la porosidad de las mallas antiinsectos depende de dos variables, el diámetro medio de los hilos y de la luz del poro que presenten, por tanto, cuando tenemos un diámetro medio de los hilos constante poseerán mayor porosidad las mallas que presenten un mayor valor de luz del poro. Por lo tanto, cuando las mallas presenten valores similares de luz del poro, obtendrán mayor porosidad las mallas que tengan un menor valor del diámetro medio de hilos.

5.2. Eficacia de las mallas antiinsectos frente a *Bemisia tabaci*

5.2.1. Eficacia teórica: Comparativa entre las dimensiones de Bemisia tabaci y el tamaño de los poros de las mallas antiinsectos

Para determinar de forma teórica la eficacia frente a *Bemisia tabaci* de las seis mallas ensayadas, vamos a seguir el planteamiento que mayoritariamente se sigue a la hora de diseñar una malla antiinsectos, el denominado efecto cárcel, que consiste en impedir el paso de los insectos a través de la malla limitando una de las dimensiones de los poros.

El efecto cárcel se lleva a cabo limitando el tamaño de la luz del poro en la dirección de trama L_{px} a un valor inferior al del diámetro de mayor sección transversal del cuerpo de los insectos $D_{tórax}$, cuando se consideré que el cuerpo de estos insectos es de forma cilíndrica.

Los valores medios del ancho de tórax de los insectos son los descritos por los investigadores (Oliva y Álvarez, 2015). Estos autores han determinado que el diámetro medio

del tórax para la especie *B. tabaci* es de 241,6 μm para los machos y de 277,5 μm para las hembras.

La determinación teórica de la efectividad de las mallas ensayadas frente a *Bemisia tabaci*, se obtiene comparando las dimensiones de referencia de los insectos con el tamaño de la luz del poro en la dirección de trama L_{px} calculada mediante el programa informático Euclides v.1.4. Estos valores se muestran en la siguiente tabla:

*Tabla 9: Determinación teórica de la efectividad de las mallas ensayadas frente a machos de *Bemisia tabaci*.*

Malla	Densidad teórica	Luz en dirección de trama	Machos	¿Pasan?
	$\rho_y \times \rho_x$ (hilos cm^{-2})	L_{px} (μm)	$D_{\text{tórax}}$ (μm)	$L_{px} > D_{\text{tórax}}$
1	20x10	224,1 \pm 15,9	241,6	No
2	21x9	248,2 \pm 27,9	241,6	Si
3	20x8	225,4 \pm 28,4	241,6	No
4	16x9	357,9 \pm 15,9	241,6	Si
5	16x8	351,2 \pm 39,5	241,6	Si
6	16x10	355,4 \pm 29,2	241,6	Si

Como se observa en la tabla 9, la determinación teórica de la efectividad de las mallas ensayadas frente a *Bemisia tabaci* muestra que, solamente, las mallas número 1 y 3 poseen unas dimensiones de luz del poro en la dirección de trama L_{px} , inferior a la dimensión del tórax que presentan los individuos machos de *B. tabaci*. Las demás mallas ensayadas presentan un ancho de poro superior a las dimensiones del tórax de los machos.

Tabla 10: Determinación teórica de la efectividad de las mallas ensayadas frente a hembras de Bemisia tabaci.

Malla	Densidad teórica	Luz en dirección de trama	Hembras	¿Pasan?
	$\rho_y \times \rho_x$ (hilos cm ⁻²)	L_{px} (µm)	$D_{tórax}$ (µm)	$L_{px} > D_{tórax}$
1	20x10	224,1±15,9	277,5	No
2	21x9	248,2±27,9	277,5	No
3	20x8	225,4±28,4	277,5	No
4	16x9	357,9±15,9	277,5	Si
5	16x8	351,2±39,5	277,5	Si
6	16x10	355,4±29,2	277,5	Si

Los resultados obtenidos en el tabla 10 muestran que las mallas número (1, 2 y 3) han sido teóricamente eficaces frente a la mosca blanca *B. tabaci*. El tamaño de luz de poro en la dirección de trama L_{px} de estos tejidos ha sido inferior a la dimensión de tórax de las hembras. Para el resto de mallas ensayadas el valor del ancho de poro ha sido superior al ancho del tórax de las hembras de esta especie

5.2.2. Análisis de la capacidad de exclusión de las mallas antiinsectos

Según la metodología expuesta en el apartado de Materiales y Métodos se han ensayado seis mallas antiinsectos para determinar, en condiciones de laboratorio, la eficacia que ofrecen estas mallas frente a *Bemisia tabaci*. Los textiles se han elegido para hacer una comparación entre mallas que presentan similares densidades de hilos y anchos de poros, pero con longitudes de poro muy dispersas. .

El conteo de los individuos que pasan, los excluidos y el porcentaje de exclusión de cada una de las mallas ensayadas en las tres repeticiones que se han realizado en el presente trabajo, se muestran en el Anexo 1.

El cálculo del coeficiente de exclusión, el error estándar y el margen de error se determinará mediante las ecuaciones descritas en el apartado de Materiales y Métodos.

Tabla 11: Valores de velocidad, eficacia media y temperatura media de los ensayos realizados con las diferentes mallas.

Malla	<u>Velocidad</u> (m s ⁻¹)	<u>Eficacia media</u> %±σ	<u>Temperatura media</u> °C
1	0	97,2±0,07	24,04
	1,5	89,0±0,18	22,10
	3	81,3±0,23	24,37
2	0	94,9±0,09	24,20
	1,5	75,8±0,25	22,86
	3	58,9±0,28	24,81
3	0	89,2±0,13	24,39
	1,5	18,6±0,22	22,78
	3	28,7±0,26	22,16
4	0	48,0±0,20	24,68
5	0	9,1±0,12	24,18
6	0	50,4±0,20	24,36

Como podemos observar en la tabla 11, se puede ver que al aumentar la velocidad y la temperatura durante los ensayos el coeficiente de exclusión desciende, siendo la malla número 1 la más eficaz frente al paso de *Bemisia tabaci*.

La malla número 1 (20x10 hilos cm⁻²) presenta un porcentaje de exclusión medio de 97,2% en condiciones de calma. Sin embargo, conforme se aumenta la velocidad del aire, el porcentaje de exclusión disminuye hasta el 89,0% a una velocidad de 1,5 m s⁻¹ y hasta el 81,3% a 3 m s⁻¹.

La malla número 2 (21x9 hilos cm⁻²) posee un porcentaje de exclusión elevado en condiciones de calma, (94,9%). Sin embargo, al aumenta la velocidad del aire, la eficacia ha descendiendo hasta el 75,85% a una velocidad de 1,5 m s⁻¹ y hasta 58,9% a 3 m s⁻¹.

La malla número 3 (20x8 hilos cm⁻²) presenta un porcentaje de exclusión medio elevado en condiciones de calma, (89,2%). Sin embargo, al aumentar la velocidad del aire el porcentaje de exclusión desciende drásticamente hasta 70 puntos porcentuales a una velocidad de 1,5 m s⁻¹.

Las mallas número (4, 5 y 6) solamente han sido ensayadas en condiciones de calma debido a que los porcentajes de exclusión medios obtenidos en ausencia de aire han sido muy bajos.

La malla número 4(16x9 hilos cm⁻²) posee un porcentaje de exclusión en condiciones de calma del 48,0%. Para la malla número 5 (16x8 hilos cm⁻²) el porcentaje de exclusión ha sido del 9,1%

Y, finalmente, para la malla número 6 (16x10 hilos cm⁻²) el porcentaje de exclusión obtenido en condiciones de ausencia de aire, ha sido del 50,4%.

5.2.3. Comparación entre la eficacia teórica y la eficacia obtenida en condiciones de laboratorio

Como se puede observar en la tabla 12, los resultados obtenidos sobre la determinación teórica de la efectividad de las mallas no concuerdan totalmente con la eficacia media obtenida a lo largo de los ensayos realizados.

Tabla 12: Comparación entre la eficacia media y la eficacia teórica de las mallas antiinsectos ensayadas.

Mallas antiinsectos	Luz en dirección de trama L_{px} (µm)	Eficacia media %±σ			Eficacia teórica $L_{px} > D_{tórax}^{a,b}$	
		0 (m s ⁻¹)	1,5 (m s ⁻¹)	3 (m s ⁻¹)	Machos	Hembras
1	224,1±15,9	97,2±0,07	89±0,18	81,3±0,23	No	No
2	248,2±27,9	94,9±0,09	75,8±0,25	58,9±0,28	Si	No
3	225,4±28,4	89,2±0,13	18,6±0,22	28,7±0,26	No	No
4	357,9±15,9	48±0,20	-	-	Si	Si
5	351,2±39,5	9,1±0,12	-	-	Si	Si
6	355,4±29,2	50,4±0,21	-	-	Si	Si

En el caso de la malla número 1, la eficacia obtenida de manera experimental y la eficacia teórica no coinciden. Esta malla presenta un alto coeficiente de exclusión a las diferentes velocidades de aire ensayadas, el más alto de las mallas estudiadas. Además, la malla número 1, presenta un tamaño de la luz del poro en la dirección de trama L_{px} , inferior al diámetro del tórax que presentan los machos y hembras de *Bemisia tabaci*, por tanto, la gran mayoría de individuos no consiguen atravesar este textil.

La malla número 2, presenta un coeficiente de exclusión alto en ausencia de aire, conforme aumenta la velocidad del aire, su eficacia media desciende hasta valores bajos. Los resultados obtenidos para la eficacia teórica muestran que este tejido permite el paso de los individuos machos. Para el caso de los individuos hembra, el ancho del poro es inferior al ancho de su tórax, restringiendo el paso de estos insectos. Sin embargo, al aumenta la velocidad de aire, la eficacia ha disminuido hasta 36 puntos porcentuales a una velocidad de 3 m s^{-1} . Durante estos ensayos, han pasado tanto individuos machos como hembras. Por tanto, los resultados obtenidos en los ensayos no coinciden con la eficacia teórica obtenida.

