

# Proyectos de investigación del IMIDA sobre sistemas agrivoltaicos en el sur de España



# Equipo de Sostenibilidad y Calidad Hortofrutícola

Pilar Flores Fernández-Villamil

Virginia Hernández Pérez

Fulgencio Contreras López

Carlos Toledo Arias

Pilar Hellín García



## Agrivoltaica: Justificación

Responde a la necesidad de sostenibilidad en la producción agrícola y energética

Promueve la generación de energía fotovoltaica **sin sacrificar tierras agrícolas** y **sin necesidad de ocupar suelos no antropizados** para la instalación de la infraestructura fotovoltaica

Facilita una transición energética más justa **con beneficios económicos para el agricultor**: nueva fuente de ingreso, autoconsumo energético, reducción de riesgos por diversificación y mayor rendimiento por superficie por agregación

**Genera empleo** sin afectar los puestos de trabajo en la explotación agrícola

# Agrivoltaica: Desafíos y oportunidades

## OPORTUNIDADES

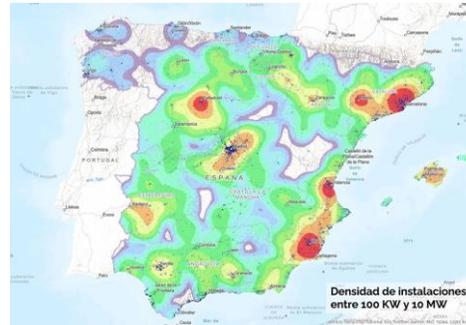
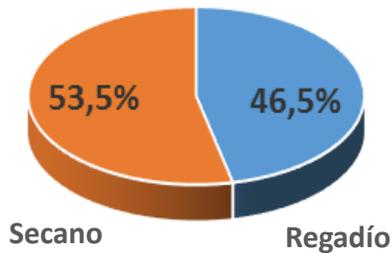
- Mayor retención de agua en el suelo
- Mitigación del estrés abiótico
- Protección de los cultivos frente a eventos atmosféricos adversos
- Aprovechamiento de las estructuras
- Posibilidad de captación de agua ambiental
- Mejora del rendimiento agrícola
- Mayor aceptación social
- Protección de trabajadores frente al calor
- ...

## DESAFÍOS

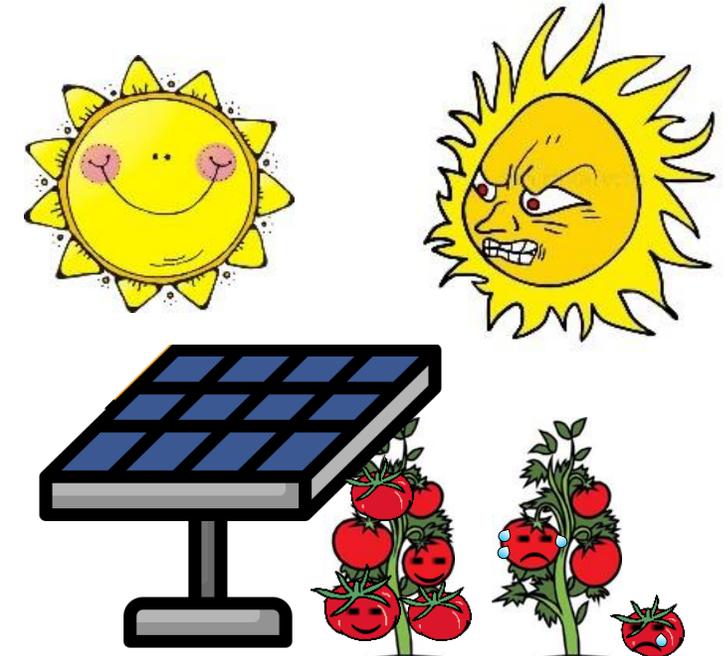
- Pérdida de rendimiento FV
- Aumento del coste de la instalación FV
- Mayor dificultad/coste en mantenimiento FV
- Posible pérdida de rendimiento agrícola
- Retrasos en la recolección
- Aumento el riesgo de plagas y enfermedades
- Modificación de la distribución de la lluvia
- Heterogeneidad de la radiación a los cultivos
- Dificultad en la mecanización de labores
- Impacto sobre el paisaje
- Posible interferencia con corredores ecológicos

# Agrivoltaica: Oportunidades para el sur de España

## La agricultura pilar socioeconómico

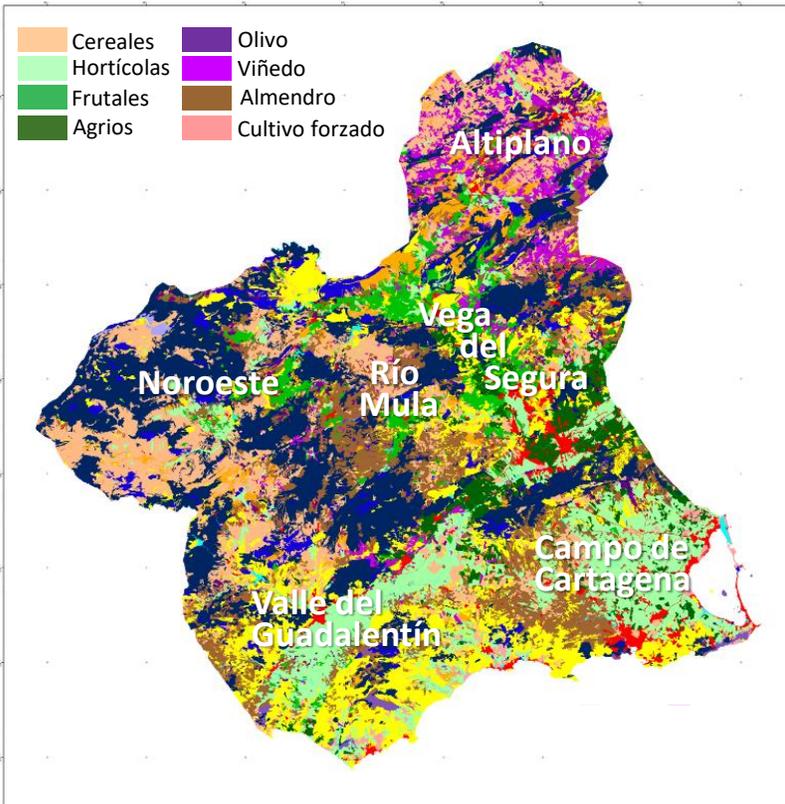


## Manejo de cultivos y mitigación del estrés abiótico



> 3000 h de luz solar al año  
> 5 kWh m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>

# Estructura agraria de la Región de Murcia



1,1 millones de hectáreas  
 Altitudes desde nivel del mar hasta 2000 m  
 Precipitación media anual < 250 mm  
 Temperatura media anual de 16,5 °C.





