



## PROGRAMA DE I+D+i ORIENTADA A LOS RETOS DE LA SOCIEDAD 2013



### PROYECTO COORDINADO

**Desarrollo del cultivo de arroz aeróbico aplicando técnicas de agricultura de conservación en las Vegas del Guadiana: efectos en la dinámica de herbicidas, propiedades edáficas y dinámica de emisión de gases de efecto invernadero**



**ANTONIO LÓPEZ PIÑEIRO**  
**GRUPO DE INVESTIGACIÓN GORSAS,**  
**UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA**

# Desarrollo del cultivo de arroz aeróbico aplicando técnicas de agricultura de conservación en las Vegas del Guadiana: efectos en la dinámica de herbicidas, propiedades edáficas y dinámica de emisión de gases de efecto invernadero

## PROYECTO COORDINADO

-Universidad de Extremadura

Grupo de investigación GORSAS

Dr. Francisco Javier Sánchez Llerena

Dr. Daniel Becerra Traver

Universidad de Lisboa

Instituto Politécnico de Portalegre

-Instituto de Recursos Naturales de Sevilla – CSIC

-Casas de Hitos. Navalvillar de Pela (Badajoz)



**ANTONIO LÓPEZ PIÑEIRO**  
**GRUPO DE INVESTIGACIÓN GORSAS, UEX**

# ANTECEDENTES

## El Cultivo del Arroz

### En la Unión Europea:

Más del 60% de la producción total nacional

475 000 ha de cultivo

### En España:

121 746 ha de cultivo

929 000 toneladas arroz cáscara

Rendimiento medio 7 600 kg ha<sup>-1</sup>

3.2 millones de  
toneladas de arroz  
cáscara

2 120 ha  
7 300 kg ha<sup>-1</sup>

2

1

mil millones de toneladas  
de arroz blanco  
39 358 ha  
9 200 kg ha<sup>-1</sup>