En el caso de la malla número 3 se han obtenido unos resultados de eficacia teórica que difieren totalmente con los valores de exclusión obtenidos en los ensayos experimentales realizados a diferentes velocidades. Este textil presenta un coeficiente de exclusión alto en ausencia de aire, pero, en los ensayos realizados a diferentes velocidades de aire su coeficiente de exclusión desciende drásticamente a unos valores muy bajos como podemos ver en la tabla 12. Sin embargo, estos resultados experimentales difieren con los resultados teóricos obtenidos. El tamaño de la luz del poro en la dirección de trama L_{px} de esta malla es inferior al diámetro medio de tórax de los individuos de *Bemisia tabaci*, por tanto, tanto los machos como las hembras consiguen atravesar el textil.

Las mallas número (4, 5 y 6), presentan un coeficiente de exclusión bajo. Por tanto, los resultados experimentales coinciden con los teóricos. Los bajos valores de eficacia obtenidos se deben a que las tres mallas poseen unas dimensiones de la luz del poro en la dirección de trama L_{px} mayor respecto a las dimensiones del tórax de los individuos de *Bemisia tabaci*, por tanto, estos individuos atraviesan estos textiles fácilmente.

Las diferencias entre la eficacia teórica y la eficacia de las mallas antiinsectos obtenida de forma experimental, pueden deberse a que teóricamente estudiamos el paso de los individuos a través de los poros de las mallas como un cilindro inmóvil y realmente estamos estudiando

insectos, flexibles y con capacidad para ejecutar diversos movimientos en su trayectoria para conseguir atravesar la malla. Además, los flujos de aire a diferentes velocidades pueden ser una ayuda a la hora de atravesar el textil. Debido a que los poros de las mallas antiinsectos en presencia de aire pueden generar un efecto venturi que puede facilitar el paso de los individuos de *Bemisia tabaci* a través del textil.

5.2.4. Influencia de la temperatura sobre la eficacia de las mallas antiinsectos

El paso de la mosca blanca *Bemisia tabaci* a través de la malla antiinsectos depende de diferentes factores relacionados con el insecto (forma y dimensiones del cuerpo) y las características geométricas del poro de la malla antiinsectos (ancho L_{px} y largo L_{py}).

Después de analizar los datos obtenidos en la tabla 10, podemos ver que además de los aspectos comentados anteriormente, el efecto del aire provoca un aumento en el paso del insecto a través del textil.

Pero hay otro parámetro que también afecta de manera directa en el porcentaje de exclusión de las mallas antiinsectos frente a la mosca blanca *Bemisia tabaci*, este parámetro es la temperatura. A continuación, vamos a analizar la influencia de la temperatura sobre la eficacia de las mallas.

Para evaluar cómo afecta la temperatura sobre la eficacia de las mallas antiinsectos, hemos ensayado las seis tejidos en ausencia de aire y se han llevado a cabo; tres repeticiones en el intervalo de temperatura más bajo entre los valores de 20°C y 25°C y otras tres repeticiones en el intervalo de temperaturas más alto, entre los valores de 25°C y 30°C. Los resultados se representan en la siguiente tabla:

Tabla 13: Valores de velocidad, eficacia media y temperatura media de las mallas antiinsectos ensayadas.

Mallas antiinsectos	Velocidad (m s⁻¹)	Eficacia media %±σ	Temperatura media °C
1	0	100±0,00	21,27
		94,4±0,13	26,80
2	0	99,0±0,06	21,26
		90,8±0,17	27,13
3	0	93,8±0,14	21,18
		84,6±0,21	27,60
4	0	66,8±0,27	21,13
		29,1±0,26	28,23
5	0	8,8±0,16	21,5
		9,4±0,17	26,86
6	0	61,6±0,28	21,06
		39,2±0,28	27,64

Como podemos observar en la tabla 13, el aumento de la temperatura no afecta por igual a la eficacia que presentan las mallas ensayadas frente a *Bemisia tabaci*. Para analizar el efecto de la temperatura sobre la eficacia vamos a dividir las mallas ensayadas en dos grupos en función de la densidad de hilos que poseen.

El primer grupo estará formado por las mallas más densas, es decir, las mallas que poseen como mínimo 20 hilos cm⁻¹ en la urdimbre como en el caso de las mallas número 1, 2 y 3.

En los resultados que se muestran en la tabla 13, podemos ver que las mallas número 1 (20x10 hilos cm⁻²) y 2 (21x9 hilos cm⁻²) presentan un coeficiente de exclusión entorno al 100% cuando la temperatura media es cercana a los 21,5°C. En el caso de la malla número 1, al aumentar la temperatura hasta los 26°C la eficacia media de esta malla ha descendido 6 puntos porcentuales. Para la malla número 2, al aumentar la temperatura hasta los 27°C su eficacia a sufrido un descenso de 8 puntos porcentuales.

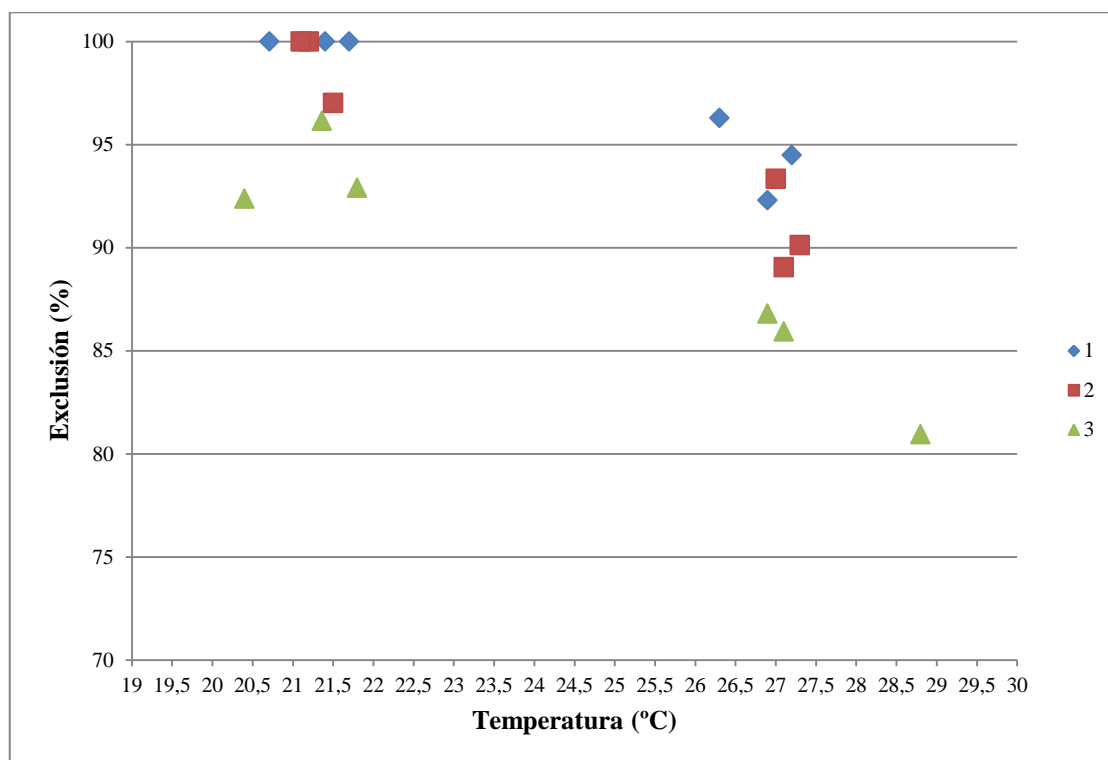


Fig. 45. Gráfica de la relación entre la temperatura y el coeficiente de exclusión de las mallas número 1, 2 y 3.

Los resultados obtenidos para la malla número 3 (20×8 hilos cm^{-2}) muestran que los ensayos realizados con temperaturas alrededor de 21°C presenta un coeficiente de exclusión del 93,8%. Cuando la temperatura ha aumentado hasta los $28,8^\circ\text{C}$ su eficacia se ha visto reducido hasta 12.8 puntos porcentuales

Como se observa en la figura la eficacia de estos tres agrotexiles desciende conforme va aumentando la temperatura, se puede observar que a partir de 27°C se produce un descenso moderado de la eficacia de estas mallas.

El segundo grupo estará formado por las mallas 4, 5 y 6 con una densidad de hilos en la urdimbre de 16 hilos cm^{-1} .

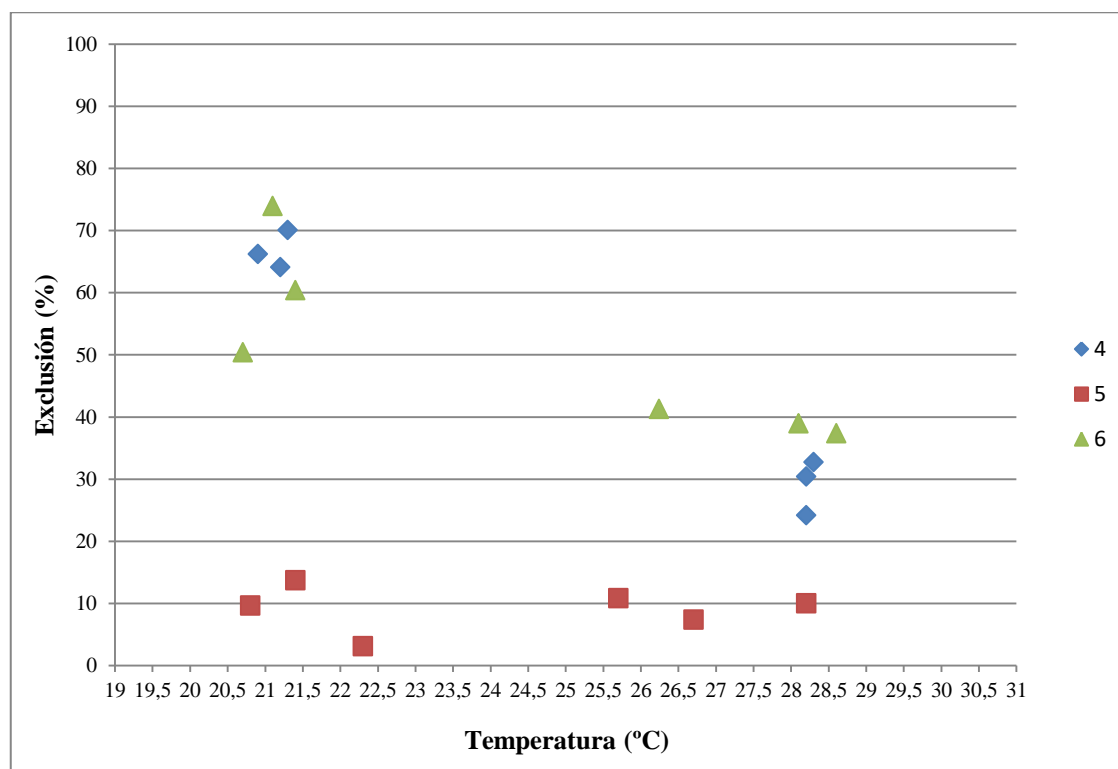


Fig. 46. Gráfica de la relación entre la temperatura y el coeficiente de exclusión de las mallas número 4, 5 y 6.

