

Empleo de cubiertas orgánicas y sintéticas en producción vegetal

Análisis de las prestaciones de cubiertas plásticas, vegetales, mixtas, líticas y de papel

Pilar Barreiro.

Catedrática en Ingeniería Agroforestal. ETSIA. UPM.

En este artículo revisaremos los trabajos más exhaustivos y recientes sobre el uso de cubiertas en agricultura que aglutinan más de doscientas referencias científicas, así como algunas recomendaciones de centros de extensión americanos (Nebraska y Virginia) y centros de investigación europeos (VTT, Universidad de Helsinki), además de un estudio de investigación chino por su novedad.



Residuos de plásticos convencionales en el suelo agrícola. Fuente: Universidad de Helsinki, 2014.

El empleo de cubiertas tanto orgánicas (paja, heno, hojas, cubiertas verdes) como sintéticas (plásticas, fotodegradables, biodegradables, de papel, etc.) y líticas (piedras, gravas, cantos y cenizas volcánicas), es un método reconocido por su efecto en la temperatura del suelo, la conservación de humedad del suelo y la reducción de erosión, así como sobre la reducción de malas hierbas, la necesidad de tratamientos herbicidas y sus costes asociados. Las cubiertas amortiguan las

fluctuaciones térmicas del suelo en los 20-30 cm superficiales, lo que favorece el desarrollo de las raíces.

Las cubiertas plásticas además reducen la incidencia de algunas plagas y permiten un mejor uso de los nutrientes, aspectos favorables que se ven claramente ensombrecidos por los problemas económicos y medioambientales derivados de los residuos plásticos.

Por su parte, las cubiertas orgánicas ayudan a mantener e incrementar el nivel

de materia orgánica del suelo, y proporcionan alimento y cobijo a las lombrices de tierra y otra biota beneficiosa, aunque a su vez pueden incorporar semillas de malas hierbas y retardar el calentamiento del suelo en primavera (retrasando la nascencia). De acuerdo con los datos de la Universidad de Helsinki en 2014 (proyecto Agripap), la demanda de cubiertas plásticas en agricultura se triplicará en el periodo 2000-2015 (**figura 1**), con un 70% de la demanda por parte de Asia, y



Ensayo de diversas cubiertas plásticas. Fuente Universidad de Helsinki, 2014.

un 13% por parte de Europa. En este artículo revisaremos los trabajos más exhaustivos y recientes sobre el tema (Kasirrajan & Ngouajio, 2012; Schonbeck, 2014; Haapala *et al.*, 2014) que aglutinan más de doscientas referencias científicas, así como algunas recomendaciones de centros de extensión americanos (Nebraska y Virginia) y centros de investigación europeos (VTT, Universidad de Helsinki), y un estudio de investigación chino por su novedad (Wang *et al.*, 2011).

El concepto de plasticultura

El término plasticultura refiere al empleo de plásticos en la agricultura. Los datos históricos nos indican que la primera película de polietileno se fabricó en 1938 y se empleó por primera vez como cubierta de invernadero en 1948. Por su parte, la comercialización de plásticos comenzó en 1939, empleándose por primera vez en la producción vegetal en los años 60 del siglo pasado. La asociación americana Amidon indica que del total de plásticos que se emplea en la agricultura, el 66% corresponde a recipientes

de semilleros, el 29% a películas plásticas y el 5% a envases de pesticidas. De las películas plásticas, el 50% pertenece a cubiertas de invernaderos, y el 25% a cubiertas para el suelo. Las cubiertas sobre el suelo se emplean en gran medida en las

plantaciones de maíz, algodón, cacahuete, frutales y hortalizas (pimiento, judía, berenjena, tomate, melón, sandía y calabaza, entre otros).

Las cubiertas plásticas están constituidas por polímeros termoplásticos fabricados mediante procesos de extrusión. La base general es polietileno sometido a diferentes procesos de polimerización y de formación de películas (0,4 a 1,25 mm), así como con distinto contenido en aditivos. Todo ello con el fin de garantizar las características de resistencia, elasticidad, flexibilidad y resistencia a agroquímicos y biodegradación. Las cubiertas plásticas se caracterizan por modificar el balance de energía del suelo, y este efecto es diferente según el color y otras características ópticas de los materiales que afectan al nivel de radiación transmitida y reflejada (**figura 2**). La modificación de la cantidad de luz (y su composición espectral) disponible a nivel del suelo puede activar mecanismos fotosintéticos y fotomorfogénicos que alteren el crecimiento y desarrollo del cultivo. Así por ejemplo, existen indicaciones de que las cubiertas más reflectantes (**figura 3**) incrementan el nivel de sólidos solubles (azúcares), de componentes fenólicos, flavonoles y antocianinas en uva de vinificación o la calidad de la

FIG 1. Demanda de cubiertas plásticas para uso agrícola (millones de toneladas anuales). Fuente Universidad de Helsinki, 2014; (P) previsto.

