





PROYECTO INIA:
 Mejora de la productividad y la sostenibilidad ambiental de los invernaderos pasivos mediterráneos mediante el control del microclima en periodos fríos



EXCELENCIA
Agroalimentaria

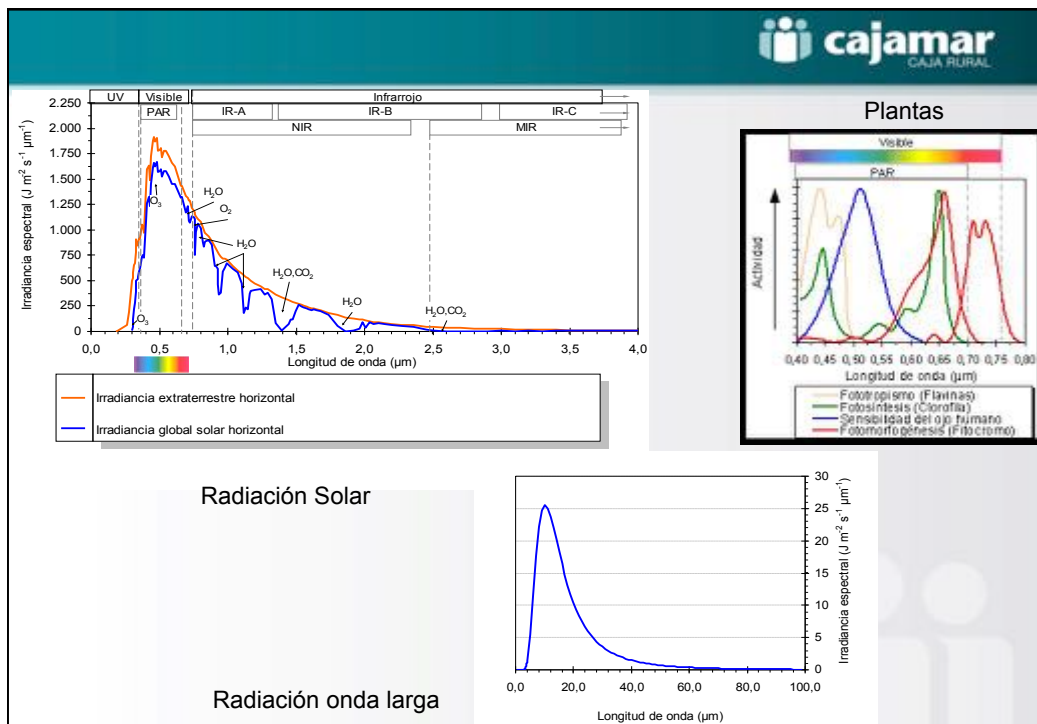
Agua, el conocimiento en compañía





Materiales de cubierta para invernaderos y su eficiencia energética

Juan Carlos López Hernández
FUNDACION CAJAMAR



TIPOLOGÍA DE LOS MATERIALES DE CUBIERTA

máxima transmisividad en onda corta
mínima transmisividad en onda larga (efecto térmico)

Vidrio
Polimetacrilato de Metilo PMM
Policarbonato PC
Poliéster
Policloruro de vinilo

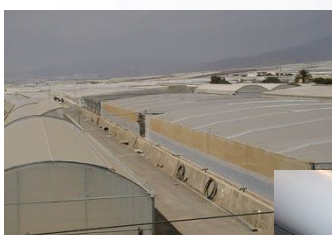
Rígidos
Vidrio: 6-8 kg m⁻²

Flexibles
Plástico: 0,2 kg m⁻²



La industrialización en el siglo XIX trajo un rápido desarrollo de la tecnología de invernaderos. La mayoría de invernaderos eran de construcción sencilla siendo calentados con materia orgánica o mediante estufas

En Holanda en 1937 se construyó el invernadero Venlo a base de acero y cristal

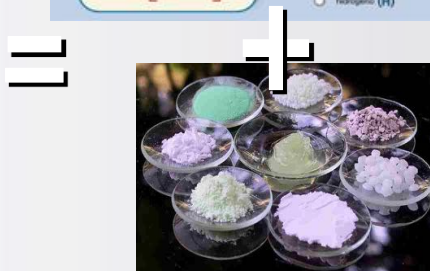
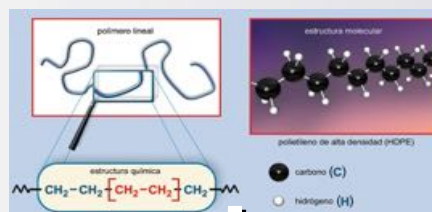


A partir de la Primera Guerra Mundial aparecen los plásticos y con ellos su uso en la agricultura (polietileno, poliestireno o PVC)

A partir de la Segunda Guerra Mundial aparecieron los plásticos rígidos (poliéster...)

MATERIALES DE CUBIERTA FLEXIBLES

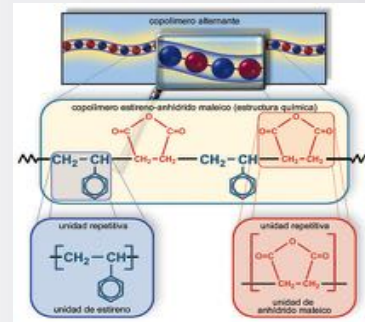
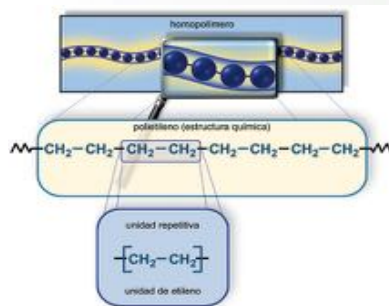
PLÁSTICO = POLÍMERO + ADITIVOS