28% Sup  
30% Pro

tal  
otal





# ANTECEDENTES

## El Cultivo del Arroz

Manejo del suelo

IMPORTANTE PROBLEMÁTICA

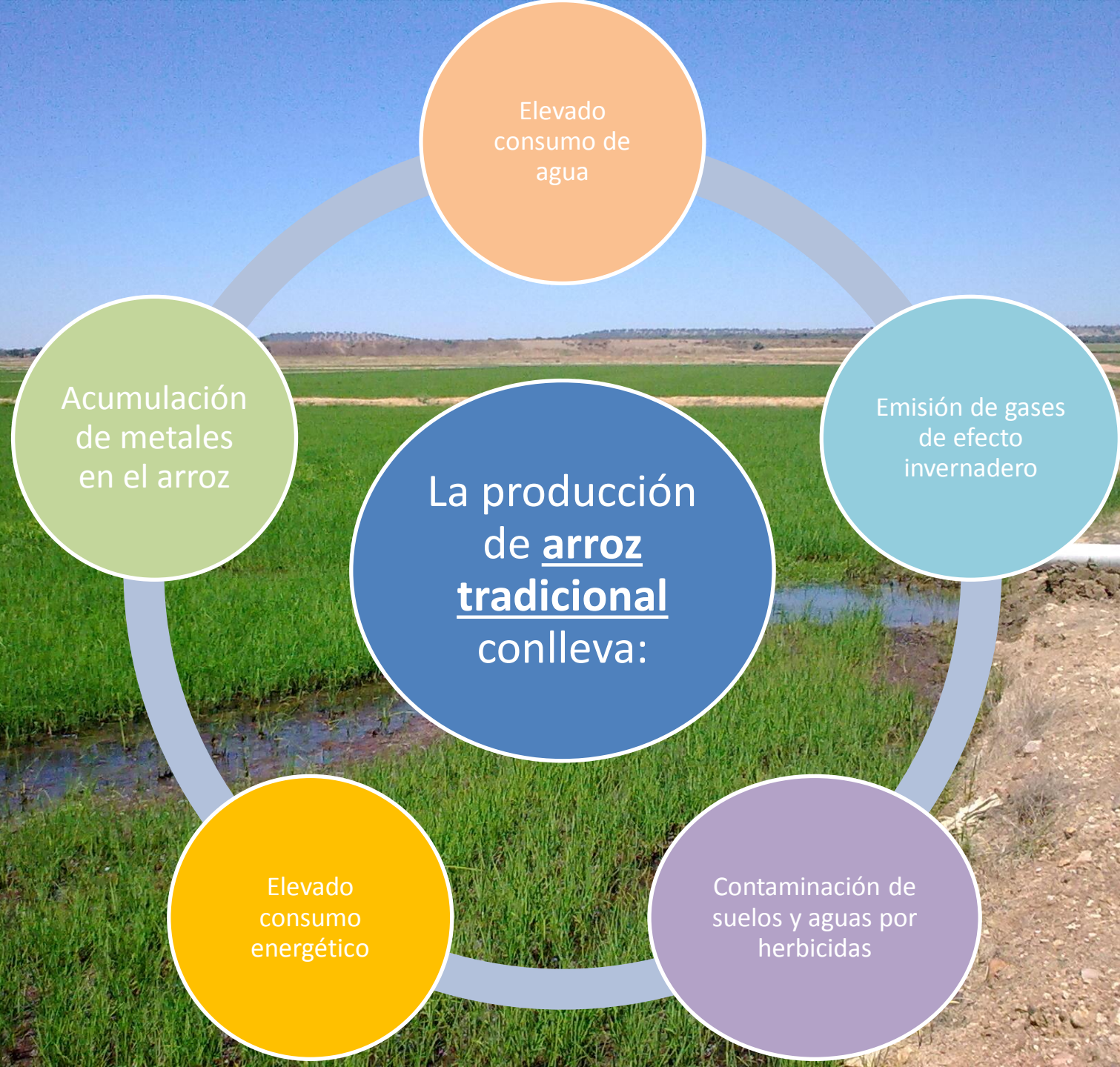
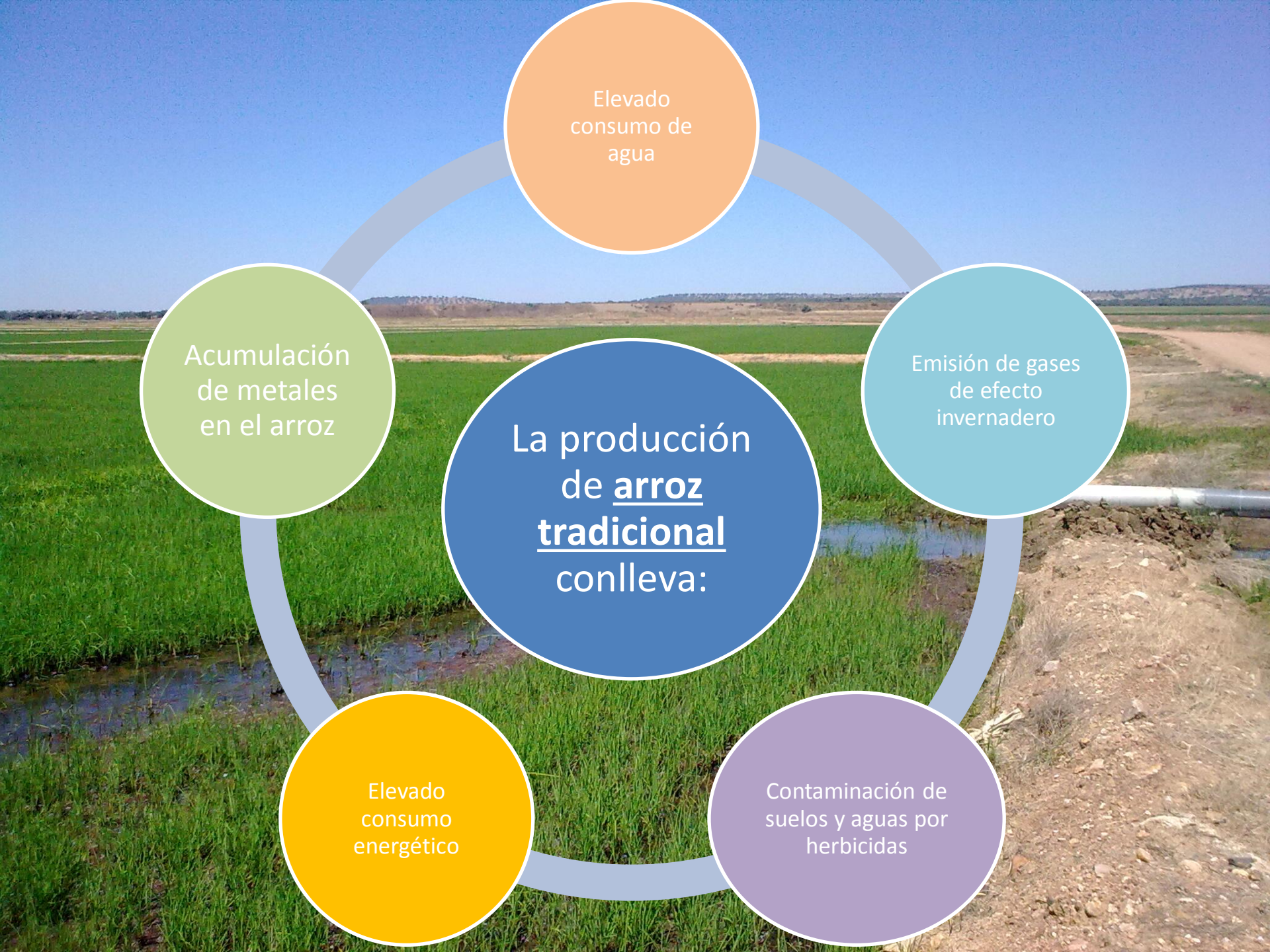
AL