La malla número 4 (16×9 hilos cm^{-2}) presenta un porcentaje de exclusión medio bajo del 66% durante los ensayos realizados a una temperatura de 21°C. Sin embargo, cuando la temperatura ha aumentado hasta los 28°C su coeficiente de exclusión ha descendió drásticamente hasta 29,1%, es decir, ha descendido más de 30 puntos porcentuales al aumentar 7 grados la temperatura.

La malla número 5 (16×8 hilos cm^{-2}), presenta una eficacia media del 8,8%, es decir, pasan casi todos los insectos, a una temperatura alrededor de los 21°C. Cuando se ha aumentado la temperatura hasta los 27°C su coeficiente de exclusión sigue siendo igual de bajo. Cuando una malla presenta unos porcentajes de exclusión tan bajos en condiciones normales, es difícil observar cómo afecta la influencia de la temperatura sobre la eficacia del textil.

Para la malla número 6 (16×10 hilos cm^{-2}), el porcentaje de exclusión medio obtenido ha sido del 61,6% a una temperatura media de 21°C. Cuando la temperatura aumentó hasta los 27,6°C la eficacia de este textil ha descendido hasta el 39%.

Los resultados obtenidos muestran que la temperatura tiene influencia sobre la eficacia de las mallas antinsectos. Los resultados obtenidos para las mallas del primer grupo (20 hilos

cm⁻¹ en urdimbre) muestran una pérdida de eficacia moderada al aumentar la temperatura entre 6 y 8 puntos porcentuales, respecto a la eficacia obtenida en el intervalo de temperaturas más bajas. En el segundo grupo (16 hilos cm⁻¹ de urdimbre) las mallas número 4 y 6 han mostrado un descenso drástico de los valores de eficacia al aumentarse la temperatura., La eficacia media de estos agrotexiles se ha visto reducida entre 23 y 37 puntos porcentuales, respectivamente, con respecto a la eficacia alcanzada a bajas temperaturas.

5.2.5. Determinación del sexo de Bemisia tabaci

Otra característica analizada ha sido la proporción entre sexos de las poblaciones utilizadas en los ensayos.

Según Machado *et al.*, (1988) y Beitia *et al.*, (2001), debido a que la reproducción de la mosca blanca *Bemisia tabaci* es por partenogénesis de tipo arrenotoca, es decir, las hembras depositan huevos fertilizados que dan lugar a hembras (diploides) y huevos no fertilizados que dan lugar a machos (haploides), presentan una razón sexual de 1:1 (macho: hembra).

Sin embargo, los resultados obtenidos por Oliva (2013) muestran que la proporción media entre sexos de *Bemisia tabaci* es de 1:3,5 (macho: hembra). Sin embargo, cuando la temperatura es de 25°C la proporción entre sexos alcanza un valor de 1:12,6 y cuando las temperaturas superan los 25°C la razón sexual aumenta obteniéndose proporciones macho:hembra 1:2.

Tras la realización de los ensayos en el laboratorio sobre la determinación del sexo de *Bemisia tabaci*, se ha comprobado que en la mayoría de los casos la proporción entre sexos ha sido 1:3,5 (macho: hembra). En el intervalo de temperaturas más alto la proporción entre sexos ha sido de 1:6,7 (macho:hembras) y en el intervalo de temperaturas más bajo esta proporción ha sido de 1:10,8 (macho:hembras).

En la siguiente tabla se puede observar la proporción de machos y hembras presentes en las diferentes poblaciones y los individuos de cada sexo que han conseguido atravesar las mallas ensayada a diferentes velocidades de aire y temperatura.

Tabla 14: Resultados obtenidos frente a *Bemisia tabaci*, de la población, los individuos que pasan, velocidad teórica, eficacia y temperatura de las mallas 1, 2 y 3.

Ensayo	Malla	Velocidad teórica	Eficacia	T ^a	Población			Pasan		
		(m s ⁻¹)	%±σ	°C	Machos	Hembras	Proporción	Machos	Hembras	Proporción
1	1	0	100,0±0,0	20,7	7	105	1/15,0	0	0	-
2	1	0	100,0±0,0	21,7	9	115	1/12,8	0	0	-
3	1	0	100,0±0,0	21,4	11	102	1/9,3	0	0	-
4	1	0	92,3±0,26	26,9	16	114	1/7,1	2	8	1/4
5	1	0	96,3±0,19	26,3	11	124	1/11,3	1	4	1/4
6	1	0	94,5±0,23	27,2	15	112	1/7,5	3	4	1/1,3
7	1	1,5	88,5±0,32	22,1	10	103	1/10,3	2	11	1/5,5
8	1	1,5	90,5±0,29	22,5	10	118	1/11,8	2	10	1/5
9	1	1,5	88,0±0,32	21,7	11	106	1/9,6	3	11	1/3,7
10	1	3	86,4±0,34	24,1	8	132	1/6,5	6	13	1/2,2
11	1	3	80,0±0,4	24,3	11	116	1/10,6	5	24	1/4,8
12	1	3	77,5±0,42	24,7	14	128	1/9,1	7	25	1/3,6
13	2	0	97,0±0,17	21,5	13	121	1/9,3	3	1	1/0,3
14	2	0	100,0±0,0	21,2	9	96	1/10,7	0	0	-
15	2	0	100,0±0,0	21,1	7	131	1/18,7	0	0	-
16	2	0	93,3±0,25	27,0	19	131	1/6,9	3	7	1/2,3
17	2	0	90,1±0,30	27,3	23	139	1/6,0	5	11	1/2,2
18	2	0	89,1±0,31	27,1	17	120	1/7,0	5	10	1/2
19	2	1,5	83,3±0,37	23,6	19	89	1/4,6	15	3	1/0,2

“Eficacia en condiciones de laboratorio de las mallas antiinsectos desde un punto de vista tridimensional frente a la mosca blanca *Bemisia tabaci*”

20	2	1,5	73,8±0,44	22,5	10	112	1/11,2	2	30	1/15
21	2	1,5	70,4±0,46	22,5	5	130	1/26	5	35	1/7
22	2	3	67,5±0,47	23,1	14	100	1/7,1	6	31	1/5,2
23	2	3	53,9±0,50	25,6	15	139	1/9,3	10	61	1/6,1
24	2	3	55,2±0,50	25,7	12	113	1/9,4	7	49	1/7
25	3	0	92,9±0,25	21,8	12	129	1/10,8	3	7	1/2,3
26	3	0	96,2±0,19	21,4	12	94	1/7,8	2	2	1/1
27	3	0	92,4±0,26	20,4	12	106	1/8,8	3	6	1/2
28	3	0	86,8±0,34	26,9	17	127	1/7,5	5	14	1/2,8
29	3	0	85,9±0,35	27,1	18	110	1/6,1	4	14	1/3,5
30	3	0	81,0±0,39	28,8	25	112	1/4,5	9	19	1/2,1
31	3	1,5	22,9±0,42	21,85	10	96	1/9,6	6	75	1/12,5
32	3	1,5	14,5±0,35	23,1	13	104	1/8	11	89	1/8,1
33	3	1,5	18,5±0,39	23,4	11	117	1/10,6	9	88	1/9,8
34	3	3	27,2±0,44	22,2	30	121	1/4,3	21	89	1/4,2
35	3	3	30,6±0,46	22,2	27	117	1/4,3	22	78	1/3,5
36	3	3	28,3±0,45	22,1	28	110	1/3,9	19	80	1/4,2

Durante la realización de los ensayos fueron estudiados en total 4.664 individuos de *Bemisia tabaci* durante el período de octubre-julio del año 2015/2016. Se llevaron a cabo 36 ensayos, a diferentes velocidades en el dispositivo experimental, en cada uno de los ensayos llevados a cabo se analizaron entre 100-150 individuos.

Podemos observar en la tabla 14, los ensayos llevados a cabo con la malla número 1 fueron realizados con una temperatura media de 23,64°C, dicho textil presenta el coeficiente de exclusión más elevado de las mallas ensayadas a lo largo del proyecto, solamente un 15,5% de los individuos de *B. tabaci* lograron atravesarla. De los individuos que lograron atravesar el textil, la mayoría eran de sexo femenino (1:6,83 machos: hembras).

En los ensayos realizados con la malla número 1, en ausencia de aire y temperaturas entre 20 y 25 °C, la población de *B. tabaci* utilizada presenta una proporción (1:12 machos: hembras), sin embargo, en los ensayos realizados con temperaturas superiores a 25°C la población muestra una proporción (1:8,3 machos: hembras). Mientras que la población total utilizada en los 12 ensayos realizados con esta malla presentan una proporción (1:10,33 machos: hembras).

Los ensayos realizados con la malla número 2 presentan el segundo coeficiente más alto de los textiles ensayados, los ensayos se llevaron a cabo con una temperatura media de 23,96°C, solamente el 32,2% de los individuos de *B. tabaci* consiguieron atravesar esta malla, de los cuales la mayoría eran de sexo femenino (1:3,9 machos: hembras), pero, en la población que se utilizó durante la realización de estos ensayos el número de hembras era dos veces mayor (1:8,72 machos: hembras).

Como podemos observar en la tabla 14 en los ensayos realizados en condiciones de ausencia de aire con temperaturas entre 20 y 25 °C, la población de *B. tabaci* presenta un elevado número de individuos de sexo femenino (1:12 machos: hembras), en cambio, cuando la temperatura superaba los 25°C la proporción obtenida fue (1:6,6 machos: hembras).