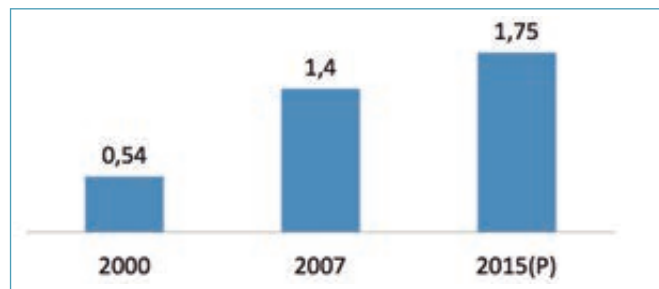
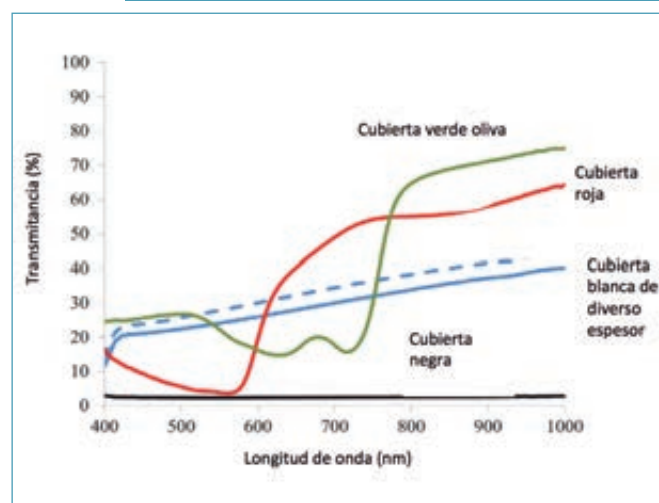


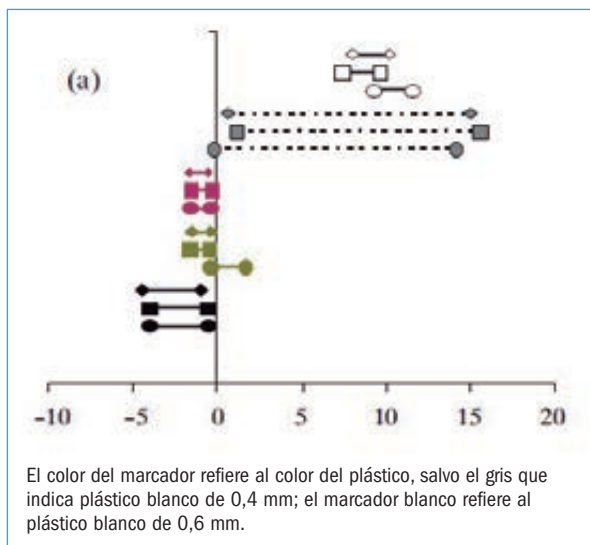
FIG 2. Comportamiento espectral en transmitancia de diversos plásticos. Fuente: Universidad de Nebraska, 2012.



fresa de invernadero pues supone el equivalente a una mayor radiación solar desde el suelo. Una denominación especial es IRT que refiere a plásticos que permiten el paso o transmisión (T) de la radiación infrarroja (IR), pero no la visible con el fin de facilitar el calentamiento del suelo. Las cubiertas negras y transparentes son las que más modifican la temperatura del suelo (las primeras son las que menos lo incrementan). Un aumento de la temperatura del suelo, a su vez aumenta el nivel de nutrientes disponibles, la asimilación por parte de las raíces, la actividad de los microorganismos del suelo y aceleran la germinación y el crecimiento de las plántulas. Por otra parte, las cubiertas plásticas también previenen la evaporación de agua del suelo, reduciendo las necesidades de riego. Un efecto contraproducente del uso de plásticos es la necesidad de retirar el material del campo, con una dedicación aproximada de 16 h/ha. Además el

FIG 3. Rango de diferencias en los valores medios de reflectancia para diversos plásticos respecto a la reflectancia de la grava (suelo de referencia).