Realización de ~~los~~ <sup>Degradación</sup> ~~de~~ <sup>de</sup>

Agua







# ANTECEDENTES

## Problemática del arroz



### Métodos alternativos de manejo del suelo

#### Agricultura de Conservación



Alcanzar productividad mejorada y sostenible

Perturbación mínima del terreno  
Mayor rentabilidad económica

Cobertura permanente  
Preservar el medio ambiente

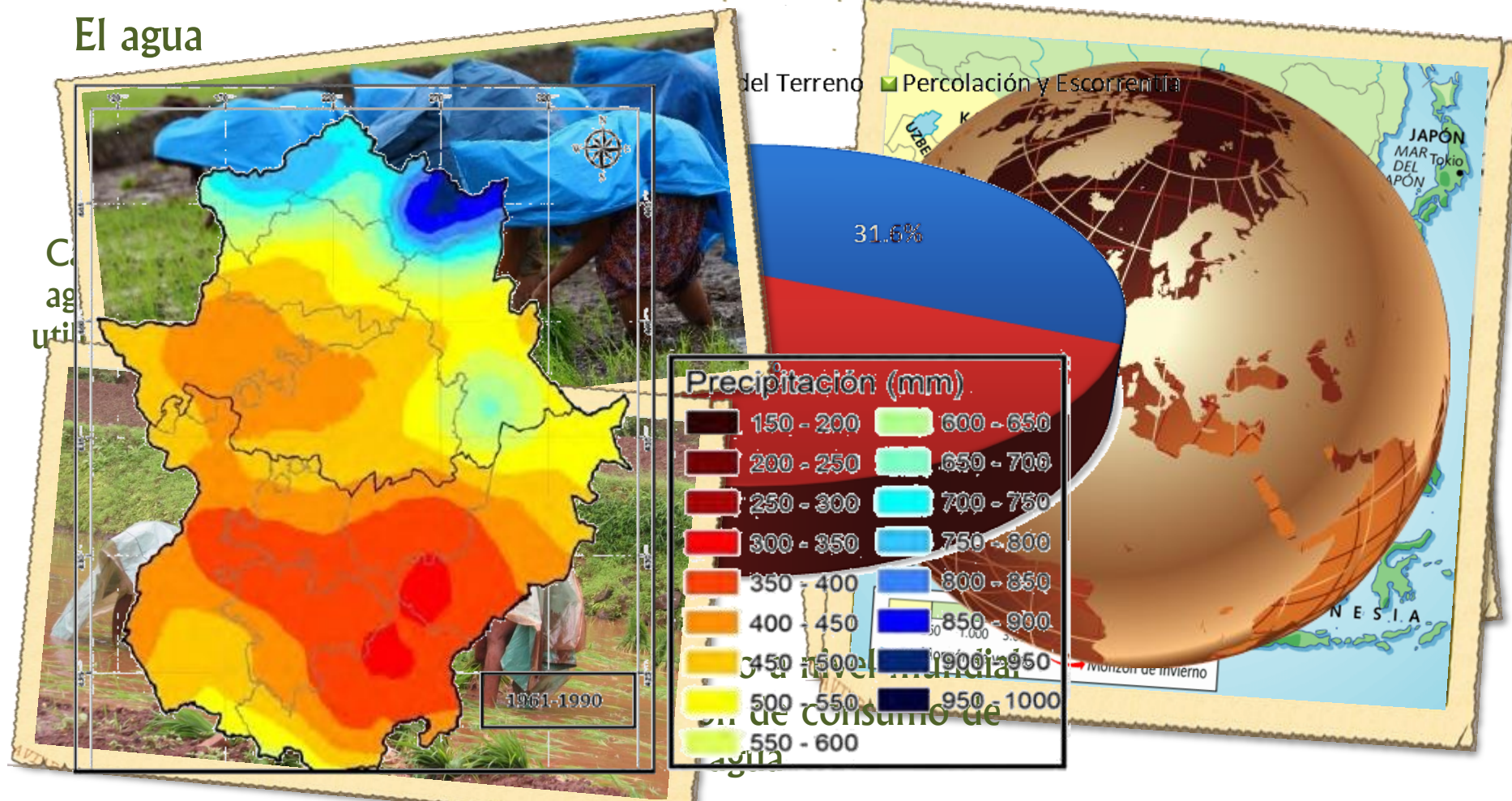
Diversificación de especies  
Reforzar los recursos naturales