En el caso de los ensayos realizados con la malla número 3 se llevaron a cabo con una temperatura media de 23,11°C, a diferencia de las dos mallas anteriores que presentaban unos coeficientes de exclusión altos a las diferentes velocidades ensayadas, en la presente malla lograron atravesarla el 75% de los individuos de *B. tabaci*, de los cuales la mayoría eran hembras (1:4,92 machos: hembras), la proporción que presentaba la población utilizada durante los ensayos de esta malla es (1:6,25 machos: hembras).

Los ensayos realizados con la malla número 3 sin presencia de aire y con temperaturas por debajo de los 25°C, la población de *B. tabaci* presenta una proporción (1:9,1 machos:hembras), al aumentarse la temperatura de los ensayos por encima de los 25°C la población de *Bemisia tabaci* muestra una proporción (1:5,8 machos:hembras).

5.3. Tridimensionalidad de las mallas antiinsectos

5.3.1. Análisis del efecto de la tridimensionalidad de los poros sobre la eficacia de las mallas antiinsectos frente a *Bemisia tabaci*

Mediante el análisis de la tridimensionalidad de los poros de las mallas antiinsectos, vamos a tratar de analizar el efecto de la tridimensionalidad sobre la eficacia de estos agrotexiles. Estas mallas presentan una luz de poro en la dirección de trama L_{px} muy similares pero largos de poros muy diferentes. En general, las tres mallas antiinsectos que presentan 20 hilos cm^{-1} en la urdimbre han mostrado un coeficiente de exclusión muy alto en condiciones de ausencia de aire, con una diferencia entre el mayor y el menor valor de eficacia de solamente 8 puntos porcentuales. Sin embargo, cuando la velocidad del aire aumenta, la dispersión entre los valores de eficacia ha sido mayor. En algunos casos, el coeficiente de exclusión desciende drásticamente hasta el valor del 28,7% para la malla número 3.

Por otro lado, las tres mallas antiinsectos que poseen una densidad de 16 hilos cm^{-1} en la urdimbre han presentado una eficacia media muy baja en condiciones de ausencia de aire, llegando a presentar una diferencia de 40 puntos porcentuales entre el valor máximo y mínimo.

Para analizar el efecto de la tridimensionalidad del poro sobre la eficacia de la malla frente a *Bemisia tabaci*, vamos a utilizar d_1 , d_2 y d_3 , calculadas según el método aproximado obtenido por Álvarez (2009). La distancia d_1 representa la máxima separación de dos hilos de urdimbre en el espacio, la distancia d_3 viene dada por el ancho del poro L_{px} medido en proyección ortogonal y la distancia d_2 es el valor medio de las distancias d_1 y d_3 . Además, vamos a analizar el coeficiente de forma (L_{px}/L_{py}), es decir, la relación entre el ancho y el largo de los poros que conforman las mallas. De esta forma, si la relación que presentan es muy baja (cercana a cero) indica que el poro es muy alargado, por tanto, los individuos de *B. tabaci* tienen una mayor superficie de paso.

Las características geométricas de las mallas, la relación entre las dimensiones del poro y la eficacia de las mallas en condiciones de laboratorio frente a *B. tabaci* se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15: Características geométricas de las mallas antiinsectos, relación entre las dimensiones del poro y la eficacia frente a *Bemisia tabaci*.

Malla antiinsectos	Densidad teórica	Luz dirección trama	Luz dirección urdimbre	Grosor hilos urdimbre	Grosor hilos trama	Espesor	Coeficiente de forma	d1	d2	d3	Eficacia media		
											$\rho_y \times \rho_x$ (hilos cm^{-2})	L_{px} (μm)	L_{py} (μm)
1	20x10	224,1	730,4	243,6	240,4	0,510	0,307	348,1	260,7	224,1	97,2	89	81,3
2	21x9	248,2	901,9	232,9	234	0,520	0,275	379,5	286,7	248,2	94,9	75,8	58,9
3	20x8	225,4	1029,4	280,2	264,3	0,546	0,219	348,5	261,7	225,4	89,2	18,6	28,7
4	16x9	357,9	870,9	245,4	244,6	0,518	0,411	449,9	383,0	357,9	48	-	-
5	16x8	351,2	1028,8	268,2	266,1	0,541	0,341	444,7	376,8	351,2	9,1	-	-
6	16x10	355,4	687,4	269,9	272	0,503	0,517	425,0	374,0	355,4	50,4	-	-

Para analizar el efecto de la tridimensionalidad sobre la eficacia de las mallas antiinsectos ensayadas, vamos a agrupar las seis mallas analizadas en la tabla 14 en dos grupos. El primer grupo está formado por tres mallas con una densidad en la dirección de urdimbre de 20 hilos cm^{-1} , las mallas número 1, 2 y 3 y un segundo grupo formado por tres mallas con una densidad en la dirección de urdimbre de 16 hilos cm^{-1} , las mallas número 4, 5 y 6.

El primer grupo formado por las mallas número 1, 2 y 3 presentan unas dimensiones de ancho de poro muy similares, la diferencia entre el mayor y menor valor de L_{px} ha sido de 24,1 μm . Estas diferencias son debidas, principalmente, a los diferentes grosores de los hilos de urdimbre. Sin embargo, estas mallas muestran diferentes densidades de hilos en la dirección de trama, de valores comprendidos entre 8 y 10 hilos cm^{-1} . El valor máximo del largo de poro ha sido de 1029,4 μm y el valor mínimo ha sido 730,4 μm .

Este grupo de mallas es considerado teóricamente eficaz frente a *Bemisia tabaci*, ya que presentan un ancho de poro L_{px} inferior a la dimensión media de su tórax (hembras). Con respecto a los individuos machos, estas mallas también impiden, teóricamente, su paso excepto en el caso de la malla número 2. En general, estos tejidos presentan una eficacia media alta frente a *B. tabaci* en condiciones de calma, comprendida entre los valores del 97,2% para la malla número 1 hasta el 89,2% para la malla número 3. Sin embargo, cuando se ha aumentado la velocidad del aire hasta 1,5 m s^{-1} , la eficacia de las mallas número 1 y 2 ha descendido ligeramente, por el contrario, la malla número 3 ha sufrido un descenso drástico hasta un valor del 18,6%.

Como revelan los resultados representados en la tabla 15, la malla número 3 presenta un coeficiente de forma (L_{px}/L_{py}) de 0,219 lo que indica que posee unos poros bastante rectangulares. Las mallas número (1 y 2), muestran un coeficiente de forma con un valor de 0,307 y 0,275, respectivamente, lo que revela que estos tejidos poseen unos poros menos rectangulares.

El valor de la distancia máxima d_1 y media d_2 de estas mallas ha sido superior a la dimensión media del tórax de este insecto (259 μm), por tanto, si determináramos estos valores como criterio para calcular la distancia teórica, ninguno de estos tejidos sería, teóricamente, eficaz frente a este insecto.

En general, al aumentar la velocidad del aire, la eficacia de estas mallas antiinsectos ha disminuido. Sin embargo, los resultados obtenidos para estos textiles han sido muy dispersos. Para las mallas número (1 y 2), esta pérdida de eficacia ha sido de 15,9 y 36 puntos porcentuales, respectivamente. Sin embargo, en el caso de la malla número 3, esta pérdida de eficacia ha sido mayor, hasta 70,6 puntos porcentuales. Para este grupo de textiles, la malla número 1 ha mostrado una eficacia alta frente a estos insectos tanto en condiciones de calma como a diferentes velocidades de aire. Este textil muestra el mayor coeficiente de forma (poros menos rectangulares) y el menor valor de d_2 .

El segundo grupo formado por las mallas número (4, 5 y 6), presentan una densidad de 16 hilos cm^{-1} en la dirección de urdimbre. Y unos valores de ancho de poro muy similares, la diferencia entre el mayor y menor valor de L_{px} ha sido de 6,7 μm . En el caso de la dirección de trama, estos tejidos presentan unas densidades de hilos comprendidas entre 8 y 10 hilos cm^{-2} , lo que provoca diferencias significativas entre los valores de largo de poro. Los valores de largo de poro L_{py} están comprendidos entre 1028,8 μm (malla número 5) y 687,4 μm (malla número 6).

Las mallas que conforman el segundo grupo no son consideradas teóricamente eficaces frente a *Bemisia tabaci*, debido a que estas mallas presentan un ancho de poro L_{px} mayor que las dimensiones del tórax de los individuos *B. tabaci*.

La eficacia media de estas tres mallas, se ha obtenido tras la realización de diversos ensayos en ausencia de aire y a diferentes temperaturas. En condiciones de calma, los valores de eficacia que presentan estos tejidos han sido muy dispersos, con una diferencia de 41,3 puntos porcentuales entre el valor máximo y el mínimo.

En este grupo de tejidos, la malla número 5 ha mostrado el menor valor de eficacia, con una diferencia máxima de 41,3 puntos porcentuales con respecto al resto de tejidos. Este tejido ha presentado el menor valor del coeficiente de forma (0,341) mostrando una geometría de poro muy rectangular. Los poros de los tejidos número (4 y 6) han sido menos rectangulares con un coeficiente de forma de valor 0,411 y 0,511, respectivamente. Como en el anterior grupo, los valores de d_1 y d_2 han sido mayores que el valor del ancho del tórax del insecto, por tanto, estos tejidos, teóricamente, no son eficaces frente a *B. tabaci*.

Desde el punto de vista del efecto de la tridimensionalidad, los tejidos con poros menos rectangulares, por tanto, con mayores valores del coeficiente de forma, han sido más eficaces

frente a este insecto tanto en condiciones de calma como a diferentes velocidades de aire. Para la determinación de la eficacia teórica, se debería utilizar como medida de referencia el valor de d_2 . El valor d_2 y el coeficiente de forma permiten establecer un nuevo criterio de diseño que asegura el valor de la eficacia de las mallas antiinsectos en condiciones de calma cuando no se tienen medios para hacer ensayos en condiciones de laboratorio.