Fuente: Universidad de Nebraska, 2012.



empleo de cubiertas plásticas supone un problema medioambiental enorme. El principal problema en el reciclado del plástico de uso en cubiertas es su contaminación, pues no son aceptados para reciclado plásticos con una contaminación superior al 5% en peso, y

en las cubiertas plásticas utilizadas en agricultura se estima un contaminación entre el 40 y 50% en pesticidas, fertilizantes, polvo, humedad y aditivos UV. Se estima que apenas un 5% es reciclado.

Considerando la elevada densidad energética del polietileno (tan elevada como el aceite), podría pensarse en su incineración para generación de energía eléctrica, sin embargo, los costes de transporte y la necesidad de disponer incineradores (1.000-1.200°C) con control de emisión de dioxinas previene este uso (a mayor temperatura de incineración, menos productos tóxicos). De esta manera nos encontramos con la práctica común de incineración a cielo abierto, o el

enterrado en vertederos (controlados e incontrolados). En este último caso puede producirse la contaminación de aguas subterráneas debido a los restos de agroquímicos retenidos en los plásticos. En Estados Unidos, un estudio de 2004 recoge que los agricultores declaran utilizar la quema al aire libre (66%), el enterrado en vertedero (27%) y el enterrado en vertederos no controlados el (25%); nótese que la suma es superior al 100% puesto que un agricultor puede emplear más de una de estas prácticas. En términos de coste, el empleo de plásticos supone entre 440 y 660 euros/ha, considerando además entre 165 y 265 euros/ha para la retirada, y eliminación.

Plásticos foto y biodegradables, EDPs y biopolímeros

Hay que diferenciar entre materiales fotodegradables (por el efecto de la radiación solar), y materiales



Codificación de plásticos antes de proceder a un ensayo de degradabilidad mediante enterrado en suelo.

Fuente Universidad de Helsinki, 2014.

biodegradables (originada por bacterias, hongos o algas), y los bioplásticos o biopolímeros (obtenidos mediante el crecimiento de microorganismos o plantas genéticamente modificadas).

En la actualidad, se comercializan como materiales fotodegradables: Plastigone, Biolan y Agplast-Leco; también encontramos en la bibliografía ejemplos de materiales fotodegradables a base de polietileno con almidón. En todo caso, el periodo de fotodegradación se sitúa entre 46 y 64 días lo que los hace aptos para su uso en agricultura, aunque hay que tener en cuenta que el sombreado del cultivo sobre el plástico modifica el periodo de degradación (mayor cuanto menor radiación incidente). Por este motivo, algunos investigadores proponen el empleo de materiales oxo-



Ensayo de verificación del efecto de las cubiertas orgánicas en el control de malas hierbas. Fuente: Asociación de agricultura ecológica de Virginia (EE.UU, 2012).

biodegradables que consisten en la adición de una pequeña cantidad de sal para favorecer la degradación. Los primeros materiales biodegradables desarrollados a nivel de investigación fueron Bayer BAK line, Mater-Bi, y Ecovio que datan de la década de los 90 del siglo XX. La filosofía en este tipo de material es que puedan ser directamente incorporados al suelo, donde la microflora los transforma en CO₂, metano y biomasa (aspecto a considerar en el cómputo de la huella de carbono, en cualquier caso inferior a la del material no fotodegradable). Son en general poliésteres (alifáticos o aromáticos), polímeros de almidón, mezclas de polivinil-alcoholes y fibras ligo-celulósicas (caña de azúcar, manzanas y naranjas). En todos los casos, el principal reto es

REDUCIMOS COSTES...