1

INVERNADERO AGRIVOLTAICO

Primera fase: Evaluación de tecnologías FV para el cultivo de tomate y pimiento



Universidad de Jaén



4 módulos (control, malla sombreo, tecnología FV)  
3,9 m largo x 2 m ancho x 3,1 m alto (inclinación de cubierta 18°)

1

## INVERNADERO AGRIVOLTAICO

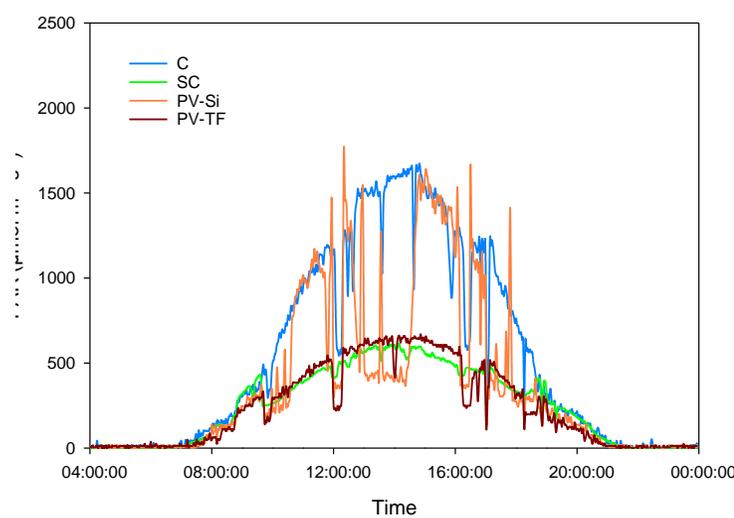
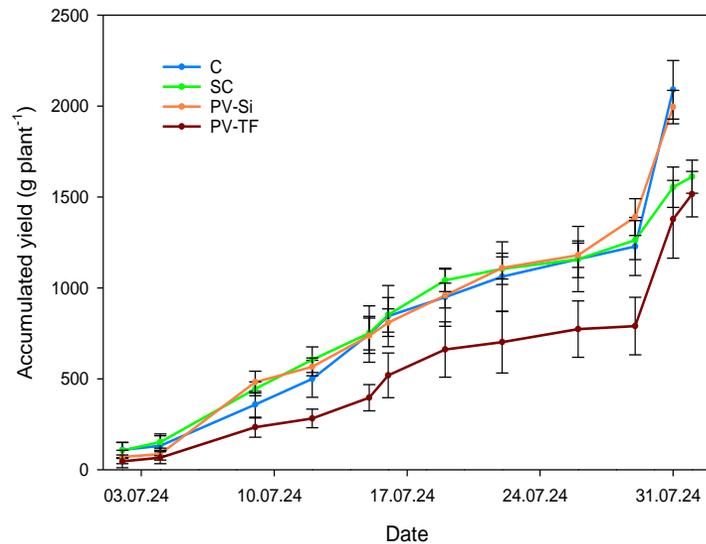
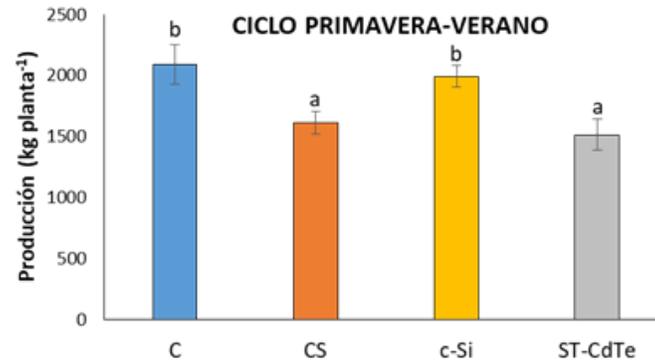
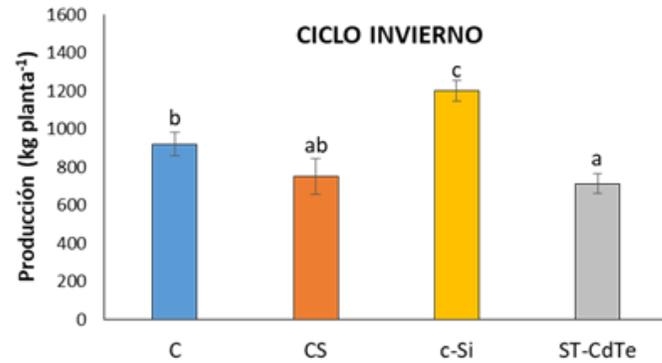
Primera fase: Evaluación de tecnologías FV para el cultivo de tomate y pimiento



1

INVERNADERO AGRIVOLTAICO

Primera fase: Evaluación de tecnologías FV para el cultivo de tomate y pimiento



1

## INVERNADERO AGRIVOLTAICO

### Segunda fase: Construcción de invernadero agrivoltaico

- No limitación de la producción agrícola
- Generación de energía suficiente para autoconsumo (invernadero tecnificado)
- No modifica la estructura habitual de los invernaderos
- No requiere mantenimiento ni gestión de seguidores



Producción: 9.8 kWh/año\* Consumo: 4,7 kWh/año \*\*

\* Producción estimada con PVGIS sin tener en cuenta la ganancia por bifacialidad, ni la reducción de radiación solar por plástico del invernadero.

\*\* Consumo estimado para un invernadero de 96 m2 con un equipamiento medio/alto

2

SISTEMA AGRIVOLTAICO ABIERTO



AV Experimental

- CDTA “El Mirador”, San Javier (Murcia)
- 600 m<sup>2</sup> cultivados
- 3 trackers (22,8 m x 4,2 m x 2,40 m)
- Sin cimentación
- Silicio cristalino opacos/semitransp.
- Potencia 35,7 kWp (24 + 11,7)