6. Conclusiones

6. Conclusiones

Las conclusiones extraídas del presente trabajo sobre la eficacia de las mallas antiinsectos estudiadas desde un punto de vista tridimensional frente a *Bemisia tabaci*, son las siguientes:

Caracterización geométrica de las mallas antiinsectos

1. Las densidades de hilos teóricas aportadas por los fabricantes no coinciden con las densidades medias de hilos obtenidas mediante el programa informático (Euclides v.1.4).
2. Cinco de las seis mallas antiinsectos estudiadas presentan un grosor de los hilos en la dirección de trama y en la dirección de urdimbre muy similares. excepto para la malla número 3 que muestra una diferencia entre los grosores de 15 μm .
3. Los seis textiles estudiados muestran una geometría rectangular de poro, es decir, presentan un mayor número de hilos en la dirección de urdimbre L_{py} respecto a la dirección de trama L_{px} . Por tanto, todas las mallas estudiadas presentan un mayor tamaño de luz de poro en la dirección de urdimbre que respecto al tamaño de la luz de poro en la dirección de trama. Para determinar la uniformidad de los tejidos estudiados utilizamos los histogramas de frecuencia y los coeficientes de forma (sesgo y curtosis). El 66% de las mallas analizadas pueden ser consideradas como uniformes. El resto de tejidos han mostrado una baja uniformidad. La falta de uniformidad del ancho del poro se debe al mal estado de los peines de los telares. En el caso del largo del poro, su heterogeneidad es debida a problemas durante la fase en la que los hilos de trama son conducidos entre los hilos de urdimbre a través de una lanzadera. En esta fase el factor limitante durante la producción es la velocidad de la lanzadera.
4. El valor de la porosidad está directamente relacionado con las dimensiones del poro y el diámetro de los hilos. Las mallas antiinsectos con la misma densidad de hilos pero confeccionados con hilos de menor grosor mostraran mayores valores de porosidad.

Determinación de la eficacia teórica de las mallas antiinsectos frente a Bemisia tabaci

5. La eficacia teórica se determina mediante la comparación entre el valor medio del ancho de tórax de *Bemisia tabaci* (Oliva y Álvarez, 2015) y la dimensión de la luz del poro en la dirección de trama L_{px} .
6. El 50% de las mallas antiinsectos analizadas son eficaces, teóricamente, frente a los individuos hembras de la especie *B. tabaci*.

Eficacia de las mallas antiinsectos frente a Bemisia tabaci

7. La velocidad del aire, la temperatura y la proporción de sexos de las poblaciones de insectos estudiados son variables que influyen sobre la eficacia de los agrotexiles.
8. En el intervalo de temperaturas entre 25 y 30 °C los insectos están más activos y muestran una mayor predisposición a atravesar el textil, por tanto, los valores de eficacia alcanzados durante estos ensayos son menores que los obtenidos en el intervalo de temperaturas entre los valores de 20 y 25 °C. Además, en las poblaciones de mosca blanca, la temperatura también es una variable que influye sobre la proporción entre sexos. A mayores temperaturas, existen un mayor número de individuos machos. Esta variable está directamente relacionada con la pérdida de eficacia de las mallas en los ensayos realizados en el intervalo de temperaturas más altas debido a la mayor facilidad que tienen estos individuos para atravesar el textil (son de menor tamaño).
9. La malla número 1 (20x10 hilos cm^{-2} , L_{px} 224,1 μm , L_{py} 730,4 μm) presenta el mayor coeficiente de exclusión de las seis mallas analizadas, con un valor máximo del 97,2% en ausencia de aire, y del 81,3% a 3 m s^{-1} . En el caso de la malla número 2 (21x9 hilos cm^{-2} , L_{px} 248,2 μm , L_{py} 901,9 μm) el valor de eficacia obtenido en ausencia de aire ha sido del 94,9%, pero al aumentar la velocidad del aire su eficacia se ha visto reducida de forma considerable hasta el 58,9% a una velocidad de 3 m s^{-1} . Sin embargo, la mayor dispersión obtenida entre los valores de eficacia ha sido para la malla número 3 (20x8 hilos cm^{-2} , L_{px} 225,4 μm , L_{py} 1029,4 μm). Este tejido ha sido eficaz en ausencia de aire (89,2%), pero al aumenta la velocidad del aire su eficacia se ha reducido drásticamente (18,6%). El resto de tejidos no han sido eficaces frente a *B. tabaci*.

Tridimensionalidad de las mallas antiinsectos

10. Los resultados de la eficacia teórica no están en concordancia con los obtenidos en condiciones de laboratorio. Hay que tener en cuenta que lo que se analiza desde el punto de vista teórico es el paso de un cuerpo cilíndrico con un diámetro de valor igual al ancho del poro medido en proyección ortogonal (L_{px}) sin tener en cuenta otras variables como la velocidad del aire y la temperatura.
11. Las mallas con poros más “rectangulares”, es decir, coeficientes de forma más cercanos a cero, permiten el paso de un mayor número de insectos. Al aumentar la velocidad del aire, la eficacia de estas mallas disminuye de forma más acusada. La medida determinada por el ancho del poro L_{px} no debería ser considerada como la más limitante debido a que los hilos de urdimbre se separan en el plano ortogonal al tejido hasta cruzarse perpendicularmente con el siguiente hilo de trama dejando una superficie más grande de la que puede medirse en proyección ortogonal. Por tanto, el valor medio de la distancia entre los hilos de urdimbre d_2 es el más limitante de las dimensiones del poro.
12. Para *B. tabaci*, la eficacia teórica determinada por la comparación entre el valor del ancho de tórax y la distancia media d_2 del poro ha sido similar a los valores de eficacia obtenidos en condiciones de calma. Sin embargo, un insecto es una estructura viva que dista mucho de esa consideración teórica por ese motivo el estudio de la evaluación de la eficacia de las mallas antiinsectos debe ir siempre unido al análisis experimental.

7. Bibliografía

7. Bibliografía

- Abou Jawdah, Y., Shebaro, W.A. and Soubra, K.H., 1995. Detection of *Tomato yellow leaf curl geminivirus* (TYLCV) by a digoxigenin-labelled DNA probe. *Phytopath. Medit.*, 34: 52-57.
- Accoto, G.P., Vaira, A.M., Noris, E. and Caciagli, P., 1994. Analysis of an in vivo generated mutant that is not transmissible by *Bemisia tabaci*. In: 1st International Symposium on Geminiviruses, 14- 17 September 1994, El Ejido, Almería, Spain. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Universidad de Málaga, Spain, p. 68.
- Alomar, O., Goula, M., Albajes, R. 2002. Colonisation of tomato fields by predatory mirid bugs (*Hemiptera: Heteroptera*) in northern Spain. *Agric. Ecosyst. Environ.* 89:105–115.
- 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. Universidad de Almería (2009).
- Álvarez, A.J., Oliva, R.M. 2015. Primeros resultados sobre la eficacia de barreras físicas frente a *Drosophila suzukii*. *Phytoma España* 269, 36-38.
- Antignus, Y. and Cohen, S., 1994. Complete nucleotide sequence of an infectious clone of a mild isolate of *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV). *Phytopathology*, 84: 707-712.
- Arnó J, Castañé C, Riudavets J, Gabarra R. 2010. Risk of damage to tomato crops by the generalist zoophytophagous predator *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) (*Hemiptera: Miridae*). *Bull. Entomol. Res.* 100:105–115.
- Arnó J, Gabarra R, Albajes R. 2005. Conservación de míridos depredadores para el control biológico en cultivos de tomate bajo invernadero: historia, éxitos y limitaciones. *Phytoma-España* 165:40–43.
- Avilla, C., Collar, J.L., Duque de Cella, M., Hernaiz, P.J., Pérez, P., Ferreres, A. 1994. Control de virosis en pimiento mediante cubiertas agrotexiles. *Boletín Sanidad Vegetal Plagas* 20, 457-464.

- Azab AK, Megahed MM, El-Mirsawi HD. 1969. Effect of degree of pubescence of host-plant on the number and distribution of dorsal spines in pupa of *Bemisia tabaci* (Genn.). Bull. Soc. Entomol. Égypte 53:353–357.
- Bailey, B. 2003. Screens stop insects but slow airflow. Fruit & Veg. Tech. 3(2), 6-8.
- Beitia, F.J., Hernández-Suarez, E., y Carnero, A. 2001. La mosca blanca del Tabaco, *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) (*Homoptera, Aleyrodidae*) I Generalidades. Terralia (2001) 22, 60-65.
- Belda, J.E., Rodriguez, M.D. 1989. Boundary-layer predictions for small low-speed contractions. AIAA Journal 27, 372-374.
- Bell, M.L. and Baker, J.R., 2000. Comparison of greenhouse Screening materials for excluding whitefly (*Homoptera:Aleyrodidae*) and thrips (*Thysanoptera:Thripidae*). Horticultural Entomology (2000) 93(3), 800-804.
- Bell, M.L., Baker, J.R. 1997. Choose a greenhouse screen based on its pest exclusion efficiency. N.C. Flower Growers' Bulletin, Vol. 42, no. 2, 7-13.
- Berlinger, M.J. and Dahan. R., 1989. *Bemisia tabaci* the vector of *Tomato yellow leaf curl virus*: A challenge to Southern European entomologist. In: R. Cavalloro and C. Pelerenst (Editors), Integrated Pest Management in Protected Vegetable Crops. Proceedings of the CEC/IOBC Expert's Group Meeting, 27-29 May 1987, Cabrils. A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 67-71.
- Berlinger, M.J., Taylor R.A.J., Lebiush-Mordechi S., Shalhevet S., Spharim I., 2002. Efficiency of insect exclusion screens for preventing whitefly transmission of *Tomato yellow leaf curl virus* of tomatoes in Israel. Bulletin of Entomological Research (2002) 92, 367-373.
- Bethke JA, Paine TD, Nuessly GS. 1991. Comparative biology, morphometrics, and development of two populations of *Bemisia tabaci* (*Homoptera: Aleyrodidae*) on cotton and poinsettia. Ann. Entomol. Soc. Am. 84:407–411.
- Bethke, J.A. 1994. Considering installing screening. This is what you need to know. Greenhouse Manager 34-36.

Bethke, J.A., Paine, T.D. 1991. Screen hole size and barriers for exclusion on insect pest of glasshouse crops. *J. Entomol. Sci.* 26, 169-177.

Blackmer JL, Byrne DN. 1993a. Flight behaviour of *Bemisia tabaci* in a vertical flight chamber: effect of time of day, sex, age and host quality. *Physiol. Entomol.* 18:223–232.