Los polímeros más utilizados



- Polietileno de baja densidad (PEBD)
- Copolímeros (EVA y EBA)
- Policloruro de vinilo (PVC)



Tipos de estructura de polímeros: lineal, ramificada y reticulada: polietileno de alta densidad (HDPE), polietileno de baja densidad (LDPE) y una resina fenol-formaldehído (PF)



Aditivos y efectos

- Antioxidantes** → Protección durante la fabricación del film
- Deslizantes y antibloqueo** → Evitan que el film se pegue
- Absorbedores y estabilizantes UV** → Duración
- Fotoselectivos** → Anti plagas, fluorescencia, antitermicidad
- Antigoteo** → Evitan la formación de gotas en la cubierta
- Térmicos** → Evitan pérdidas de temperatura durante la noche

Materiales plásticos de cubierta

Años 70:
 filmes monocapa
 fotoestabilizados con Ni-quercher y/o absorbentes UV para dos campañas
 primeros filmes térmicos

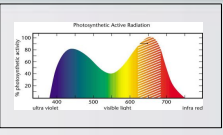
Años 80:
 filmes monocapa
 fotoestabilizados con HALS de 1ª generación para dos campañas

Años 90:
 filmes monocapa y tricapa
 fotoestabilizados con HALS de 2ª y 3ª generación para dos o tres campañas
 filmes térmicos de 2ª generación
 primeros filmes antiplagas
 filmes antigoteo
 filmes antitérmicos
 filmes fluorescentes

Años 2000-2006:
 filmes tricapa
 fotoestabilizados con HALS de 4ª generación para tres campañas
 filmes antiplagas
 filmes antigoteo
 filmes antitérmicos
 filmes fluorescentes de 2ª generación

Años 2010:
 Plásticos 4 campañas

Años 2013:
 Plásticos resistente 5000 ppm S





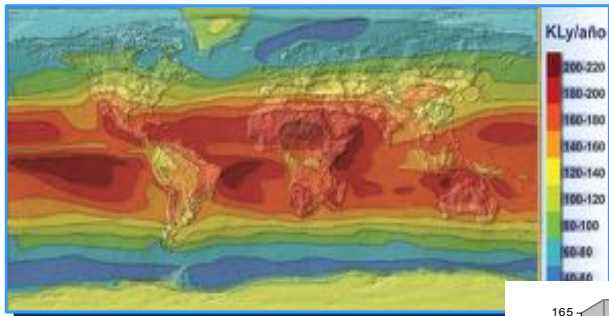



Factores que afectan a la duración

- Factores intrínsecos
 - Polímero base
 - Tipo de filme (mono o multicapa)
 - Espesor
 - Estabilizador
 - Otros aditivos (cargas, pigmentos, etc.)
- Factores externos previos a su utilización
 - Condiciones de fabricación
 - Condiciones de almacenamiento
 - Colocación
- Factores externos durante su utilización
 - Estructura del invernadero
 - Superficie de contacto
 - Condiciones climáticas
 - Cultivo
 - Fitosanitarios

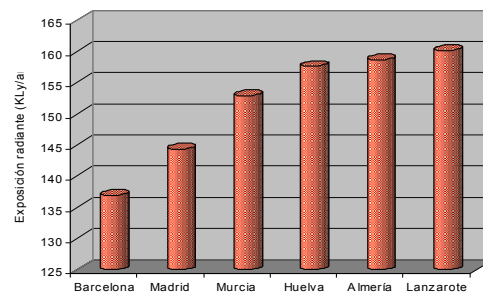


Factores externos: radiación



Distribución mundial de radiación solar

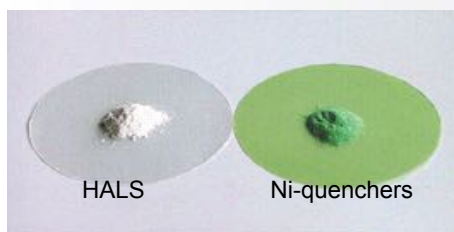
Radiación global media



Estabilización frente a la luz ultravioleta

- Absorción de radiación UV
- Desactivación de los estados excitados
- Captación de radicales libres

La adición de fotoestabilizadores es la forma más simple y eficaz de retrasar el envejecimiento de los filmes agrícolas usados a la intemperie

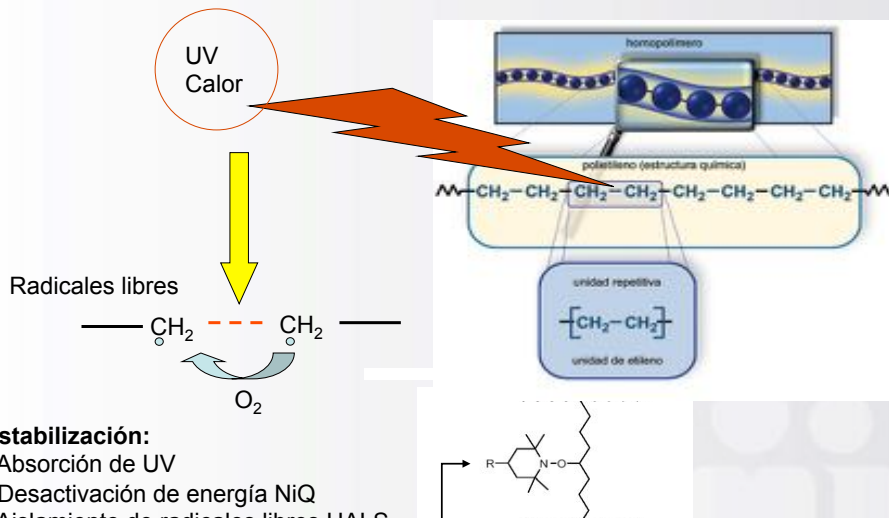


Los filmes estabilizados con complejo de níquel se distinguen por su color amarillo-verdoso frente a los que utilizan HALS (Hindered Amine Light Stabilizers, color natural)