2

## SISTEMA AGRIVOLTAICO INTENSIVO

Pimiento



Apio



Col picuda  
Colirrábano



Lechuga  
Brócoli

Tomillo  
Romero

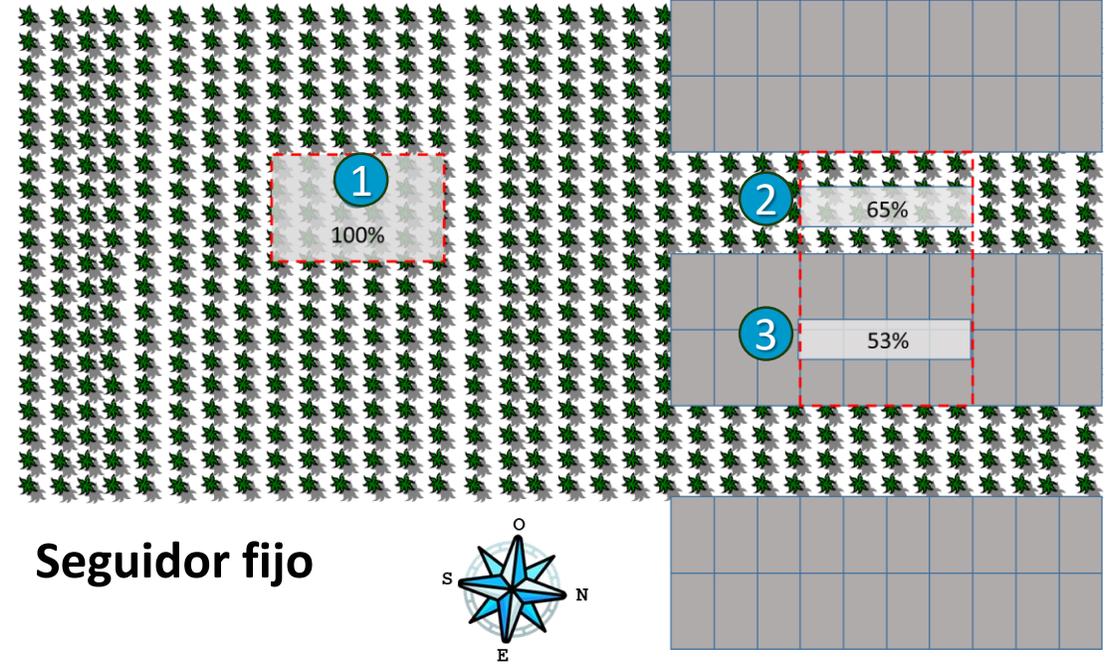
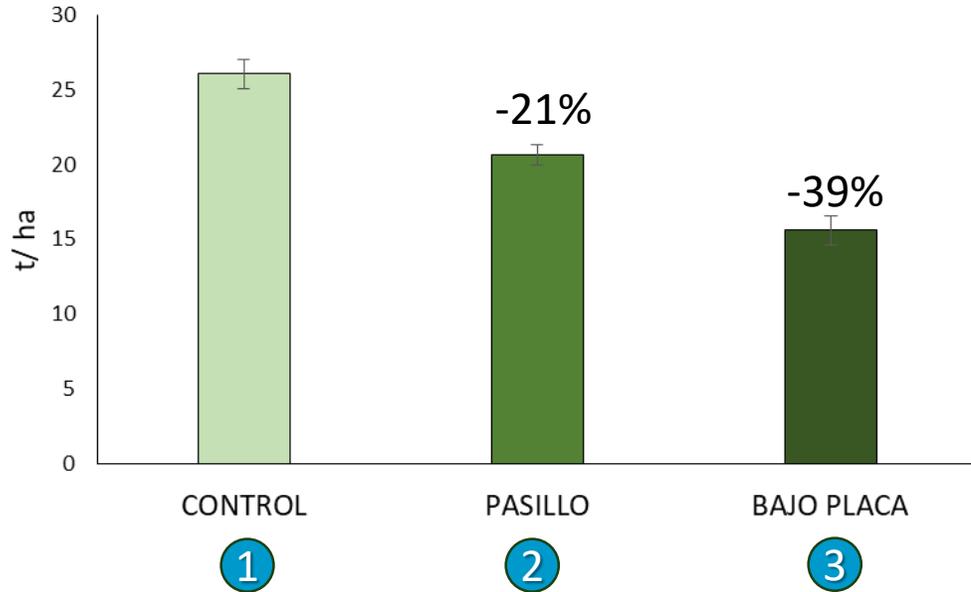


2

SISTEMA AGRIVOLTAICO INTENSIVO

LECHUGA

Ciclo invierno

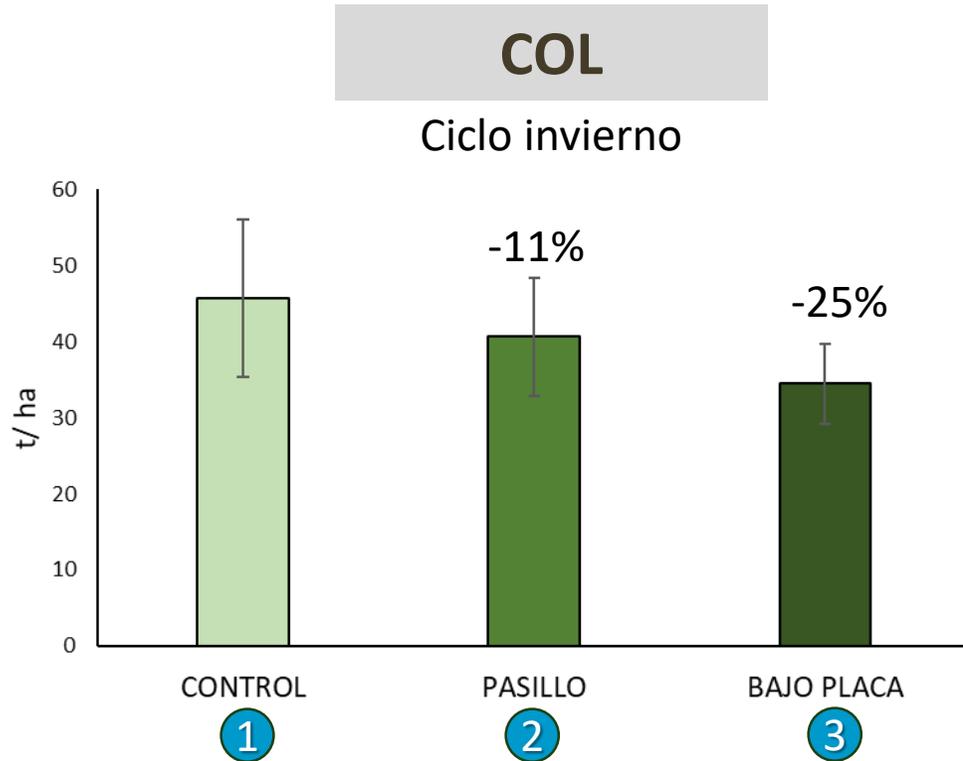


Peso medio (g), compacidad (g L<sup>-1</sup>) y espigado (cm) de lechuga (cogollo comercial)