...MAXIMIZAMOS RENDIMIENTOS



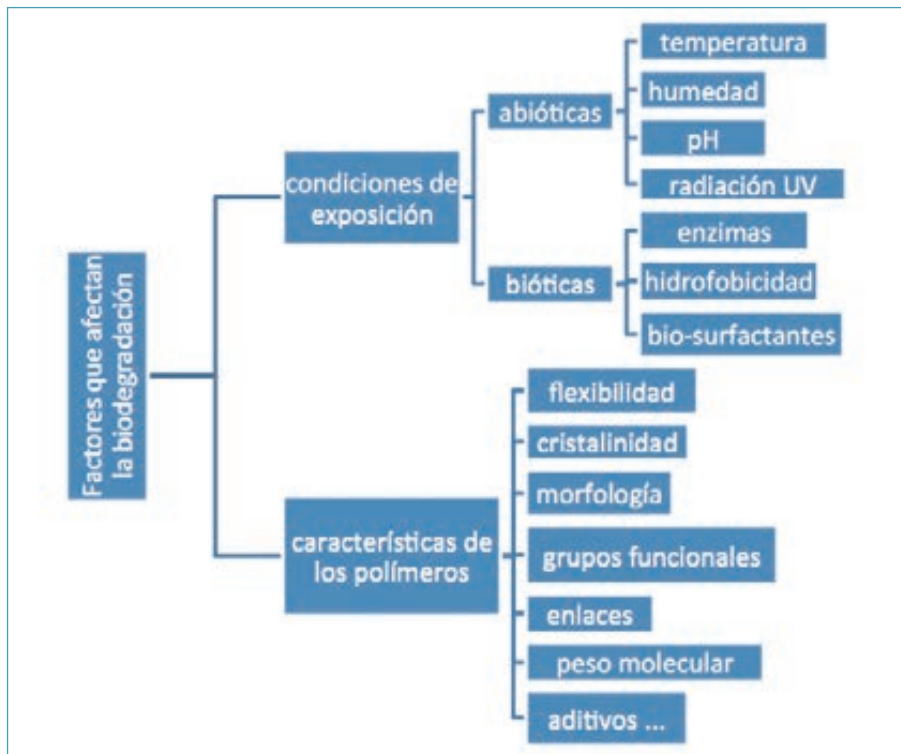
SIEMBRA DIRECTA. EQUIPAMIENTO PROFESIONAL PARA AGRICULTORES PROFESIONALES.

PARA MÁS DATOS SOBRE EL SISTEMA, ENTRAR EN:
www.claydondrill.com/video-gallery/video/141

 T:+34 609 846 167 info@claydondrill.com www.claydondrill.com



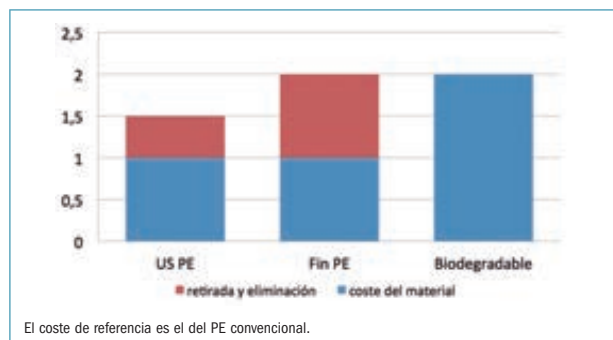
FIG 4. Factores que influyen en la degradación de los plásticos biodegradables. Fuente: Kasirrajan & Ngouajio, 2012.



conseguir un comportamiento mecánico adecuado y una degradación total, motivo por el cual siguen constituyendo una fracción menor de las cubiertas plásticas. Son marcas comerciales de segunda generación: Ecoflex de Basf, y SMS Trioplast, que a pesar de todo siguen mostrando una porción no desdeñable de microfragmentos. Existen diversos factores que determinan los procesos de biodegradación (**figura 4**) entre los que se incluyen: 1) las condiciones de exposición abióticas (temperatura, humedad, pH y radiación UV), o bióticas (el tipo de organismos, los enzimas implicados, la hidrofobicidad y los biosurfactantes); y 2) las características de los polímeros (flexibilidad, cristalinidad, morfología, grupos funcionales,

enlaces, peso molecular y aditivos, entre otros). Desde luego la conservación de los materiales en ambientes secos es una necesidad imperiosa que no se da en los plásticos convencionales. Dado que rara vez encontramos un solo

FIG 5. Coste relativo del material y de la retirada de los plásticos convencionales, respecto al coste de los plásticos biodegradables. Fuente: Universidad de Helsinki, 2014.