Blackmer JL, Byrne DN. 1993b. Environmental and physiological factors influencing phototactic flight of *Bemisia tabaci*. *Physiol. Entomol.* 18:336–342.

Buckner JS, Freeman TP, Ruud RL, Chu CC, Henneberry TJ. 2002. Characterization and functions of the whitefly egg pedicel. *Arch. Insect Biochem. Physiol.* 49:22–33.

Byrne DN, Bellows TS. 1991. Whitefly biology. *Annu. Rev. Entomol.* 36:431–457.

Byrne, C. 2007. Technical textiles market – an overview. En: *Handbook of technical textiles*. Editado por A.R. Horrocks y S.C. Anand. The Textile Institute. Reino Unido.

Caciagli, P., Bosco, D. and Al-Biter, L., 1995. Relationships of the Sardinian isolate of *Tomato yellow leaf curl* geminivirus with its whitefly vector *Bemisia tabaci* *Gen. Eur. J. Plant Pathol.*, 101: 163-170.

Calvo J, Bolckmans K, Stansly S, Urbaneja A. 2008. Predation by *Nesidiocoris tenuis* on *Bemisia tabaci* and injury to tomato. *BioControl* 54:237–246.

Castañé C, Savé R. 1993. Leaf osmotic potential decrease: a possible cause of mortality of greenhouse whitefly eggs. *Entomol. Exp. Appl.* 69:1–4.

Cherif, C. and Russo, M., 1983. Cytological evidence of the association of a geminivirus with *The tomato yellow leaf curl* disease in Tunisia. *Phytopath. Z.*, 108: 221-225.

Cohen, S. and Harpaz, I., 1964. Periodic, rather than continual acquisition of new tomato virus by its vector, the tobacco whitefly *Bemisia tabaci* (*Gennadius*). *Entomol. Exp. Appl.*, 7: 155- 166.

Cohen, S. and Nitzrmy, F.E., 1966. Transmission and host range of the *Tomato yellow leaf curl virus*. *Phytopathology*, 56: 1127- 1131.

- Cohen, S., 1990. Epidemiology of whitefly-transmitted viruses. In: D. Gerling (Editor), *Whiteflies: Their Bionomics, Pest Status and Management*. Intercepted Ltd., Andover, pp. 221-225.
- Cohen, S., Kern, J., Harpaz, I. and Ben-Joshep, R., 1988. Epidemiological studies of the *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) in the Jordan Valley, Israel. *Phytoparasitica*, 16: 259-270.
- Coombe, PE. 1982. Visual behaviour of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*. *Physiol. Entomol.* 7:243–251.
- Credi, R., Betti, L. and Canova, A., 1989. Association of a geminivirus with a severe disease of tomato in Sicily. *Phytopath. Medit.*, 28: 223-226.
- Díaz-Pérez M., Camacho Ferre F., Gallardo Villanueva D., Arie K., 2003. Utilización de mallas antiinsectos en invernadero. *Vida Rural* (2003)167, 42-44.
- Domenichini, G., 1981. Strutture di *Trialeurodes vaporariorum* (Westw.) e loro funzioni. *Mem. Soc. Ent. Ital. Genova* 60:169–176.
- Fernández, O., Salgado, C. 2006. Agrotexiles para la protección de cultivos. *Terralia* 58, 22-31.
- Gallitelli, D., Luisoni, E., Martinelli, G.P., Caciagli, P., Milne, R.G., Accotto, G.P. and Antignus, Y., 1991. L'accarttciamento fogliare giallo del pomodoro in Sardegna. *Inform. Fitopatol.*, 7-8: 42-46.
- Gelman DB, Blackburn MB, Hu JS, Gerling D. 2002. The nymphal-adult molt of the silverleaf whitefly (*Bemisia argentifolii*): timing, regulation, and progress. *Arch. Insect Biochem. Physiol.* 51:67–79.
- Gelman DB, Gerling D. 2003. Host plant pubescence: effect on silverleaf whitefly, *Bemisia argentifolii*, fourth instar and pharate adult dimensions and ecdysteroid titer fluctuations. *J. Insect Sci.* 3:1–8.
- Gennadius, P., 1889. Disease of tobacco plantations in the Trikonía. The aleurodid of tobacco. *Ellenike Georgia*, 5: 1-3.

- Gerling, D., 1986. Natural enemies of *Bemisia tabaci*, biological characteristics and potential as biological control agents: a review. *Agric. Ecosys. Environ.*, 17: 99-110.
- Guershon M, Gerling D. 2001. Effect of foliar tomentosity on phenotypic plasticity in *Bemisia tabaci* (Hom., Aleyrodidae). *J. Appl. Entomol.* 125:449–453.
- Hennebeny, T.J. and Bellows, T.S., 1995. Sweetpotato whitefly. In: J.R. Nichols, L.A. Andres, J.W. Beradsley, R.D. Goeden and C.G. Jackson (Editors), *Biological Control in the Western United States*-University of California. Division of Agriculture and Natural Resources, pp. 115- 117.
- Horowitz, A.R. and Gerling, D., 1992. Seasonal variation of sex ratio in *Bemisia tabaci* on cotton in Israel. *Environ. Entomol.*, 21: 556-559.
- Ioannou, N. and Iordanou, N., 1985. Epidemiology of *Tomato yellow leaf curl virus* in relation to the population density of its whitefly vector, *Bemisia tabaci* (*Gemradius*). *Tech. Bull. Agric. Res. Inst. Cyprus*, 71: 1-7.
- Ioannou, N., 1985. Yellow leaf curl and other virus diseases of tomato in Cyprus. *Plant Pathol.*, 34: 428-434.
- Jorda, C., 1993a. Una nueva enfermedad en el tomate: el TYLCV. *Agricola Vergel*, 133: 13-15.
- Jorda, C., 1993b. Impacto viral en la costa mediterránea occidental. *Agricola Vergel*, 139: 367-370.
- Kisha, J.S.A., 1981. The effect of insecticides on *Bemisia tabaci*, Tomato leaf curl virus disease incidence and yield of tomatoes in Sudan. *Ann. Appl. Biol.*, 99: 231-239.
- Lacasa, A. and Contreras, J., 1995. Las plagas. In: F. Nuez (Editor), *El Cultivo del Tomate*. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, pp. 386-467.
- Makkouk, K.M., 1978. A study on tomato viruses in the Jordan Valley with special emphasis on *Tomato yellow leaf curl*. *Plant. Dis.*, 62: 259-268.
- Makkouk, K.M., Shehab, S. and Majdalani, S.E., 1979. *Tomato yellow leaf curl*: incidence, yield losses and transmission in Lebanon. *Phytopath. Z.*, 96: 263-267.

- Mazyad, H.M., Omar, F., Al-Taher, K. and Salha, M., 1979. Observations on the epidemiology of *Tomato yellow leaf curl* disease on tomato plants. *Plant. Dis.*, 63: 695-698.
- Moriones, E., Amo, J., Accotto, G.P., Noris, E. and Cavallarin, L., 1993. Fit report of *Tomato yellow leaf curl virus* in Spain. *Plant Dis.*, 77: 953.
- Mound, L.A., 1962. Studies on the olfaction and colour sensitivity of *Bemisia tabaci* (Genn.) (*Homoptera, Aleyrodidae*). *Entomol. Exp. Appl.* 5:99–104.
- Mound, L.A., 1983. Biology and identity of whitefly vectors of plants pathogens. In: R.T. Plumb and J.M. Thresh (Editors), *Plant Virus Epidemiology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 305-313.
- Nakhla, M.K., Maxwell, D.P., Martinez, R.T., Carvalho, M.G. and Gilbertson, R.L., 1994. Widespread occurrence of the eastern mediterranean strains of *Tomato yellow leaf curl geminivirus* in tomatoes in the Dominican Republic. *Plant Dis.*, 78: 926.
- Nakhla, M.K., Mazyad, H.M. and Maxwell, D.P., 1993. Molecular characterization of four *Tomato yellow leaf curl virus* isolates from Egypt and development of diagnostic methods. *Phytopath. Medit.*, 32: 163-173.
- Nannini, M., 2003. The predatory capacity of *Macrolophus caliginosus* Wagner and *Nesidiocoris tenuis* Reuter (*Heteroptera: Miridae*) preying on whiteflies. In *Proceedings of the 3rd International Bemisia Workshop Barcelona, March 17–20, 2003*, p. 86.
- Natarajan, K., 1990. Natural enemies of *Bemisia tabaci* (*Gennadius*) and effect of insecticides on their activity. *J. Biol. Control*, 4: 86-88.
- Neal JW, Bentz J. 1999. Evidence for the stage inducing phenotypic plasticity in pupae of the polyphagous whiteflies *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia argentifolii* (*Homoptera: Aleyrodidae*) and the raison d’être. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 92:774–787.
- Nitzany, 1975. *Tomato yellow leaf curl virus*. *Phytopath. Medit.*, 14: 127- 129.
- Nucifora, S., 1994. Mallas antiviral para la defensa del cultivo de tomate protegido contra *Bemisia tabaci*, vector de1 TYLCV. *Phytoma Esptia*, 57: 40-48.
- Oliva, R.M., Álvarez, A.J. 2013. Evaluación de la eficacia de las mallas antiinsectos frente a *Bemisia tabaci* en condiciones de laboratorio. *Vida Rural* (2013) 364, 18-21.