	Peso	Compacidad	Espigado
1 Control	260 c	200 c	6.9 a
2 Pasillo	206 b	185 b	6.4 a
3 Bajo placa	156 a	155 a	9.2 b
	***	***	***

2

SISTEMA AGRIVOLTAICO INTENSIVO



Días después del transplante (DDT) para alcanzar 50% y 100% de la producción de col

	50% Producción	100% Producción
1 Control	89 DDT	94 DDT
2 Pasillo	94 DDT	101 DDT
3 Bajo placa	97 DDT	>101 DDT

Peso medio (g), compacidad (g cm<sup>-3</sup>) y espigado (cm) de col (cogollo comercial)

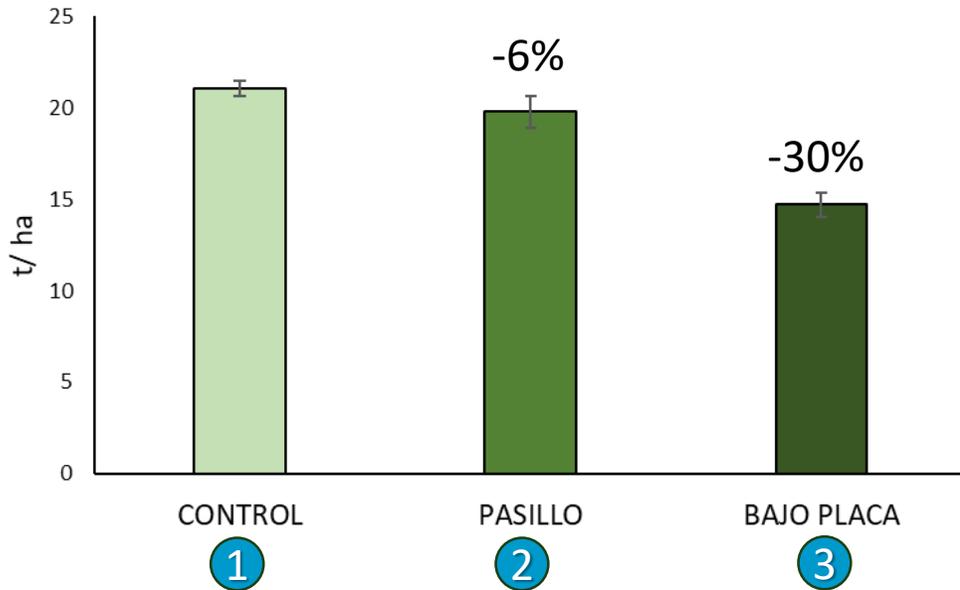
	Peso	Compacidad	Espigado
1 Control	915 b	526 b	5.7
2 Pasillo	813 b	492 a	5.8
3 Bajo placa	689 a	504 a	5.7
	***	*	n.s.

2

SISTEMA AGRIVOLTAICO INTENSIVO

**BRÓCOLI**

Ciclo invierno



Tiempo (días después del transplante, DDT) para alcanzar tamaño comercial

	30% Producción	100% Producción
Control	91 DDT	97 DDT
Pasillo	94 DDT	101 DDT
Bajo placa	97 DDT	>101 DDT

Distribución de la producción de brócoli

Control	%
<250 g	1
250-399 g	42
400-499 g	43
500-750 g	14
Pasillo	%
<250 g	12
250-399 g	45
400-499 g	38
500-750 g	22
Bajo placa	%
<250 g	33
250-399 g	49
400-499 g	7
500-750 g	0