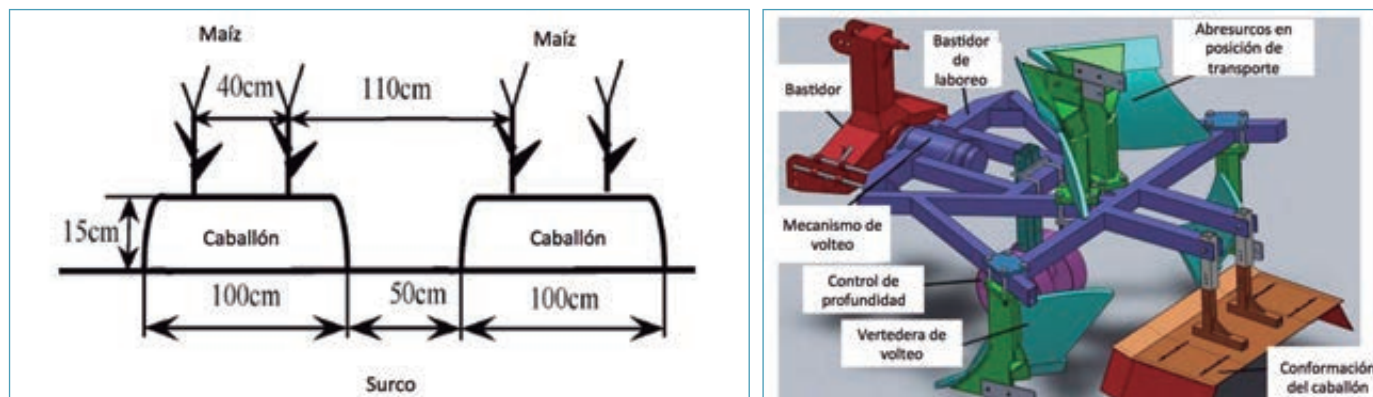


mecanismo de degradación de la cubierta plástica, la Unión Europea propone el término EDP (polímeros medioambientalmente degradables) incluyendo mecanismos fotolíticos, térmicos, hidrolíticos, oxidativos, mecánicos y biológicos. Es importante tener en cuenta que los polímeros degradables pueden producir microfragmentos que permanecen en el suelo un largo período de tiempo. Sólo los materiales verdaderamente biodegradables son destruidos completamente por los microorganismos del suelo, siendo bioasimilados y finalmente mineralizados. En la actualidad, Alemania se sitúa a la cabeza del reciclado de plásticos con más de un 60%, mientras que en el resto de Europa en general la recomendación actual es alcanzar un 15%. A pesar de todo, el coste sigue siendo de 2 a 3 veces el de los plásticos convencionales. La **figura 5** resume el coste relativo de las cubiertas plásticas. Se comprueba fácilmente que en las condiciones europeas (no así en las americanas), si se tienen en cuenta los costes de retirada y eliminación, las cubiertas biodegradables podrían llegar a ser competitivas respecto a las cubiertas plásticas convencionales (eso sí, con un notable encarecimiento del cultivo).

Cubiertas orgánicas

Se emplean como cubiertas orgánicas la paja, el heno, algunos tipos de hojas (ej. hoja de palma), los denominados cultivos de cubierta o cubiertas verdes, restos de poda, o compost de origen urbano. Todos ellos son muy efectivos en el control de las malas hierbas con propagación mediante semilla, y no son eficaces en el control de

FIG 6. Ejemplo de cubierta mixta: plástico (caballón), vegetal (paja en el surco) con sistema de captura de agua.
Fuente: Wang et al., 2011



malas hierbas perennes o con propagación vegetativa, mediante rizomas o tubérculos.

Es importante que la cubierta tenga una densidad superior a 5 cm de manera que el bloqueo de la luz sea suficiente para inhibir la germinación. Además la atenuación de las fluctuaciones de temperatura del suelo evita la germinación de semillas que precisan choques térmicos.

En los casos en los que ni la falta de luz ni la carencia de estímulo térmico evitan la germinación, la falta de luz impide la actividad fotosintética adecuada de las plántulas y ofrece una resistencia física a su crecimiento. Ahora bien, si el grosor de la cubierta orgánica es insuficiente puede producirse un contraefecto, dado que no se dan los factores inhibidores y sí se mantiene la acumulación de humedad, favoreciendo el desarrollo de malas hierbas.

Cuando se emplea como cubierta orgánica la cama de ganado, puede producirse una contaminación con semillas de malas hierbas y nuevas especies, aspecto que ha de ser tenido en cuenta. En cambio algunas cubiertas orgánicas pueden ser beneficiosas en el control de plagas, albergando enemigos naturales.