# ANTECEDENTES

## Problemática del arroz

### El agua



# ANTECEDENTES

## Problemática del arroz



### Métodos alternativos de cultivo: Arroz aeróbico



En regiones semiáridas:

- Variedades poco adaptadas al cultivo aeróbico
- Arroz se desarrolla en suelos no saturados
- Necesaria una planificación de riego al alternar con otros cultivos

Inundaciones intermitentes

Riego por aspersión



# ANTECEDENTES

## Problemática del arroz



### Métodos alternativos de cultivo: Arroz aeróbico

#### Riego por aspersión

- Aplicación de agua de manera uniforme

- Escasas pérdidas de agua

- Posibilidad de implementar fertirrigación

- No necesita nivelación previa

- Permitiría la expansión del cultivo a zonas que previamente no eran adecuadas

- Posibilidad de implementar técnicas de agricultura de conservación



# Desarrollo del cultivo de arroz aeróbico aplicando técnicas de agricultura de conservación en las Vegas del Guadiana: efectos en la dinámica de herbicidas, propiedades edáficas y dinámica de emisión de gases de efecto invernadero. Subproyecto UEX





# OBJETIVOS

Determinar el efecto que los sistemas de producción de arroz aeróbico aplicando técnicas de agricultura de conservación (siembra directa) ejerce sobre:

la productividad del agua y del cultivo

propiedades edáficas

movilidad y persistencia de herbicidas

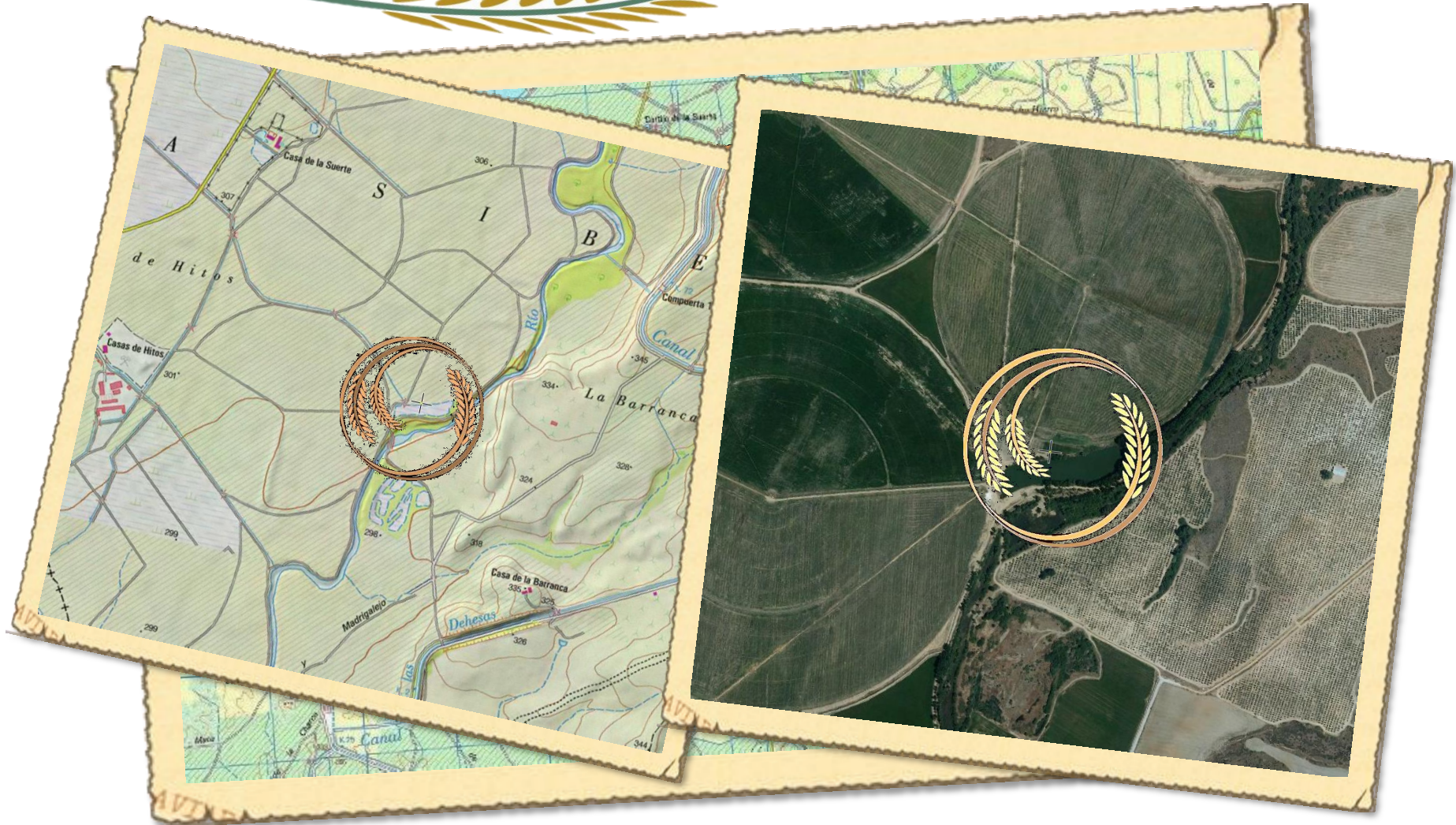
biodisponibilidad de As y Cd

flujo de gases de efecto invernadero



# MATERIALES Y MÉTODOS

## Localización





# MATERIALES Y MÉTODOS

## Diseño Experimental



- Laboreo tradicional
- Riego por inundación



- Laboreo tradicional
- Riego por aspersión



- Siembra directa