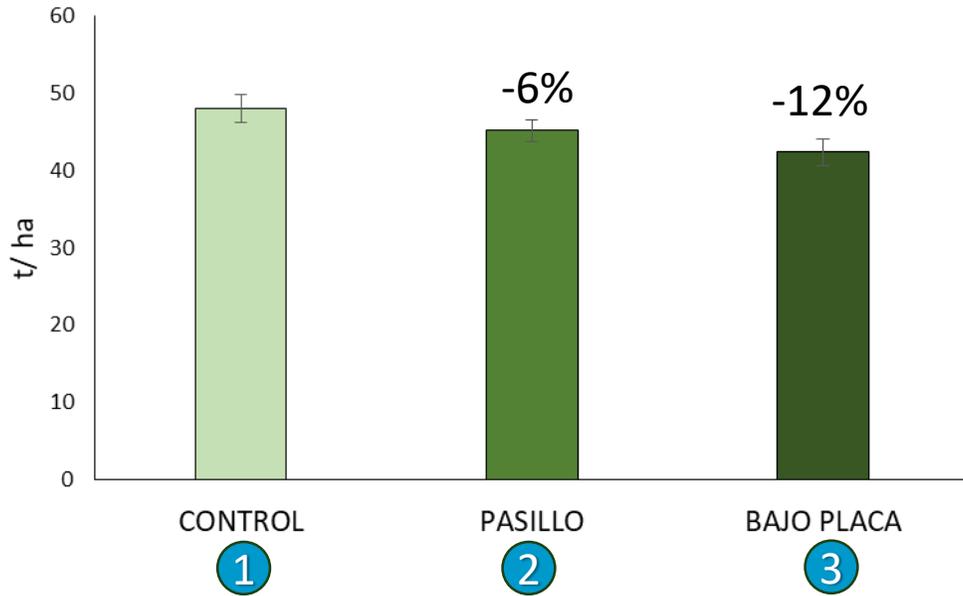
2

SISTEMA AGRIVOLTAICO INTENSIVO

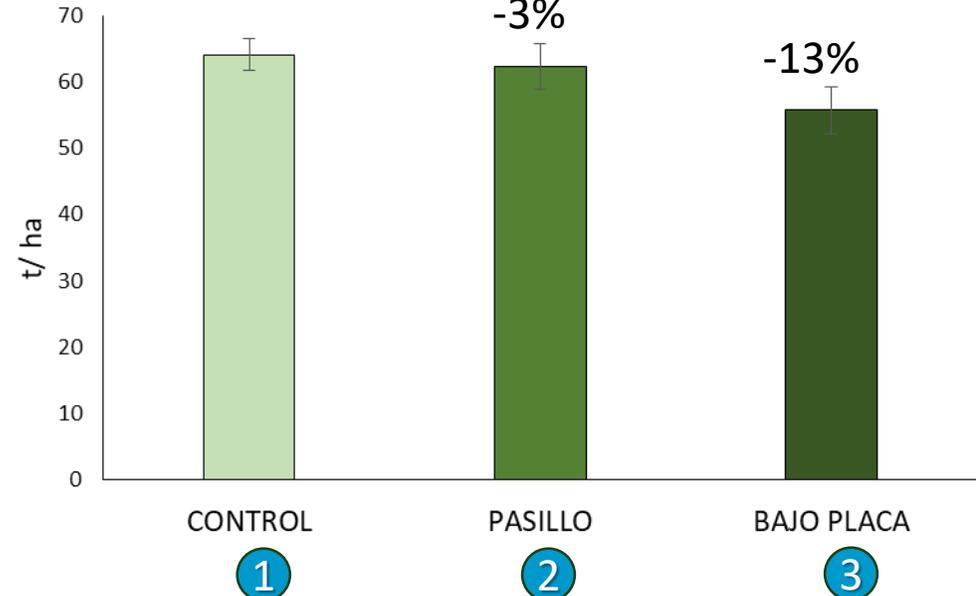
APIO

Ciclo invierno

PLANTA ENTERA



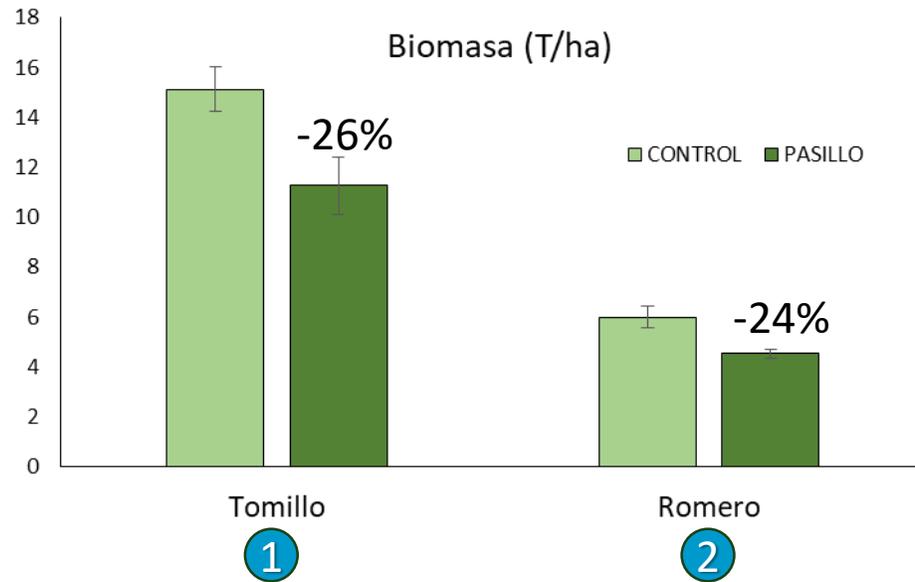
PLANTA CORTADA (35 cm)



2

SISTEMA AGRIVOLTAICO INTENSIVO

AROMÁTICAS



Perfil de aceite esencial en tomillo y romero cultivado en Sistema AV abierto

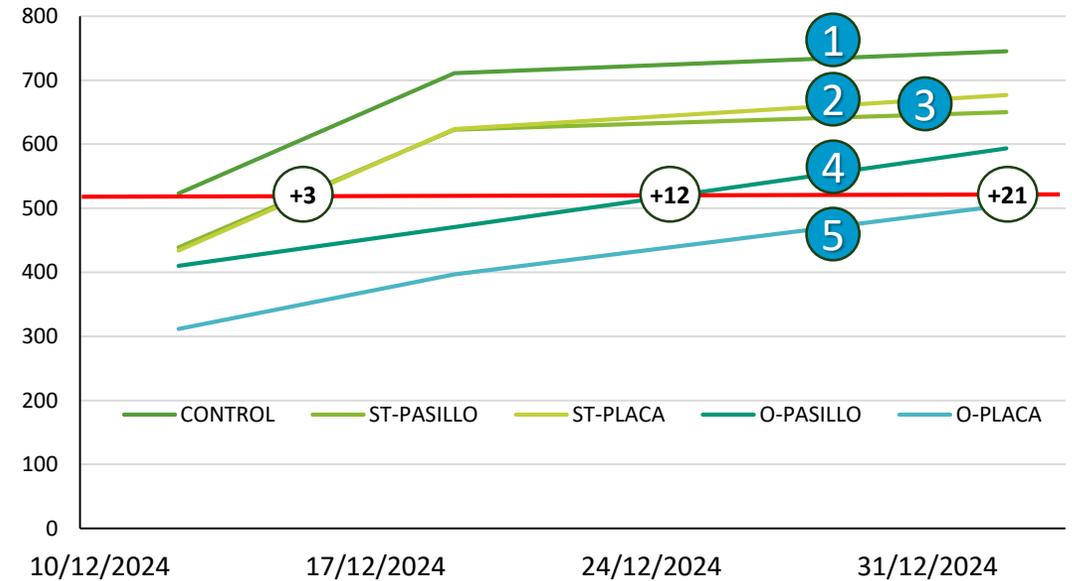
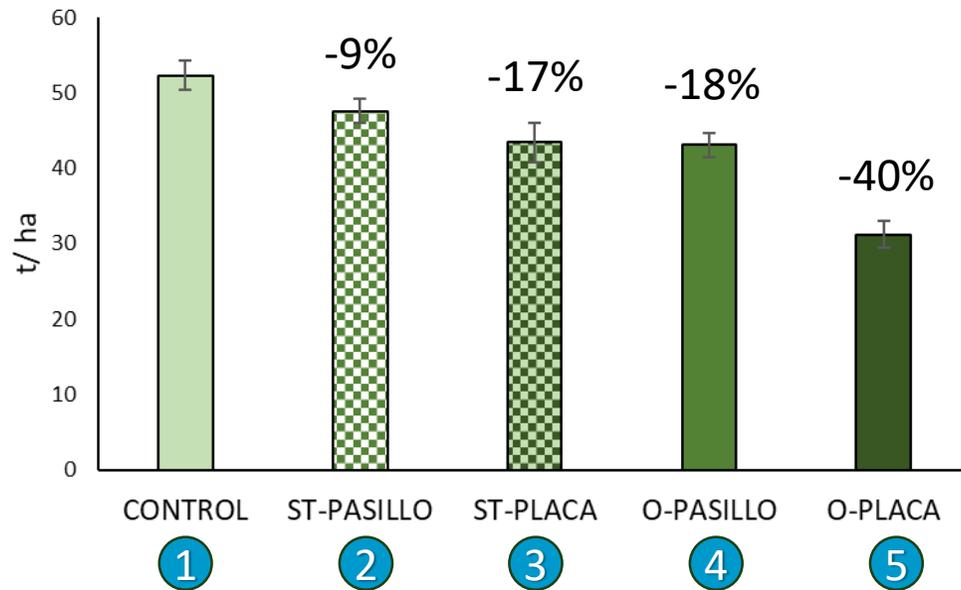
Especie		1 Control	2 Pasillo	Sig.
Tomillo	Thymol	73.2 ± 0.9	73.9 ± 1.0	n.s.
	<i>p</i> -Cymene	8.3 ± 0.5	8.2 ± 0.6	n.s.
	$\alpha$ -Terpineol	5.5 ± 0.4	4.8 ± 0.7	n.s.
	Carvacrol	4.0 ± 0.1	4.2 ± 0.1	n.s.
	Linalool	1.7 ± 0.2	1.8 ± 0.2	n.s.
	$\alpha$ -Terpinene	1.2 ± 0.1	1.1 ± 0.1	n.s.
Romero	Linalool	17.9 ± 1.9	19.5 ± 1.8	n.s.
	Terpinolene	17.9 ± 0.7	16.4 ± 1.2	n.s.
	$\alpha$ -Pinene	17.3 ± 2.3	17.9 ± 1.0	n.s.
	Camphor	8.8 ± 1.2	9.7 ± 0.7	n.s.
	1.8-Cineole	6.1 ± 0.4	5.6 ± 0.9	n.s.
	Camphene	4.5 ± 0.1	4.7 ± 0.1	n.s.