En el caso de emplear cubiertas orgánicas a base de leguminosas, la liberación de nitrógeno propia de los nódulos de *Rhizobium* puede favorecer la germinación de malas hierbas, o al revés, cuando la cubierta dispone de demasiado carbono (sobre todo carbohidratos solubles), el nitrógeno puede verse parcialmente inmovilizado con el consecuente perjuicio para el

cultivo; en el caso de tratarse de cubiertas recién segadas puede producirse la liberación de sustancias alelopáticas perjudiciales al cultivo. Estos tres últimos casos, aunque posibles no contrarrestan los beneficios propios de las cubiertas orgánicas. Las cubiertas orgánicas por sí mismas no son suficientes para el control de malas hierbas, ya que no bloquean su



Problemas en la aplicación de papel que no haya sido pre-tratado para su colocación mecanizada.
Fuente Universidad de Helsinki, 2014.

germinación al 100%, pero pueden llegar a serlo cuando se combinan con rotaciones de cultivo adecuadas, y ésta es una estrategia recomendada en agricultura ecológica.

Cubiertas mixtas

China es el mayor consumidor a nivel mundial en cubiertas plásticas, quizás por eso, a día de hoy encontramos evidencias de un esfuerzo notable de racionalizar su uso (aún muy lejos de las mejores prácticas europeas). En un trabajo reciente de investigación (Wang et al., 2011) proponen el empleo, en un cultivo de maíz (cv. Zhendan 10), de un sistema mixto con cubiertas plásticas y surcos profundos (30 cm) rellenos de paja que actúan como sistemas de captura de agua y retención de fertilizantes. Las duras condiciones agroclimáticas (480 mm de precipitación anual y 2.200 mm de evaporación) suponen un aliciente en esta línea. La **figura 6** muestra el apero construido a tal efecto.

Los primeros resultados indican un potencial de incremento en productividad (kg/ha) respecto a las cubiertas plásticas convencionales del 8% con un aumento del peso de 1.000 granos del 19,6% (de 32,6 a 39 g, respectivamente). Durante toda la campaña la humedad del suelo en el método mixto retuvo en promedio un 24,7% más de humedad, con una máxima diferencia en los meses estivales (39,5%).

Cubiertas líticas

La práctica de cubiertas líticas es milenaria, y es muy empleada especialmente en zonas sometidas a intensas sequías para mejorar la productividad. Son cubiertas líticas las piedras, grava, cantos y cenizas volcánicas. Su utilización no sólo reduce



Ejemplo de cubierta de papel de última generación. Fuente ECKREPP.

la evaporación sino que disminuye la erosión eólica y la erosión del suelo por escorrentía superficial. Por otra parte, el color de la cubierta afecta a la reflexión de la luz y a la temperatura del suelo. Encontramos algunos ejemplos curiosos de uso en viñedo y olivar.

Cubiertas de papel

Las cubiertas de papel se caracterizan por alcanzar una descomposición completa cuando se entierran tras el cultivo. Su coste es intermedio, entre las cubiertas plásticas convencionales y los plásticos biodegradables. Su principal inconveniente es que se degradan antes del término del cultivo, y sufren

dilataciones y contracciones debido a los procesos de humectación y deshumectación.

El papel se fabrica mediante la compresión de fibras de madera, con un posterior secado y endurecimiento mediante puentes de hidrógeno. Es un material inherentemente poroso e higroscópico al que se añaden otros constituyentes como minerales, agentes fortalecedores, colorantes y

repelentes de agua.

Debido a los problemas de degradación del papel, en muchos casos se ha propuesto algún tipo de tratamiento adicional como el encerado o la aplicación de aceite vegetal (de lino, de soja, o incluso aceite de cocina). En todos los casos, la durabilidad aumenta hasta alcanzar la campaña completa. Ahora bien, mientras que la cubierta de papel reduce la temperatura del suelo comparado con las cubiertas plásticas, el papel encerado la aumenta. También el tratamiento con aceite afecta a las condiciones de temperatura del suelo, dado que la capa de aceite aumenta la conductividad térmica.

Otra línea actual de trabajo es el manejo



Dispositivo convencional (rodillo, izquierda) y adaptado (cepillo de nylon, derecha) para la aplicación mecanizada de papel con tratamiento adecuado al efecto.

CUADRO I. PROPIEDADES MECÁNICAS QUE DEBE PRESENTAR EL PAPEL PARA QUE SU COLOCACIÓN MECANIZADA SEA VIABLE. Fuente Universidad de Helsinki, 2014.