 CAJA RURAL

PROCESO DE OXIDACIÓN DEL POLÍMERO



UV
Calor

Radicales libres

$\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---}$

O_2

Estabilización:

- Absorción de UV
- Desactivación de energía NiQ
- Aislamiento de radicales libres HALS

homopolimero

polietileno (estructura química)

$\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---}$

unidad repetitiva

$[\text{CH}_2\text{---CH}_2]$

unidad de etileno

 CAJA RURAL

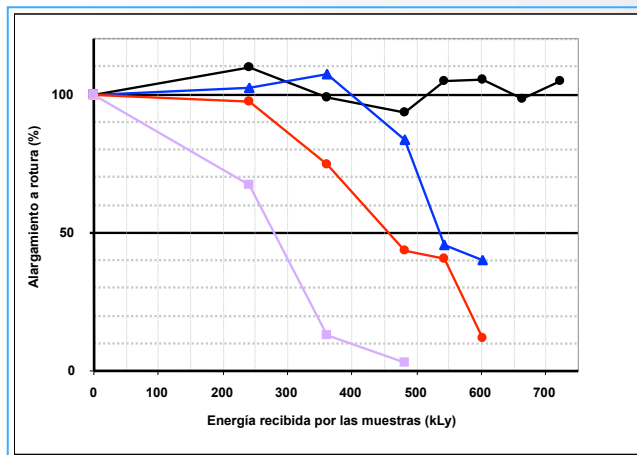
Factores externos: pesticidas

PRODUCTOS FITOSANITARIOS:

- Interaccionan con los aditivos estabilizantes frente al UV con lo que reducen la duración del plástico
- Factores:
 - Composición química
 - Frecuencia y forma de aplicación
 - Diseño del invernadero
- La desinfección del suelo, sin plástico de protección, es **crítica** para la duración de la cubierta

Factores externos: pesticidas

Duración, efecto de los pesticidas:



Sin pesticidas

Azufre

MetNa+Permetrina

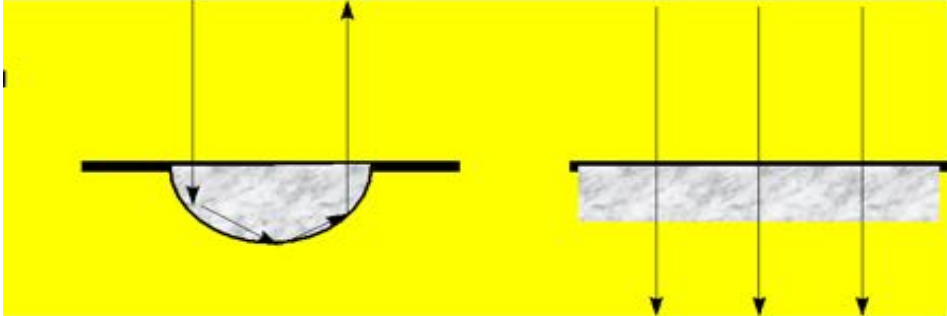
MetNa

APLICACIONES

PLÁSTICOS ANTIGOTEÓ 

CONDENSACIÓN

- Reducción de la radiación
- Predisposición a enfermedades

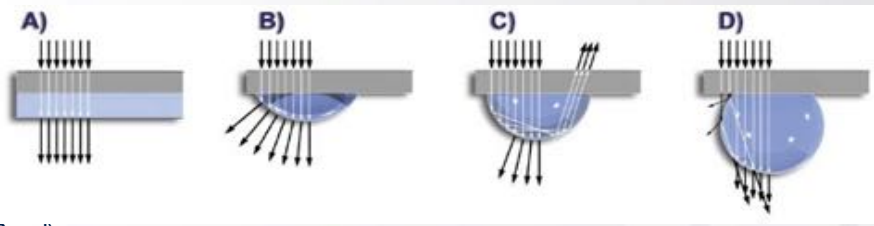


Hidrofilia (filmes antigoteo) 

Condensación del agua según la superficie

A)	B)	C)	D)
aire agua sólido	agua sólido	agua sólido	agua sólido
Vidrio ($\theta=0^\circ$)	PMMA ($\theta=65^\circ$)	PE ($\theta=90^\circ$)	PTFE ($\theta=150^\circ$)

Comportamiento de la luz según la gota



(Fuente: Repsol)

cajamar
CAJA RURAL

Hidrofilia (filmes antigoteo)

Aditivos antigoteo y migración a la superficie

Surfactantes no iónicos (monoestearato de sorbitano)
que aumentan las tensión superficial

(Fuente: Repsol)

cajamar
CAJA RURAL

Plásticos térmicos

Bloqueo IR. Filmes térmicos

REPSOL YPF

(Fuente: Repsol)

- El polietileno de baja densidad (LDPE) es muy transparente a las longitudes de onda entre 7 y 14 μm . Para dotarlo de mayor opacidad IR
 - se añaden cargas minerales como:
 - ✓ Sílice y silicatos (talco, mica, caolín...)
 - ✓ Sulfatos (calcio, bario...)
 - ✓ Carbonatos (calcio, calcio y magnesio...)
 - ✓ Hidroxicarbonatos (hidrotalcitas)
 - se emplean copolímeros EVA mediante mezcla o coextrusión

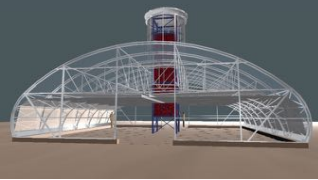
• **Filmes ultratérmicos:**

- A través de los años, las cargas minerales utilizadas para aumentar la termicidad, los filmes de LDPE y de EVA/EBA han ido evolucionando.
- Las primeras patentes y los primeros filmes comerciales, a comienzos de los **años 70**, utilizaron principalmente la sílice, los silicatos y silicatos alúmina hidratada. Con el tiempo, las temperaturas de extrusión usadas por los transformadores aumentaron, y se abandonó el uso del hidróxido de aluminio puesto que se descompone por encima de 180°C.
- Durante los **años 90** las cargas más utilizadas fueron silicatos, especialmente caolín calcinado. El caolín calcinado tiene algunas limitaciones importantes: acelera la fotodegradación del filme, aumenta moderadamente la turbidez y disminuye la transmisión de luz. Hay cargas comerciales mejores tales como hidrotalcita que no son degradantes y que no afectan a las características ópticas de la película, pero son mucho más costosas.