2

SISTEMA AGRIVOLTAICO INTENSIVO

APIO

Ciclo invierno

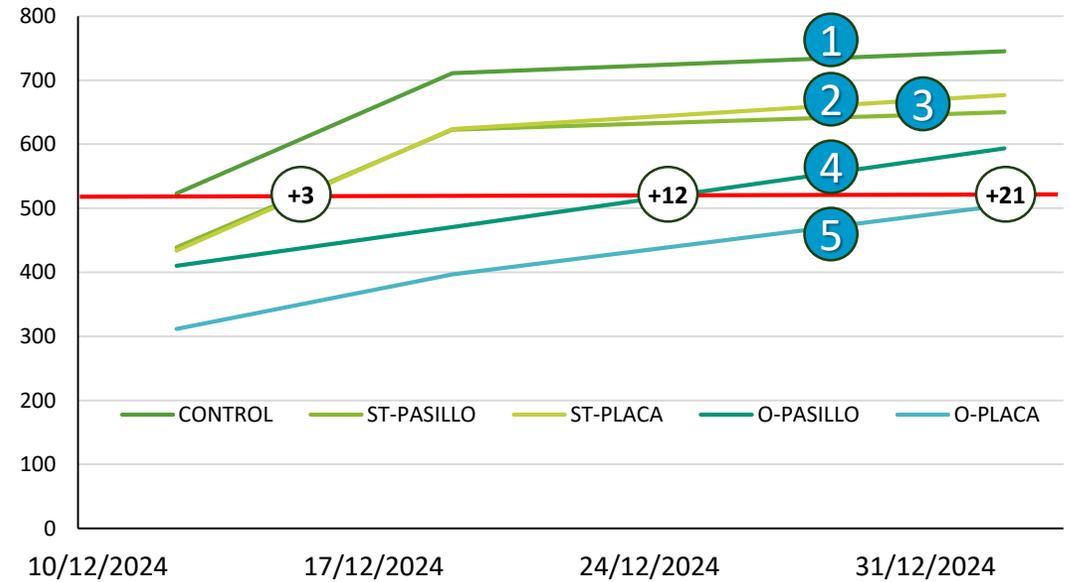
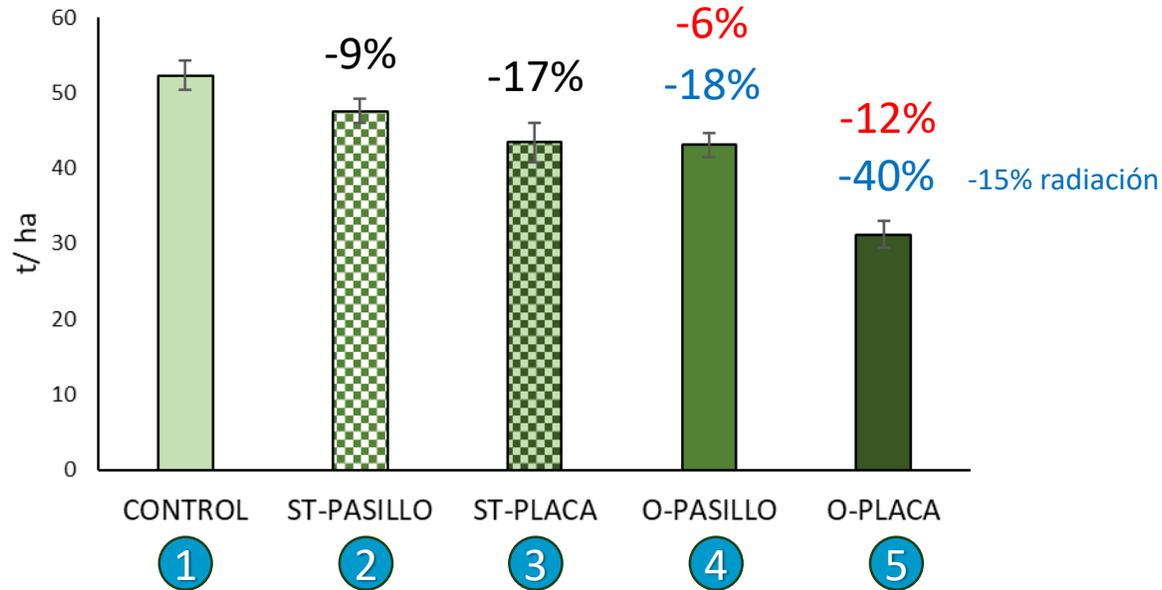