	En la dirección de la marcha	Perpendicular a la marcha
Resistencia al desgarre	>800 mN	>800 mN
Resistencia a tracción	>3 kN/m	>3 kN/m

de las propiedades mecánicas del papel mediante diversos tratamientos como los propuestos por Clupak AG que han permitido incrementar la extensibilidad del papel en la dirección de la marcha hasta un 20-40%.

Es importante tener en cuenta que el papel no sólo debe soportar la operación mecánica de desplegado en campo, sino las tensiones derivadas del viento y los pases sucesivos de maquinaria en campo. En este sentido, el **cuadro I** resume las características mecánicas mínimas de resistencia al desgarre y a tracción que debe presentar el papel de uso en cubiertas sobre el suelo.

Existen varios materiales comerciales de interés en cubiertas de papel de altas prestaciones: MIMgreen, EcoKrepp, Planters paper y EcoCover, todos ellos completamente biodegradables; han sido diseñados especialmente para dotarlos de las propiedades mecánicas imprescindibles al uso mecanizado. Otra opción interesante es la propuesta japonesa que incluye una cubierta de papel perforada con semillas de arroz adheridas junto a los orificios de manera que se elimina la necesidad de trasplante.

La colocación mecanizada del papel exige un suelo libre de piedras y residuos de cosechas anteriores (que embozarían fácilmente la máquina). Es más, requieren un laboreo de 10 a 15 cm de profundidad con un tamaño máximo de partícula inferior a 5 cm. Las máquinas trabajan mejor en suelos arenosos y con elevada materia orgánica que en suelos pesados y

arcillosos; y una topografía llana o muy suavemente ondulada es asimismo un coadyuvante para un buen resultado. Algunas pruebas realizadas por la Universidad de Helsinki (VTT) han propuesto la sustitución de rodillo por cepillos de nylon con el fin de evitar roturas del papel durante la colocación, aunque la propuesta no se considera definitiva.

En términos de coste, uno de los principales inconvenientes del papel

respecto a cualquier plástico es su elevado coste de transporte debido a la mayor densidad, aspecto que ha de ser tenido en cuenta. En todo caso, en las cubiertas de papel el objetivo de coste se sitúa en 4,5-9,4 céntimos de euro/m² (empleando como base los costes de producción en Finlandia); el plástico convencional oscila entre 5 y 8 céntimos/m², y el biodegradable entre 23 y 60 céntimos/m².

El valor objetivo para las cubiertas de papel está muy por debajo del coste actual (29 céntimos/m² a 1,06 euros/m² para el papel de altas prestaciones, de acuerdo con los datos disponibles en internet), debido entre otros factores a la ausencia de una economía de escala adecuada.

Conclusiones

Las cubiertas tanto sintéticas como orgánicas muestran beneficios reconocidos en términos de humedad y temperatura del suelo, control de erosión y de malas hierbas. Hay que indicar que las diferencias entre cubiertas plásticas, orgánicas y de papel se minimizan en climas fríos, maximizándose en nuestras latitudes. Las que más retienen la humedad son sin lugar a duda, las orgánicas pues permiten la entrada del agua de lluvia, limitando la evaporación.

El consumo de cubiertas plásticas en la agricultura a nivel mundial se ha triplicado en los últimos quince años, siendo Asia el mayor consumidor (70%) res-

pecto al 13% de Europa.

A pesar de los avances en plásticos biodegradables, su costo sigue siendo el mayor factor limitante. Ahora bien, cuando se considera el coste de retirada y eliminación del plástico convencional, los valores entre ambos se aproximan. Con toda seguridad en los próximos años veremos incorporarse criterios medioambientales que paulatinamente hagan desaparecer los convencionales.

Las cubiertas de papel están siendo estudiadas en profundidad, con nuevos tratamientos que permiten alcanzar incluso valores de extensibilidad en la dirección de avance de hasta el 20-40%. Cada vez están más acotados los valores mínimos en sus

propiedades mecánicas (resistencia a la tracción y al desgarre). Se están considerando adaptaciones específicas en las máquinas de implantación en campo.

En general en un cultivo ecológico el tiempo de dedicación a la eliminación mecánica de malas hierbas puede llegar a ser hasta 16 veces superior al tiempo de implantación y eliminación de las cubiertas.

La combinación del empleo de cubiertas con semillas integradas puede ser una estrategia que veamos florecer en cultivos donde el coste de implantación y trasplante es elevado. Japón se encuentra a la cabeza de esta opción, ya evaluada con éxito en cultivos de arroz. ■