- Riego por aspersión
- 7 años de antigüedad



- Siembra directa
- Riego por inundación



- Siembra directa
- Riego por aspersión

# MATERIALES Y MÉTODOS

## Cantidad de agua aportada

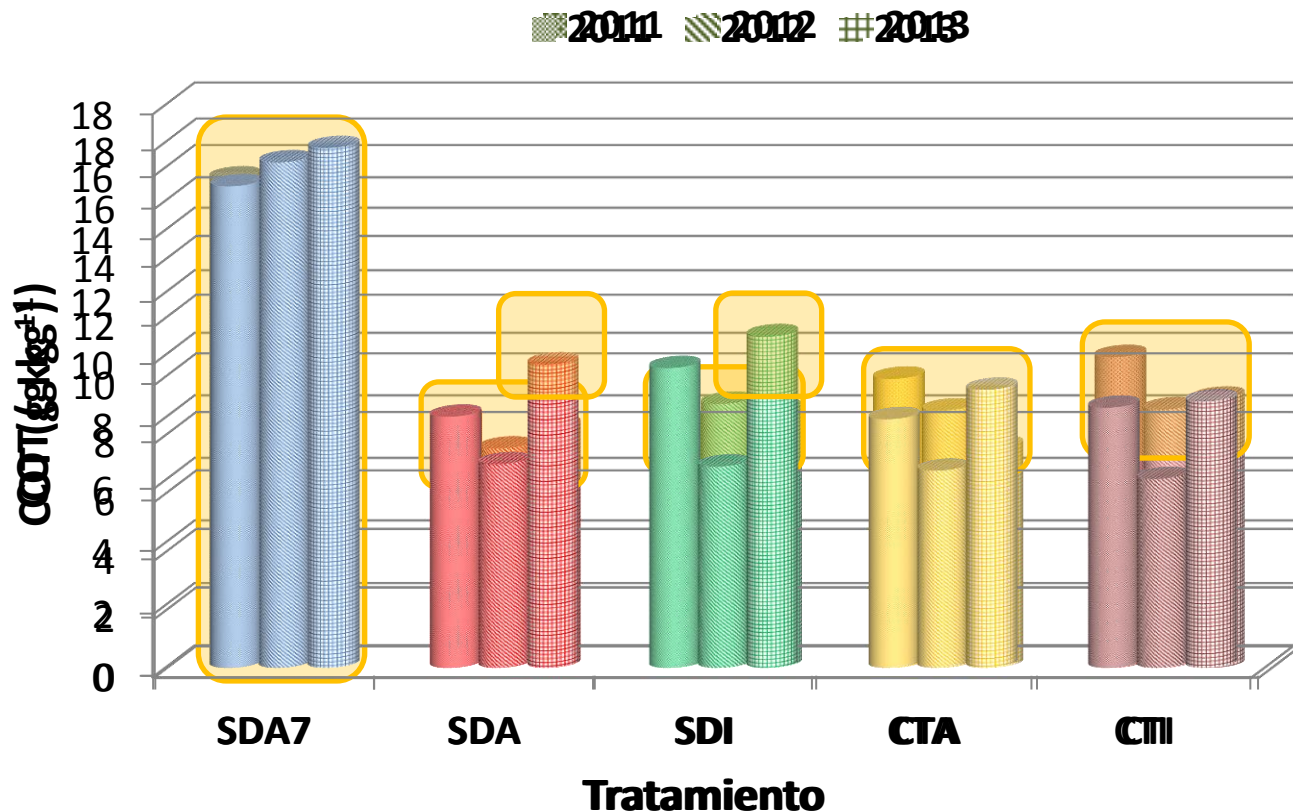
Tratamiento	Riego ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ )		
	2011	2012	2013
SDA7, SDA, CTA	7 010	6 704	7 799
SDI	11 470	12 436	12 120
CTI	24 399	34 290	32 235