Recientemente, ha sido desarrollada una nueva familia de cargas minerales que no son degradantes, no disminuyen la transmisión de luz y confieren baja o muy alta turbidez al filme, según el requerimiento. Ahora que la cantidad de carga no es un factor limitante, se pueden alcanzar niveles mayores de eficacia bloqueando la radiación infrarroja, dando lugar a una nueva generación de las películas **ultratérmicas** (UT).

Plásticos antiplagas

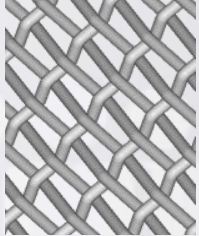






Métodos de lucha contra las plagas:

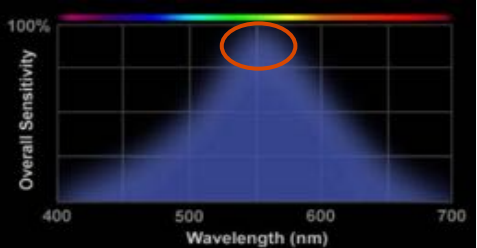
- Química
- Lucha integrada
- Invernaderos herméticos
- Mallas más densas
- Plásticos antiplagas**

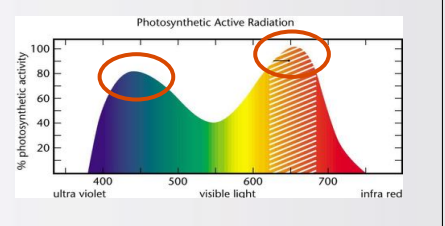