2

SISTEMA AGRIVOLTAICO INTENSIVO

APIO

Ciclo invierno

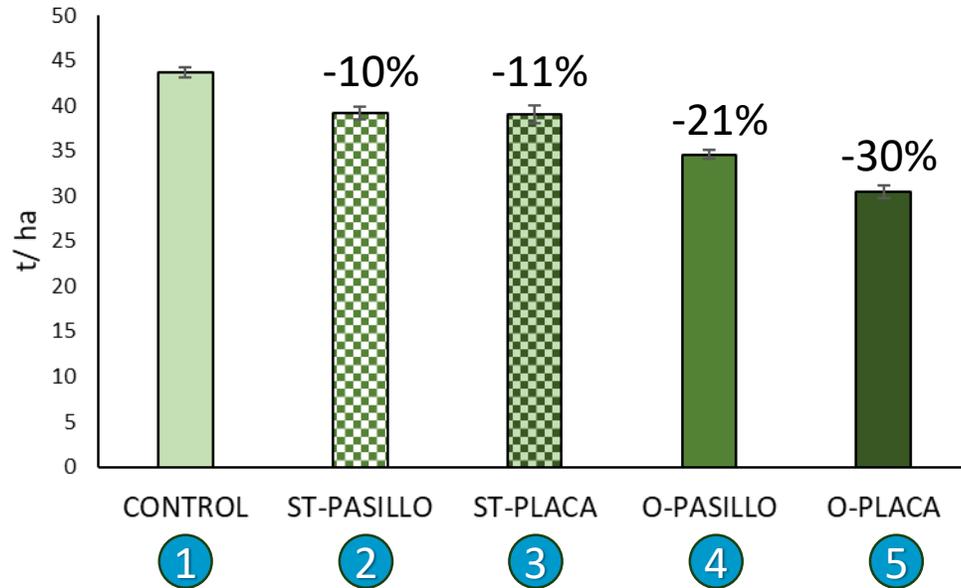


2

SISTEMA AGRIVOLTAICO INTENSIVO

COLIRRÁBANO

Ciclo invierno



Tiempo (DDT) para alcanzar el 90% de la producción de colirrábano

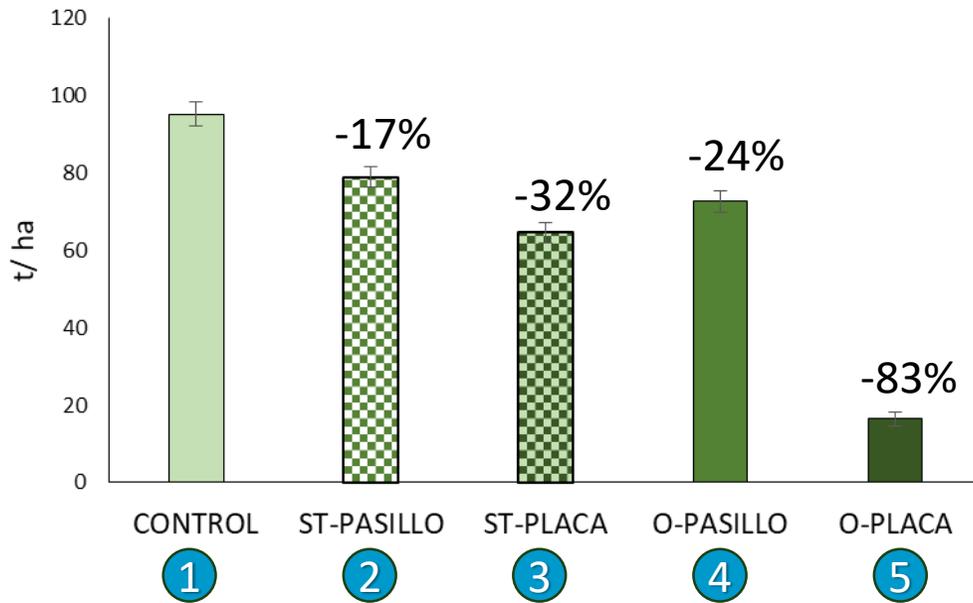
	90% Producción	Días
Control	52 DDT	
ST-Pasillo	55 DDT	+3
ST-Placa	59 DDT	+7
O-Pasillo	63 DDT	+11
O-Placa	93 DDT	+41

2

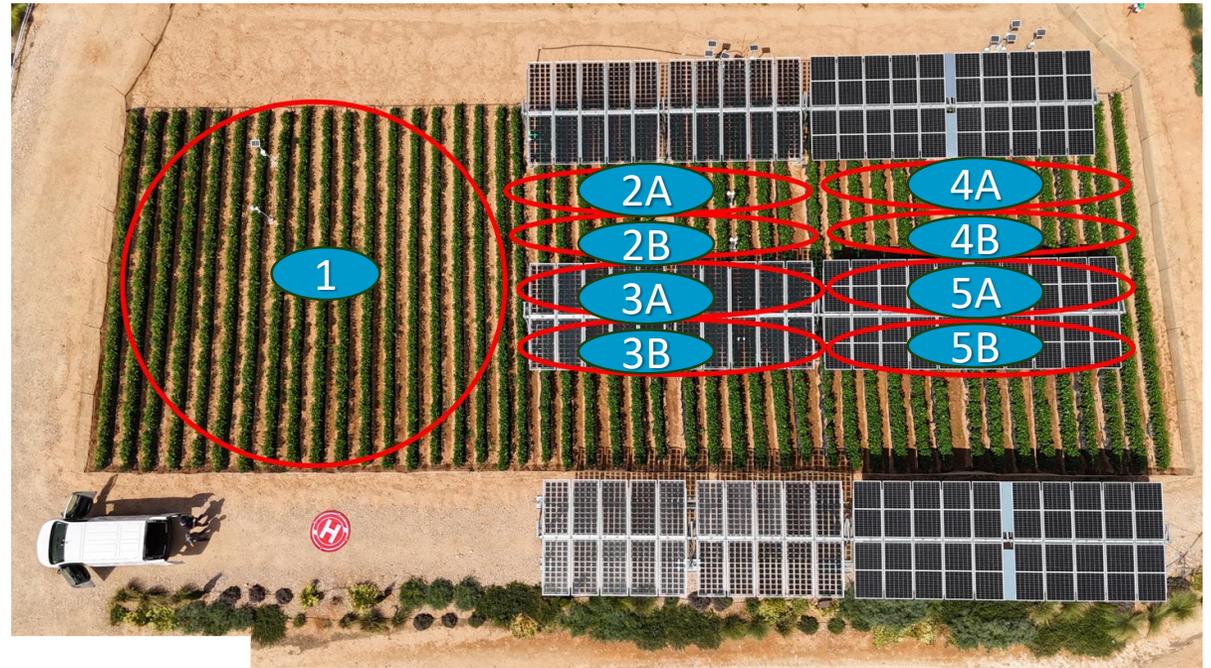
SISTEMA AGRIVOLTAICO INTENSIVO

PIMIENTO

Ciclo invierno



Seguimiento solar



3

## SISTEMA AGRIVOLTAICO DE SECANO



Sequia  
Tierras en riesgo de abandono

Grandes extensiones  
Marcos de plantación amplios

3

SISTEMA AGRIVOLTAICO DE SECANO



**RESULTADOS ESPERADOS**

Bajo impacto (o positivo) sobre la producción agrícola  
Bajo rendimiento FV por unidad de superficie

**IMPACTO ESPERADO**

Aumento de la rentabilidad del suelo  
Disponibilidad de energía renovable  
Diversificación económica