- Oliva, 2013. Determinación en condiciones de laboratorio de la efectividad de las mallas antiinsectos frente a la mosca blanca *Bemisia tabaci*. Trabajo de investigación. Universidad de Almería.
- Oliva, 2017. Eficacia de los agrotexiles como método de protección de cultivos. Tesis doctoral. Universidad de Almería. Editorial Universidad de Almería.
- Picó, B., Díez, MJ and Nuez, F., 1996 Viral diseases causing the greatest economic losses to the tomato crop. II The *Tomato yellow leaf curl virus* a review. *Scientia Horticulture* (1996) 67, 151-196.
- Polizzi, G. and Areddia, R., 1992. L'accartocciamento fogliare giallo del pomodoro in Calabria. *Inform. Fitopatol.*, 10: 47-49.
- Powell DA, Bellows TS, Jr. 1992. Adult longevity, fertility and population growth rates for *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hom, Aleyrodidae) on two host plant species. *J. Appl. Entomol.* 113:68–78. (#39).
- Price JF, Taborsky D. 1992. Movement of immature *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) on poinsettia leaves. *Florida Entomol.* 75:151–153.
- Rapisarda, C., 1990. La *Bemisia tabaci* vettore del TYLCV in Sicilia. *Inform. Fitopatol.*, 6: 27-31.
- Sanchez JA, Lacasa A. 2008. Impact of the zoophytophagous plant bug *Nesidiocoris tenuis* (Heteroptera: Miridae) on tomato yield. *J. Econ. Entomol.* 101:1864– 1870.
- Sanchez JA. 2008. Zoophytophagy in the plant bug *Nesidiocoris tenuis*. *Agric. Forest Entomol.* 10:75–80.
- Sharaf, N., 1986. Chemical control of *Bemisia tabaci*. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 17: 111-127.
- Summers CG, Newton AS, Estrada D. 1996. Intraplant and interplant movement of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) crawlers. *Environ. Entomol.* 25:1360–1364.
- Ticó, J., Figuls, M., Aparicio, V., García, M.M., Rodríguez, M.P. 2002. Eficacia de la malla fotoselectiva BioNet en la prevención de la mosca blanca y TYLCV en cultivos protegidos. *Phytoma España* 135, 87-92.

Vacante V, Benuzzi M. 2002. Pomodoro, la difesa biologica e integrate. *Colture Protette* 8:27–33.

Van Lenteren JC, Noldus LPJJ. 1990. Whitefly-plant relationships: behavioural and ecological aspects. In *Whiteflies: Their Bionomics, Pest Status and Management*, ed. D Gerling, pp. 47–89. Andover, Hants: Intercept Ltd.

Direcciones web

<http://forums.gardenweb.com/discussions/2243127/yellow-leaf-curl-virus-infected-all-my-tomatoes-plants>

<https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5411489>

Anexo 1

MALLA NÚMERO 1 (20x10 hilos cm⁻²)

Densidad media (21,4x10,3 hilos cm⁻²)

Tabla 16: Parámetros geométricos de la malla número 1.

Malla	L _{px} (μm)	L _{py} (μm)	D _{hx} (μm)	D _{hy} (μm)	Sesgo	Curtosis	Porosidad (%)
Media	224,1	730,4	240,4	243,6			
DE	30,0	15,9	9,9	8,8	0,37	0,39	36,5
CV (%)	4,1	7,1	4,1	3,7			

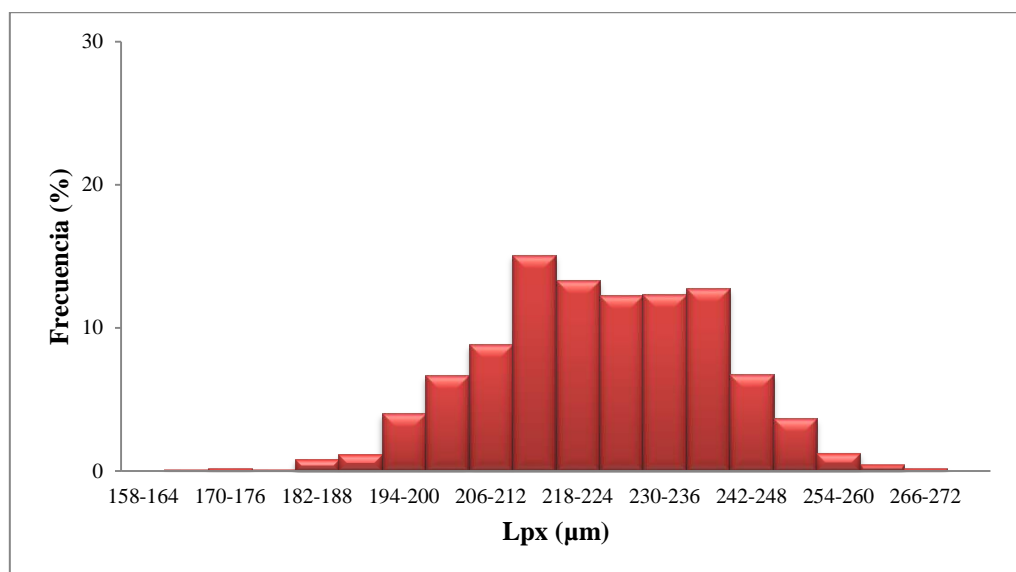


Fig. 47. Histograma de frecuencias de la variable L_{px} de la malla número 1.

MALLA NÚMERO 2 (21x9 hilos cm⁻²)

Densidad media (20,8x8,8 hilos cm⁻²)

Tabla 17: Parámetros geométricos de la malla número 2.

Malla	L _{px} (μm)	L _{py} (μm)	D _{hx} (μm)	D _{hy} (μm)	Sesgo	Curtosis	Porosidad (%)
Media	248,2	901,9	234,0	232,9			
DE	40,7	27,9	7,8	6,4	0,32	0,12	41,2
CV (%)	4,5	11,2	3,4	2,7			

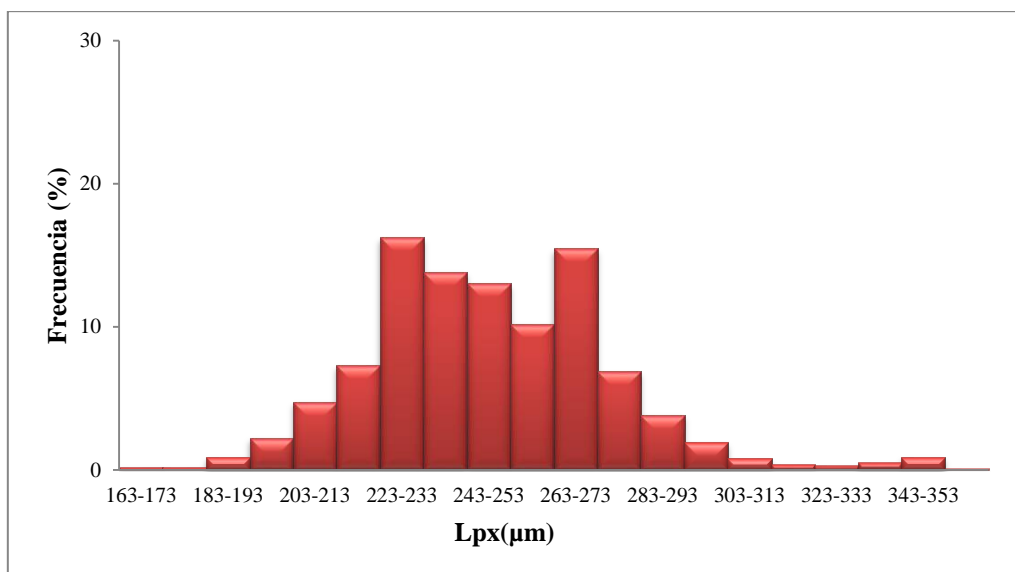


Fig. 48. Histograma de frecuencias de la variable L_{px} de la malla número 2.

MALLA NÚMERO 3 (20x8 hilos cm⁻²)

Densidad media (19,8x7,7 hilos cm⁻²)

Tabla 18: Parámetros geométricos de la malla número 3.

Malla	L _{px} (μm)	L _{py} (μm)	D _{hx} (μm)	D _{hy} (μm)	Sesgo	Curtosis	Porosidad (%)
Media	225,4	1029,4	264,3	280,2			
DE	28,4	57,7	22,3	18,8	0,05	-0,16	35,4
CV (%)	12,6	5,6	8,4	6,7			

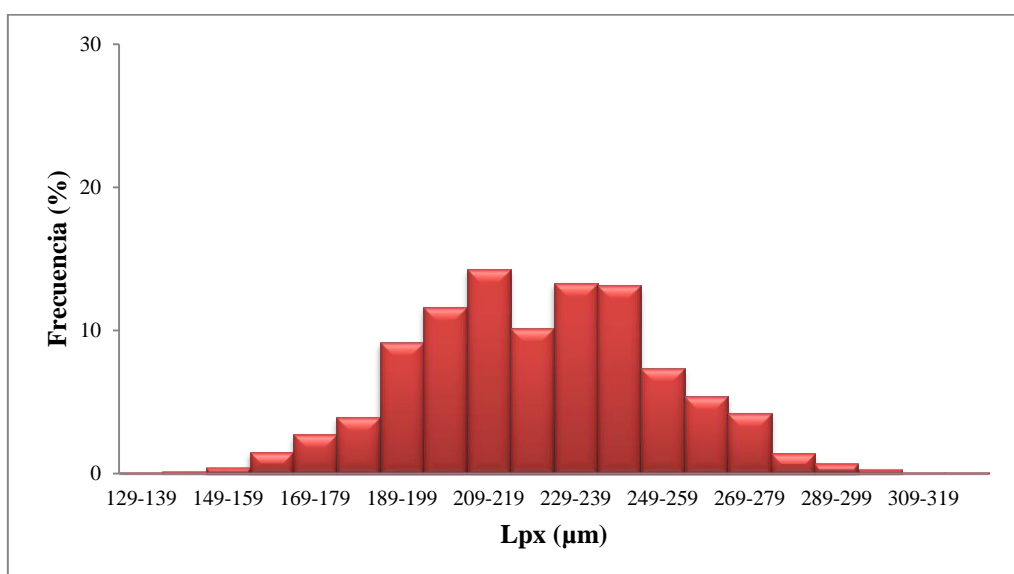


Fig. 49. Histograma de frecuencias de la variable L_{px} de la malla número 3.

MALLA NÚMERO 4 (16x9 hilos cm⁻²)

Densidad media (16,6x9 hilos cm⁻²)

Tabla 19: Parámetros geométricos de la malla número 4.