Espectro de sensibilidad



Ojo humano



Hoja



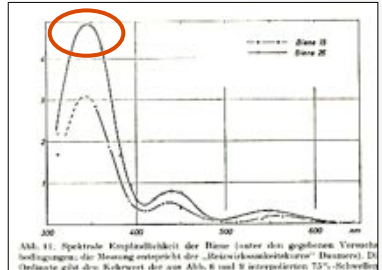
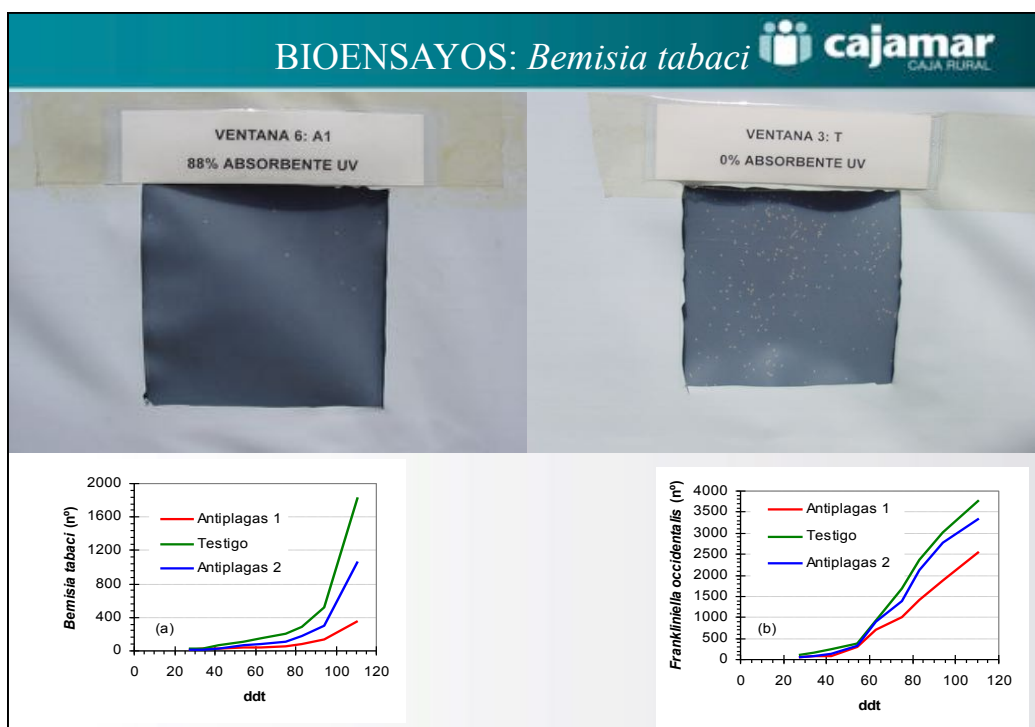
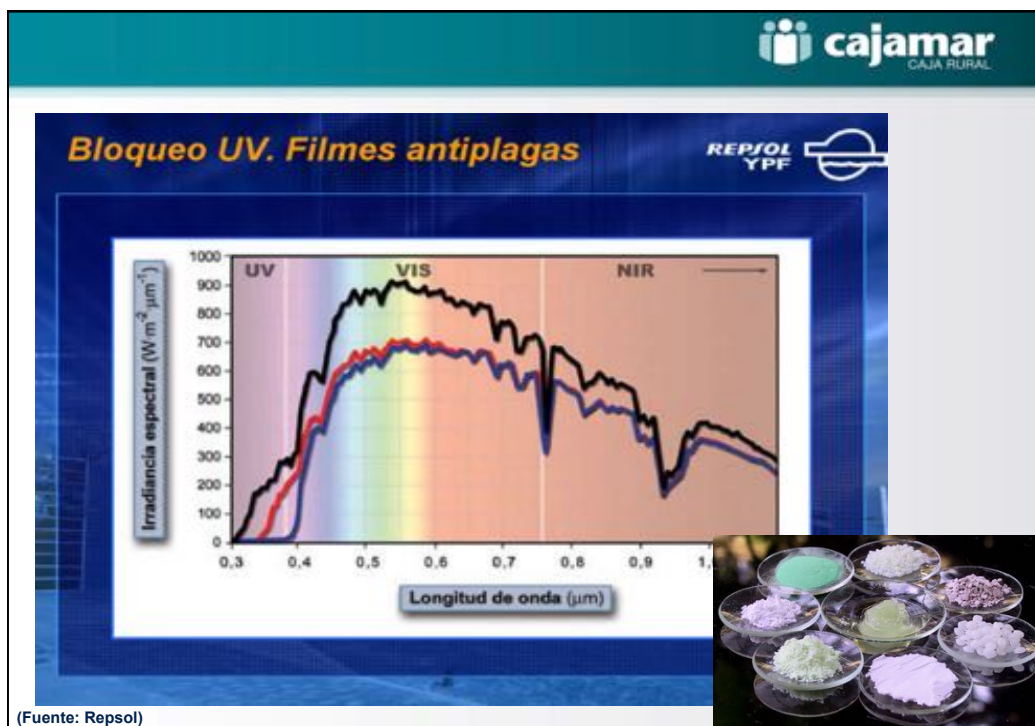
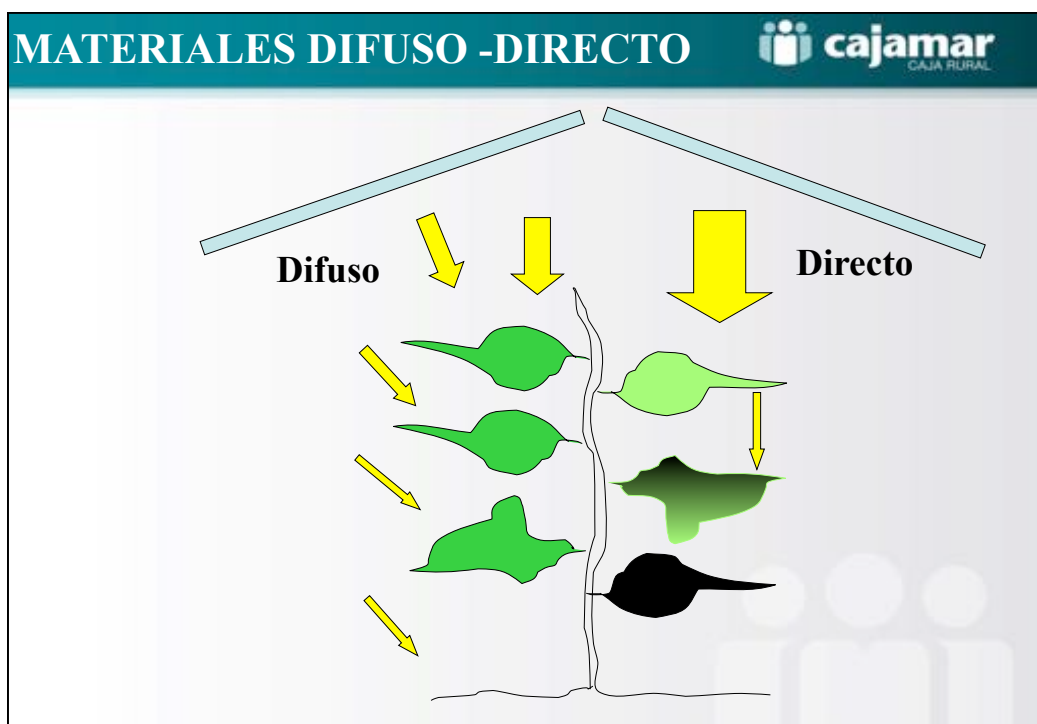
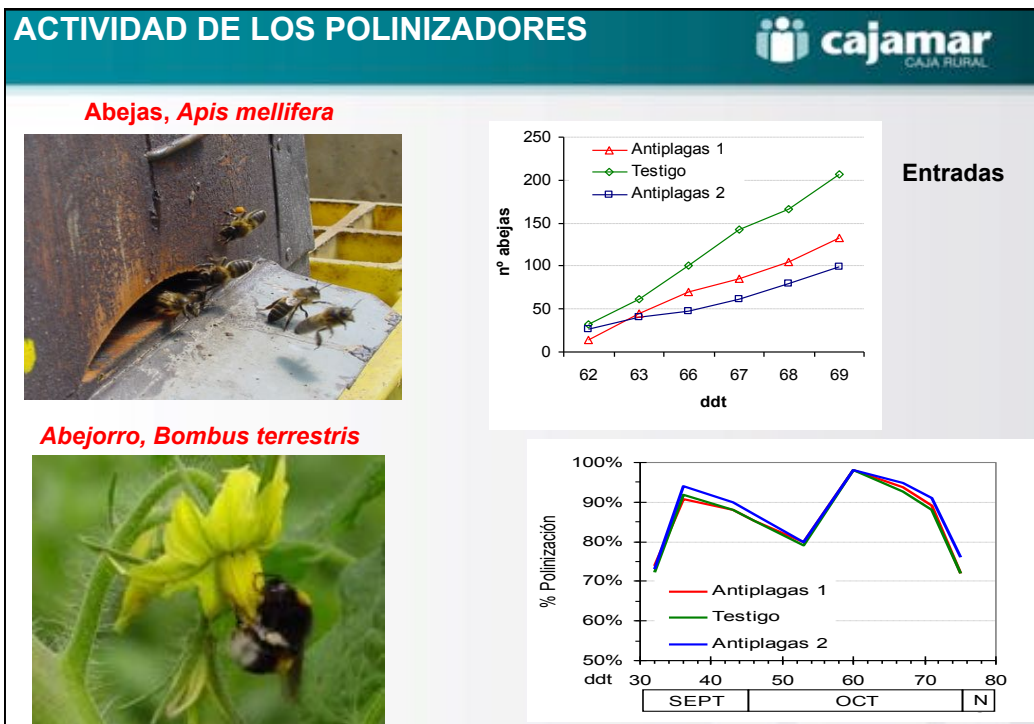
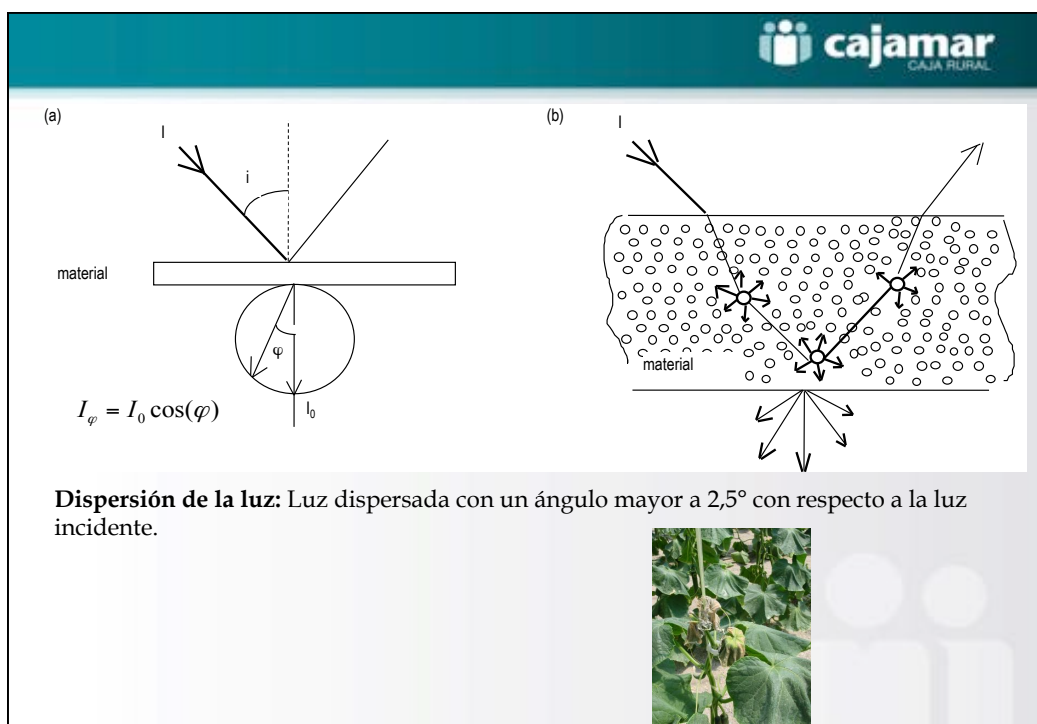
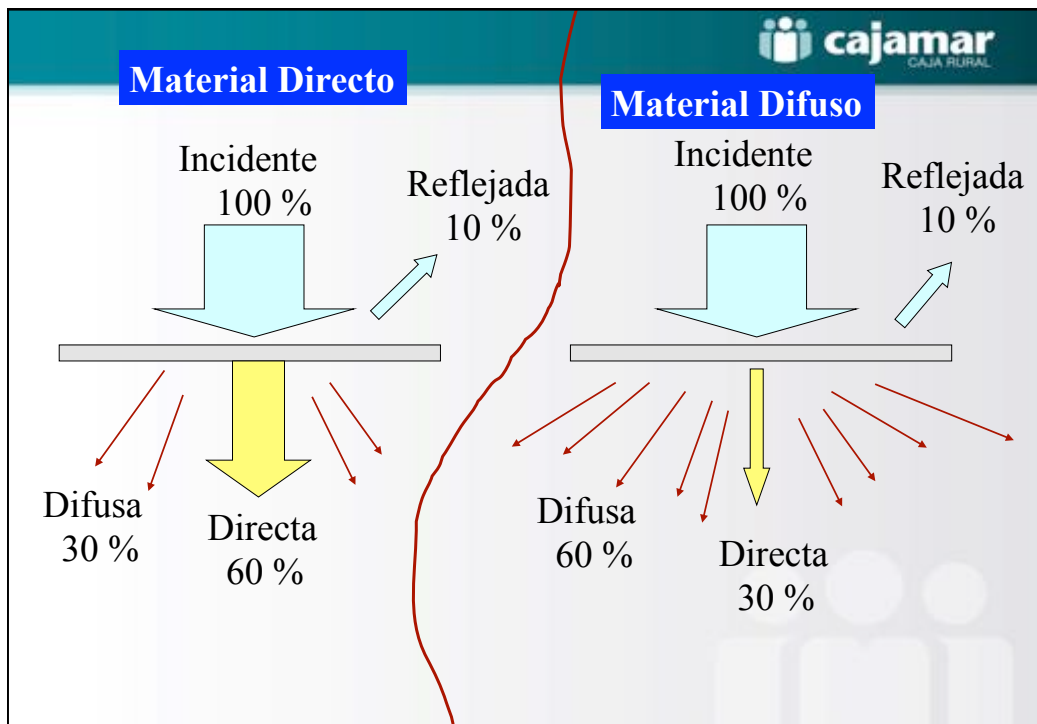