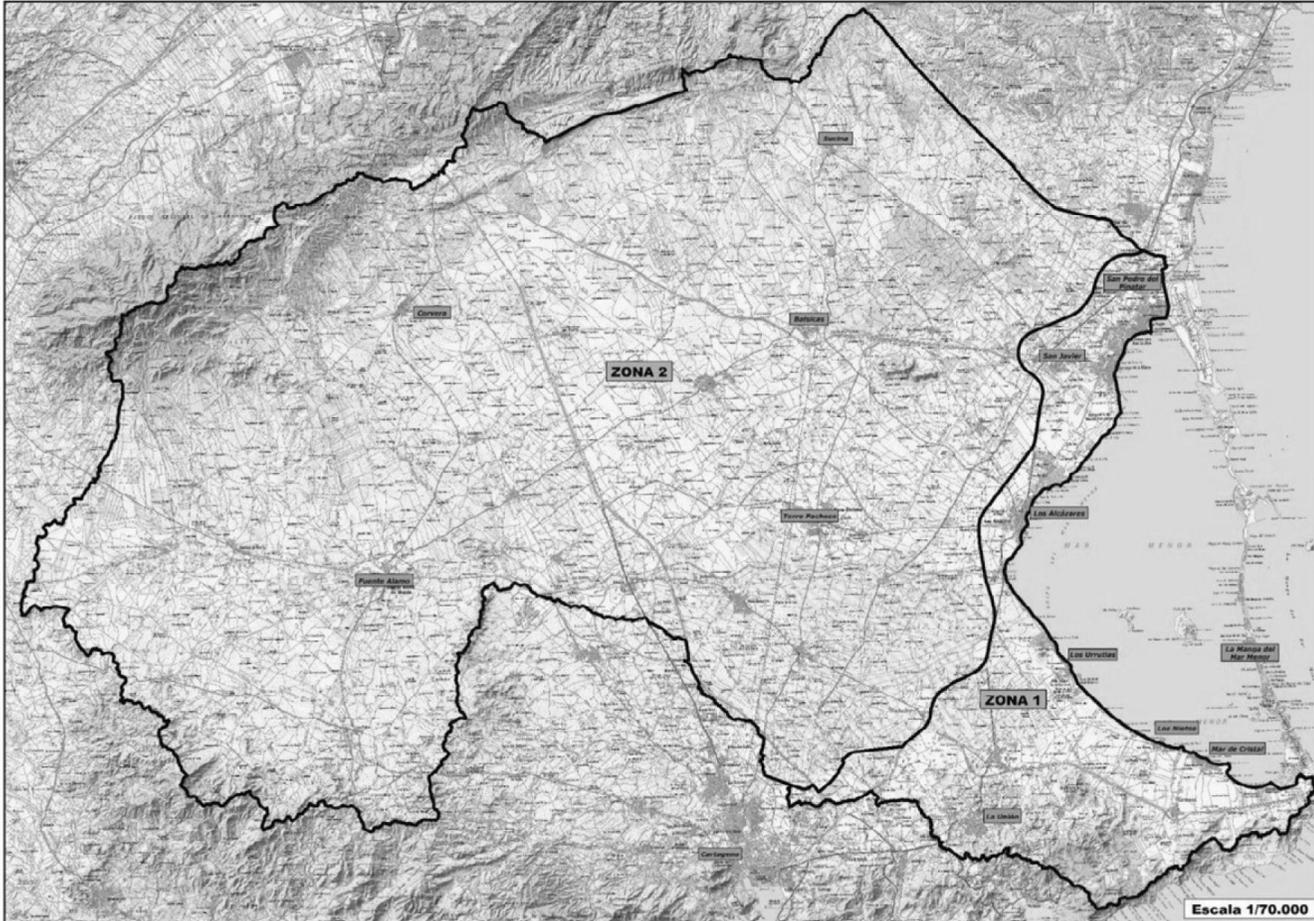
Fijación de la población



Disminuir el riesgo de erosión

4

SISTEMA AGRIVOLTAICO ZONAS VULNERABLES



4

SISTEMA AGRIVOLTAICO ZONAS VULNERABLES



**RESULTADOS ESPERADOS**

- Reducción de la superficie cultivada
- Rendimiento FV por potencia instalada óptimo
- Rendimiento FV por unidad de superficie reducido

**IMPACTO ESPERADO**

- Reducción del aporte de agua y nutrientes
- Posible mejora del suelo
- Generación/mantenimiento de empleo
- Mantener/ aumentar rentabilidad

## CONCLUSIONES

- No se puede establecer un patrón general de pérdida de rendimiento agrícola
  - Especie: tolerancia al sombreado, hoja vs fruto
  - Ciclo de cultivo (verano vs invierno)
  - Factores locales: localización, clima, suelo, agua, año
  - Diseño y gestión de la infraestructura FV
  - Gestión del riego y la fertilización
  - Evaluación de resultados: Producción total/categorías, retrasos en la recolección, recolección
- Pérdidas probables de la producción agrícola, especialmente en cultivos intensivos (10-30% para FV semitransparente 50%, según cultivo)
- Pérdida inevitable de rentabilidad FV para cubrir necesidades de luz y laboreo de los cultivos: paneles elevados, verticales, semitransparentes, gestión de trackers, menor densidad FV...
- Mejora de la producción bajo condiciones de estrés ambiental específicas

## LÍNEAS DE ESTUDIO

- Ensayos en condiciones locales específicas para explorar cultivos más adecuados
- Gestión eficiente del riego y la fertilización adaptada a los sistemas AV
- Diseños agrícolas adaptados a sistemas AV (variedades tolerantes, combinación de cultivos...)
- Soluciones con infraestructura menos costosa y mas fácil de mantener
- Nuevos sistemas *anti-soiling*
- Estudios de viabilidad y rentabilidad económica (LER)
- Modelos de negocio



## GOBERNANZA

- Regulación de definición y categorías:
  - Pérdida máxima de rendimiento agrícola (superficie y productividad), según categorías (actividad prioritaria)
  - ¿Pérdida máxima de rendimiento FV?
  - Contemplar “casos especiales”
- Medidas de control para rendimiento de ambas actividades (dificultad para fijar una referencia para el control del impacto sobre el rendimiento agrícola)
  - Incentivos económicos y financieros (subvenciones, ayudas directas, PAC)
  - Acceso de sistemas AV al mercado energético
  - Regulación coexistencia de energía solar y producción agraria
  - Asesoramiento y programas de capacitación
  - Facilidades para el autoconsumo en explotaciones agrícolas
  - ...

# GRACIAS

Pilar Flores  
[mpilar.flores@carm.es](mailto:mpilar.flores@carm.es)