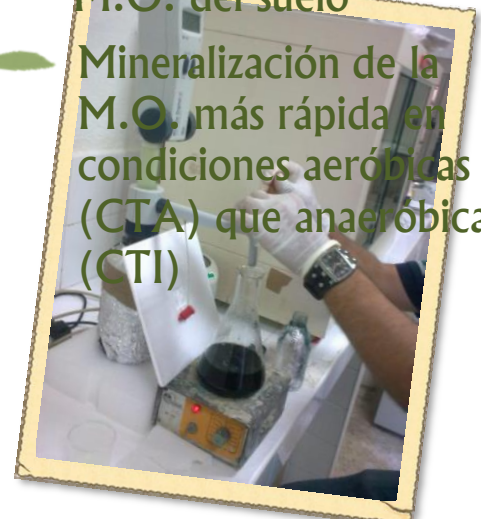
# RESULTADOS Y DISCUSIÓN - SUELOS

## Propiedades físico-químicas

### Carbono Orgánico Total (COT) – 0-20 cm



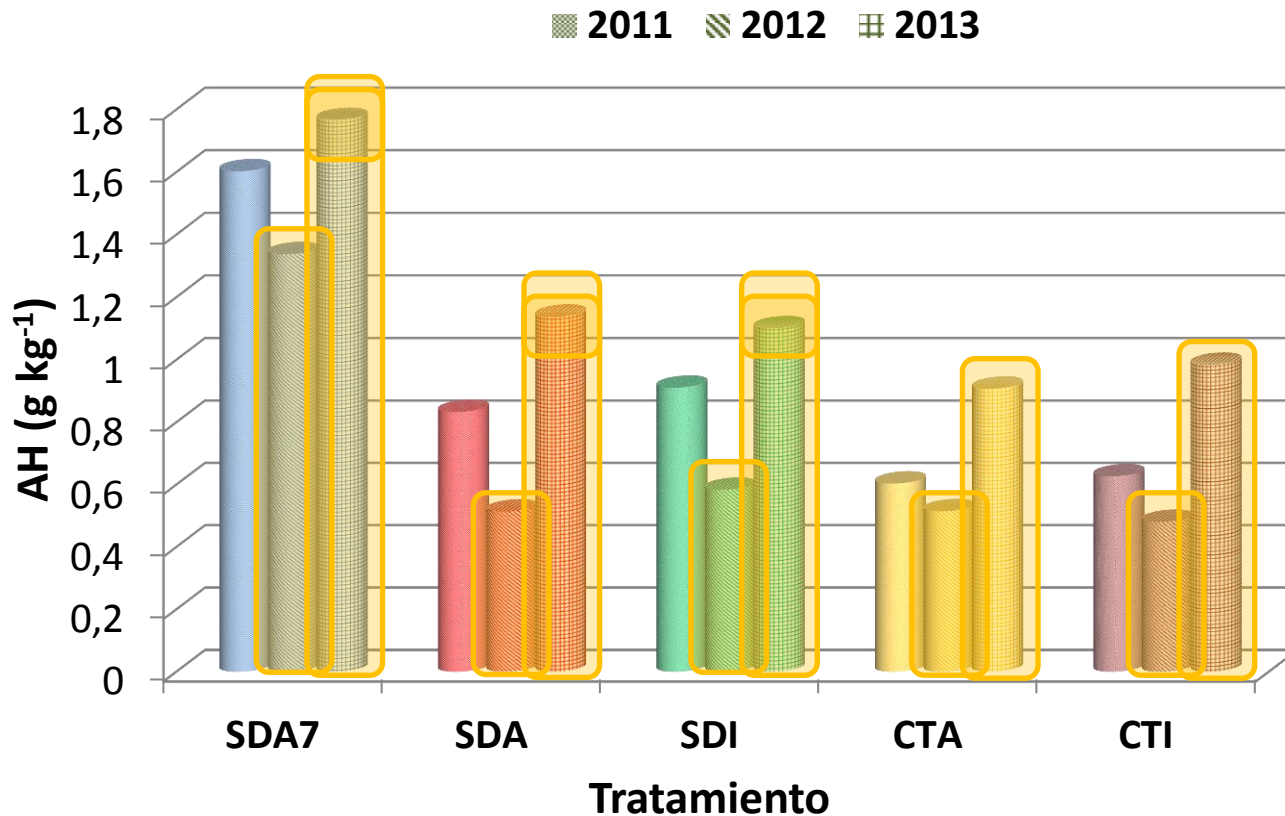
- Efectos del CTA y CTI en la mineralización del M.O.
- Rotación de cultivos y agregados y expone M.O. del suelo
- Mineralización de la M.O. más rápida en condiciones aeróbicas (CTA) que anaeróbicas (CTI)