Abb. 11. Spektrale Empfindlichkeit der Biene (unter den gegebenen Versuchsbedingungen; die Messung entspricht der „Reizwirkungsintensität“ Dunsen). Die Helixen gibt den Reizwert der von Abb. 8 und 9 interpolierten 50%-Schwelle.

Polinizadores
abeja
Insectos







	
Directo Global 91 % Difusa 28 % Tricapa 200 μm (654/644/654)	Difuso Global 90 % Difusa 45 % Tricapa 200μm (643/633/643)



Desarrollo de plásticos **autolimpiables**: efecto loto



Introducción

Películas autolimpiables

- En la naturaleza hay muchas superficies que poseen efecto autolimpiable (Flor de loto)



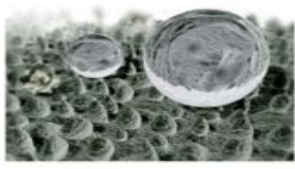
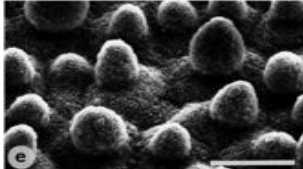


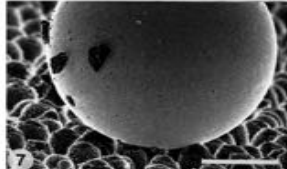
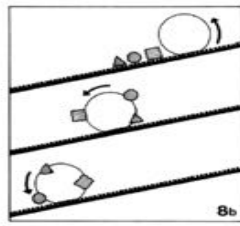
Superhidrofobia (filmes autolimpiables)

 **cajamar**
CAJA RURAL

Introducción

 Flor de loto al microscopio

 **cajamar**
CAJA RURAL

Introducción



Razón: Diferencia tensión superficial del agua y de la cubierta
 Solución: Aumentar o disminuir la tensión superficial de la película