Malla	L _{px} (μm)	L _{py} (μm)	D _{hx} (μm)	D _{hy} (μm)	Sesgo	Curtosis	Porosidad (%)
Media	357,9	870,9	244,6	245,4			
DE	28,1	29,5	7,5	7,5	0,08	-0,77	46,3
CV (%)	3,2	8,3	3,1	3,1			

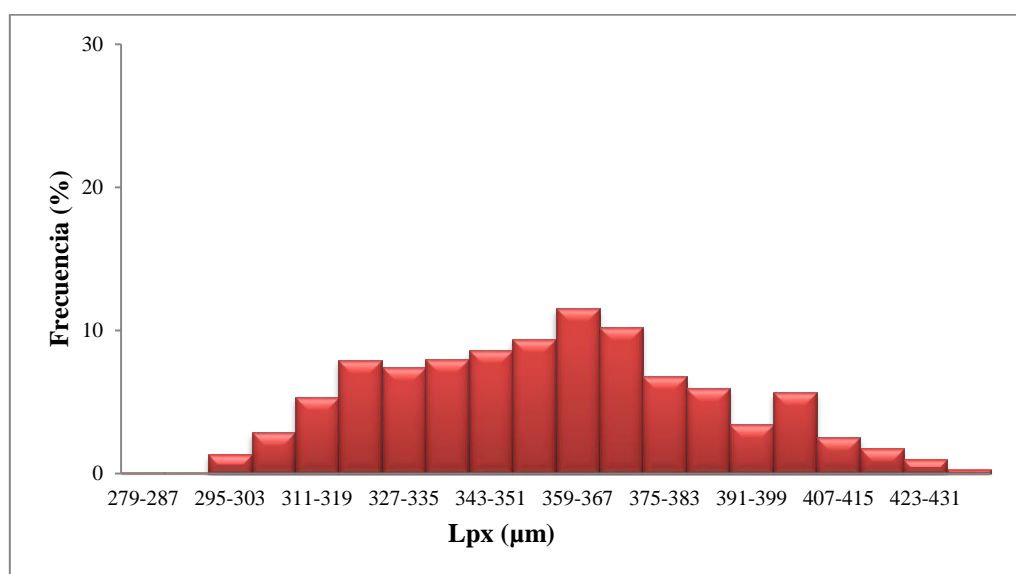


Fig. 50. Histograma de frecuencias de la variable L_{px} de la malla número 4.

MALLA NÚMERO 5 (16x8 hilos cm⁻²)

Densidad media (16,2x7,7 hilos cm⁻²)

Tabla 20: Parámetros geométricos de la malla número 5.

Malla	L _{px} (μm)	L _{py} (μm)	D _{hx} (μm)	D _{hy} (μm)	Sesgo	Curtosis	Porosidad (%)
Media	351,2	1028,8	266,1	268,2			
DE	39,5	29,1	11,9	15,6	0,41	1,04	45,0
CV (%)	11,2	2,8	4,5	5,8			

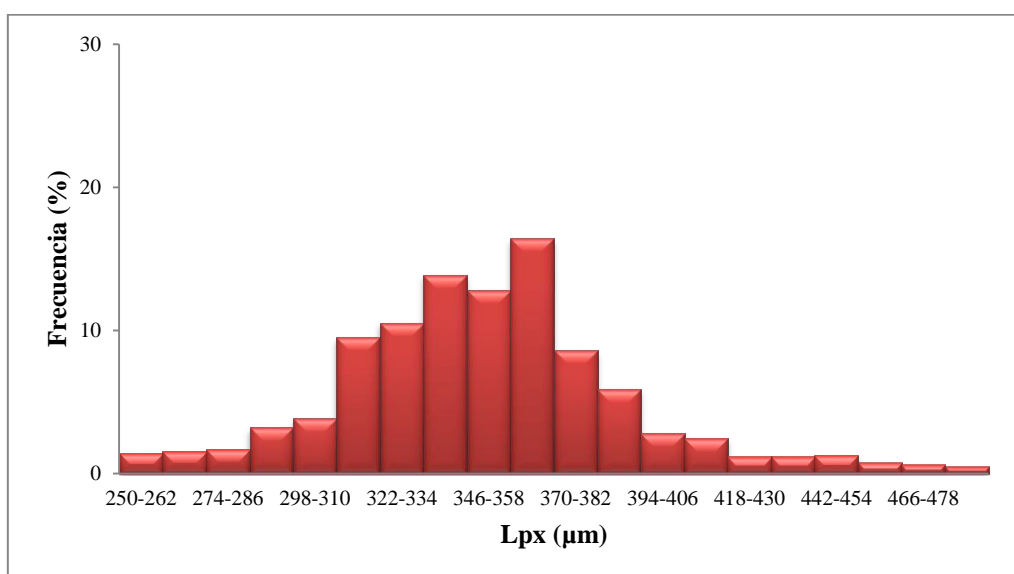


Fig. 51. Histograma de frecuencias de la variable L_{px} de la malla número 5.

MALLA NÚMERO 6 (16x10 hilos cm⁻²)

Densidad media (16x10,4 hilos cm⁻²)

Tabla 21: Parámetros geométricos de la malla número 6.

Malla	L _{px} (μm)	L _{py} (μm)	D _{hx} (μm)	D _{hy} (μm)	Sesgo	Curtosis	Porosidad (%)
Media	355,4	687,4	272,0	269,9			
DE	70,6	29,2	20,2	9,1	0,93	6,89	40,7
CV (%)	10,3	8,2	7,5	3,3			

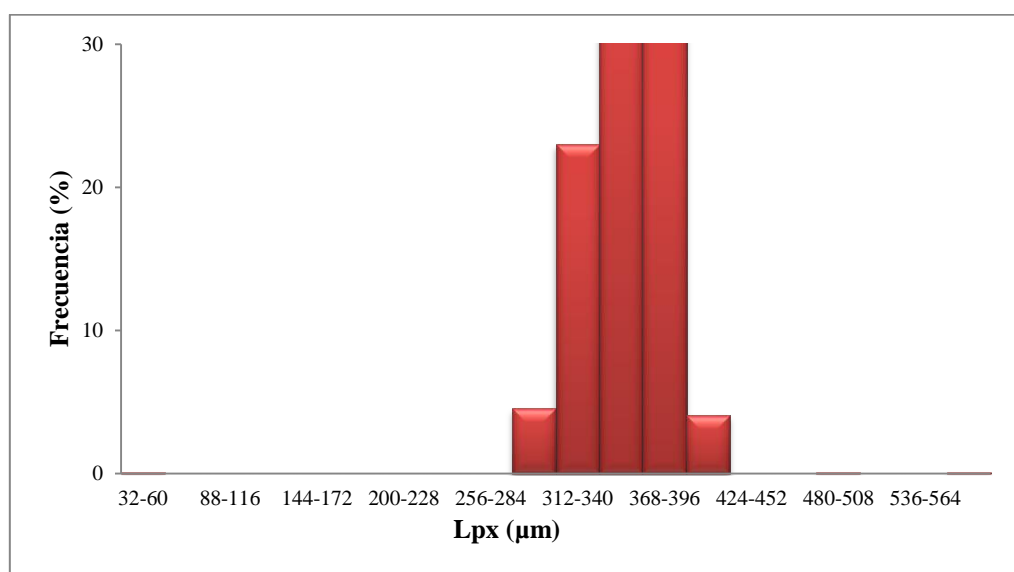


Fig. 52. Histograma de frecuencias de la variable L_{px} de la malla número 6.

Anexo 2

MALLA NÚMERO 4 (16x9 hilos cm⁻²)

Densidad media (16,6x9 hilos cm⁻²)

Tabla 22: Resultados obtenidos frente a *Bemisia tabaci*, de la población, los individuos que pasan, velocidad teórica, eficacia y temperatura de la malla número 4.

Ensayo	Malla	Velocidad teórica	Eficacia	T ^a	Población			Pasan		
		(m s ⁻¹)	%±σ	°C	Machos	Hembras	Proporción	Machos	Hembras	Proporción
1	4	0	70,1±0,46	21,3	10	97	1/9,7	4	28	1/7
2	4	0	64,1±0,48	21,2	8	84	1/10,5	3	30	1/10
3	4	0	66,2±0,47	20,9	21	130	1/6,2	11	40	1/3,6
4	4	0	30,4±0,46	28,2	19	96	1/5,1	14	66	1/4,7
5	4	0	24,2±0,43	28,2	20	104	1/5,2	16	78	1/4,8
6	4	0	32,7±0,47	28,3	22	88	1/4	17	57	1/3,3

MALLA NÚMERO 5 (16x8 hilos cm⁻²)

Densidad media (16,2x7,7 hilos cm⁻²)

Tabla 23: Resultados obtenidos frente a *Bemisia tabaci*, de la población, los individuos que pasan, velocidad teórica, eficacia y temperatura de la malla número 5.

Ensayo	Malla	Velocidad teórica	Eficacia	T ^a	Población			Pasan		
		(m s ⁻¹)	%±σ	°C	Machos	Hembras	Proporción	Machos	Hembras	Proporción
1	5	0	13,7±0,34	21,4	20	191	1/9,5	15	167	1/11,1
2	5	0	3,1±0,17	22,3	9	127	1/14,1	9	115	1/12,8
3	5	0	9,7±0,29	20,8	15	140	1/9,3	12	128	1/10,6
4	5	0	7,4±0,26	26,7	7	142	1/20,3	6	132	1/22
5	5	0	10,8±0,31	25,7	22	135	1/6,1	19	121	1/6,3
6	5	0	10,0±0,30	28,2	15	95	1/6,3	15	84	1/5,6

MALLA NÚMERO 6 (16x10 hilos cm⁻²)

Densidad media (16x10,4 hilos cm⁻²)

Tabla 24: Resultados obtenidos frente a *Bemisia tabaci*, de la población, los individuos que pasan, velocidad teórica, eficacia y temperatura de la malla número 6.

Ensayo	Malla	Velocidad teórica (m s ⁻¹)	Eficacia %±σ	T ^a °C	Población			Pasan		
					Machos	Hembras	Proporción	Machos	Hembras	Proporción
1	6	0	73,9±0,44	21,1	15	104	1/6,9	7	22	1/3,1
2	6	0	60,4±0,49	21,4	14	87	1/6,2	8	32	1/4
3	6	0	50,4±0,50	20,7	12	107	1/8,9	8	51	1/6,4
4	6	0	37,4±0,48	28,6	20	87	1/4,3	14	53	1/3,8
5	6	0	41,3±0,49	26,2	40	86	1/2,1	14	60	1/4,3
6	6	0	39,0±0,49	28,1	30	124	1/4,1	20	74	1/3,7



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

GRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA, 2016/2017