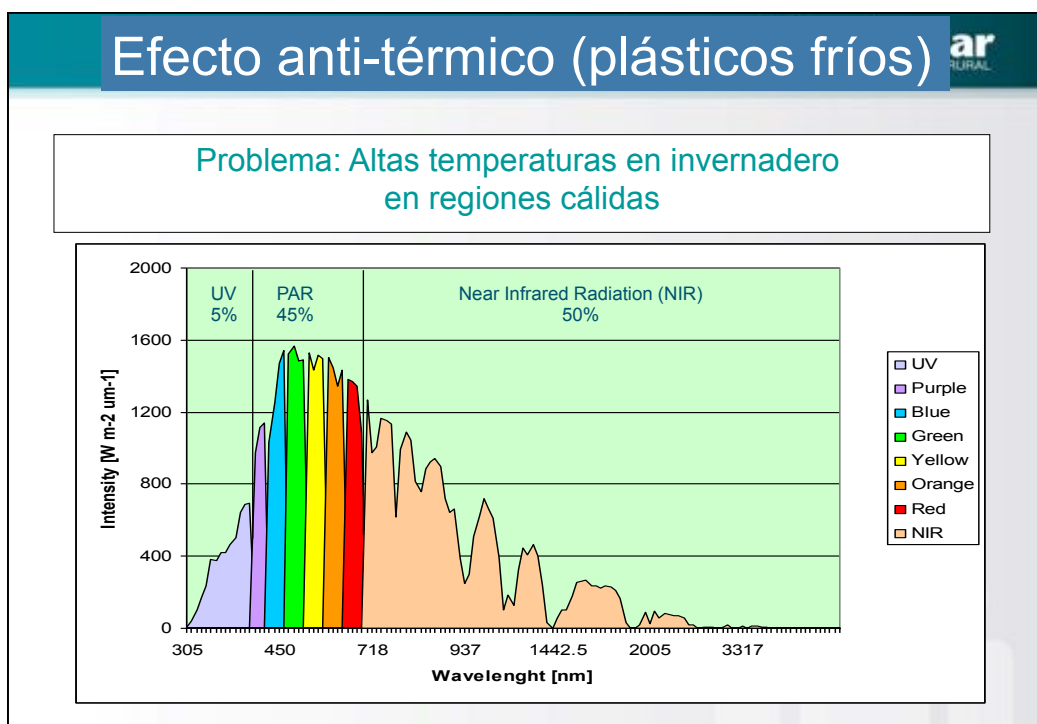
$\alpha = 0^\circ$

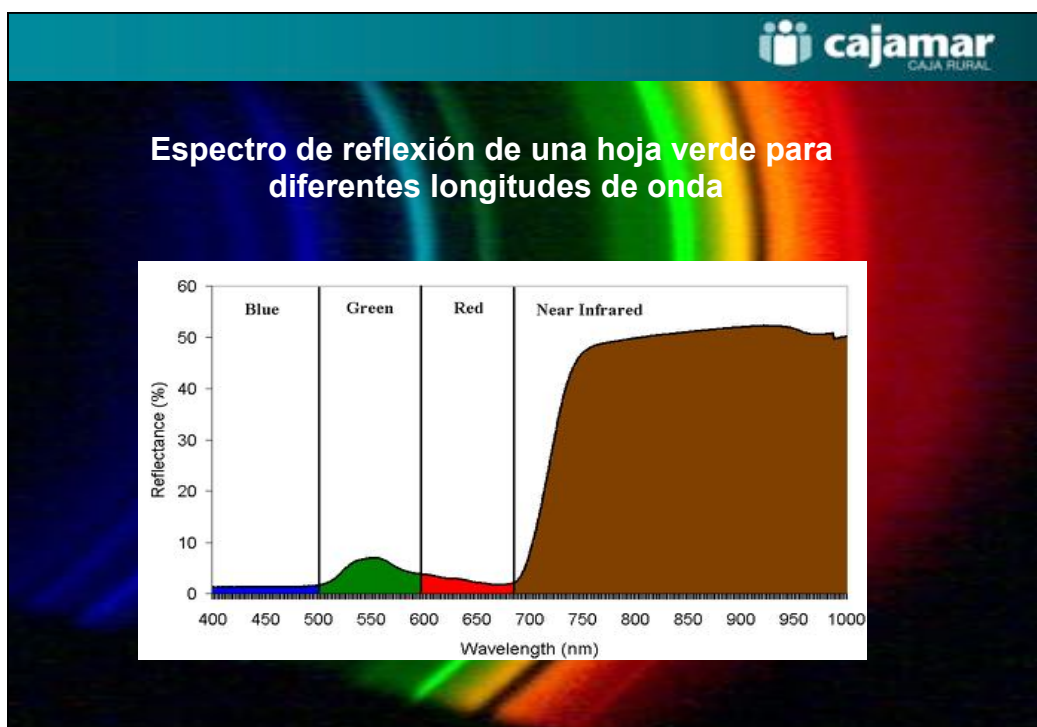
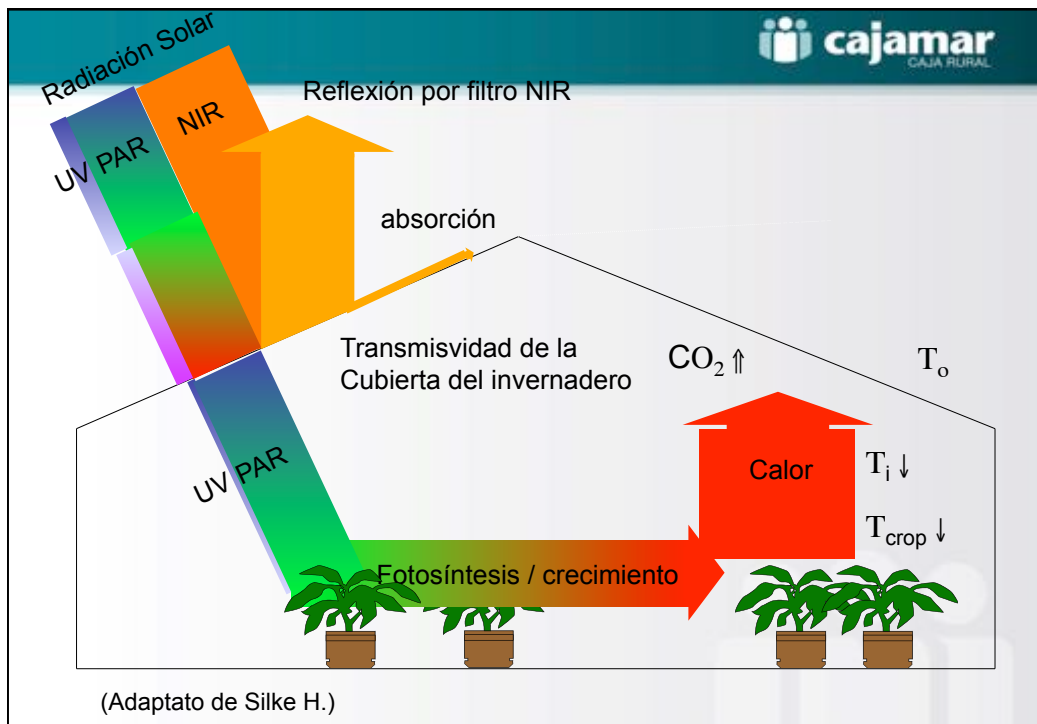
Aumentar la tensión superficial. Películas antigoteo.



$\alpha > 130^\circ$

Disminuir la tensión superficial. Películas superhidrofóbicas con efecto autolimpiante.





Sistemas de ahorro energético

• Material de cubierta

Material de cubierta	U (W m ⁻² pared °C ⁻¹)
Vidrio sencillo	6,0
Vidrio doble (9 mm de aire de separación)	4,2
PC doble (10mm de separación)	4,7
PC doble (16mm de separación)	4,2
Film plástico (PE)	6,0
Doble film plástico (PE)	4,2
Doble film plástico térmico + Pantalla térmica	2,5
Vidrio simple + Pantalla térmica (PVC,EVA,PE)	4,7
Vidrio simple + Pantalla térmica (film aluminizado)	2,5

La energía necesaria Q (w) para mantener un gradiente térmico es:

$$Q = A K (T_i - T_o)$$

- Pantallas térmicas (móviles):
aluminizadas; plástico o
míxtas
- Dobles cubiertas (fijas)

Mejoran la temperatura
Reducen el consumo de combustible

- Doble plástico inflado

Acolchado

 **cajamar**
CAJA RURAL

Prototipo Watergy instalado en la Fundación Cajamar Estación Experimental las Palmerillas




Sonneveld

Configuración de módulos semitransparentes a partir de células opacas

FOTOVOLTAICA MOLECULAR



 **cajamar**
CAJA RURAL

Búsqueda

El material de cubierta es un elemento primordial del invernadero pues de sus propiedades físicas, químicas y ópticas depende el microclima que se va a generar en el interior del invernadero.

Mayor duración



Antigoteo



Filmes con aditivos autolimpiables

Partículas de 119 nm

Película	EVA	Floor (0.20)	Floor (0.4)	Floor (0.8)	Floor (1.2)
Ángulo de contacto	90°	99°	119°	134°	142°



El ángulo de contacto aumenta con el contenido de fluor



Reducir la adherencia al polvo (menor transmisividad)

Difusividad
Baja emisividad
Plásticos que ayudan a refrigerar: antitérmicos
Termosensibles
Reducción de plagas y enfermedades
Mayor selección en longitud de onda
Nanoencapsulación

GRACIAS