# RESULTADOS Y DISCUSIÓN - SUELOS

## Propiedades físico-químicas

### Ácidos Húmicos (AH) 0-20 cm



Disminución en 2012 influida por factores ambientales

2013: Humificación de M.O. de 2012 y 2013

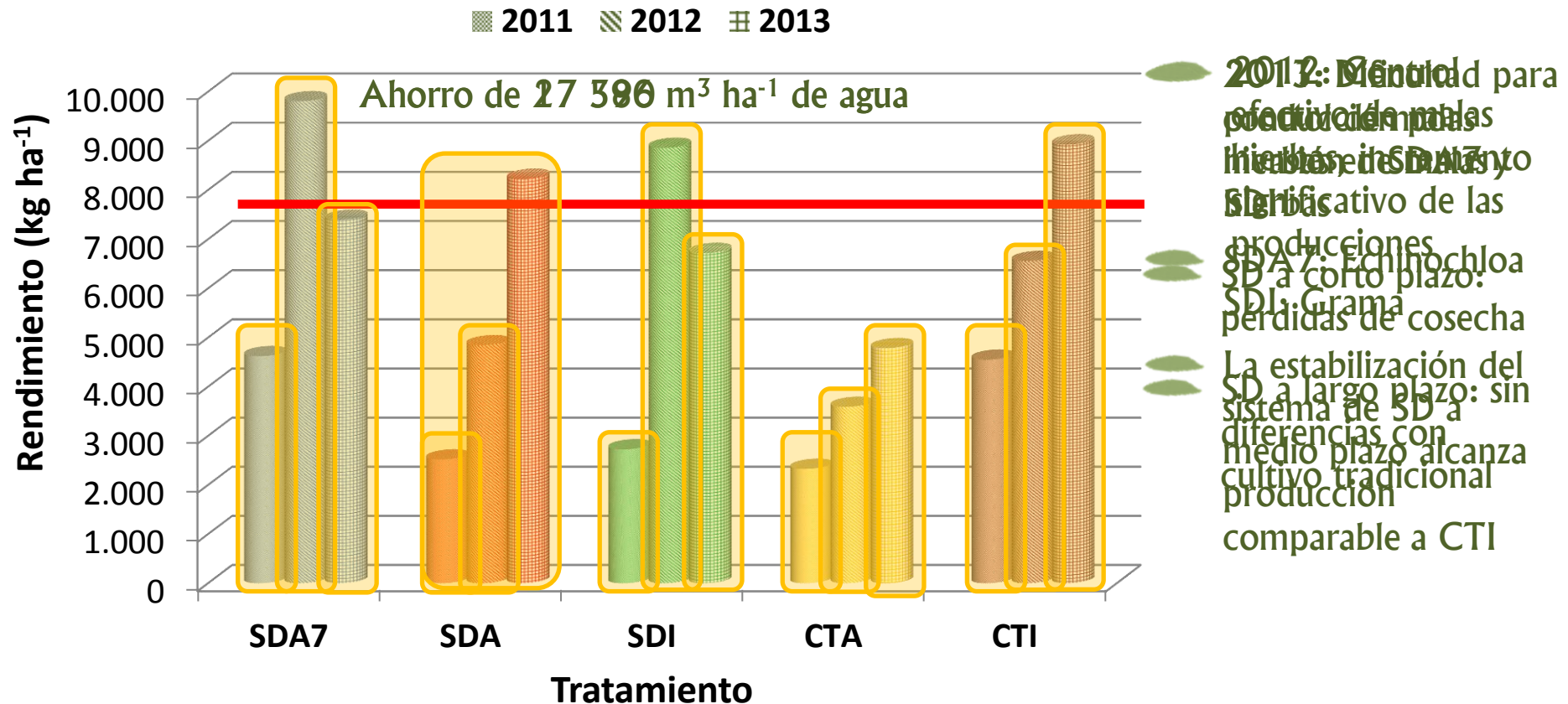


AH en SD mayores que en laboreo tradicional



# RESULTADOS Y DISCUSIÓN - AGRONOMÍA

## Rendimiento Agronómico (REND)



# RESULTADOS Y DISCUSIÓN - AGRONOMÍA

## Estudio Económico

Márgenes de beneficio (media 2012 y 2013)

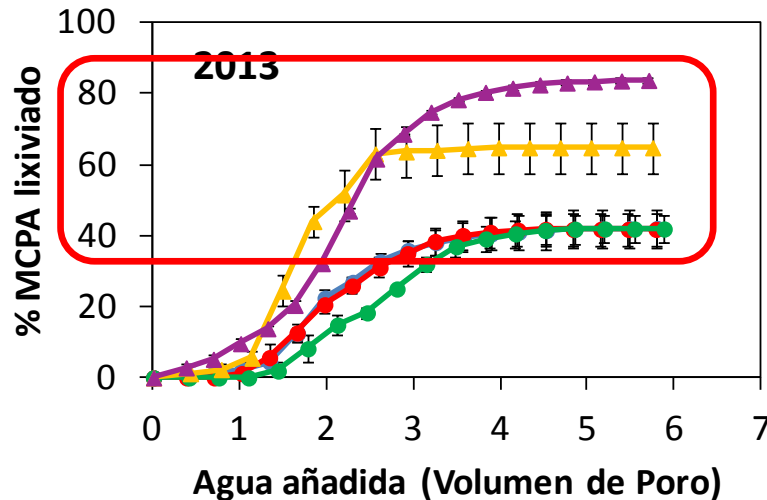
	SDA7	SDA	SDI	CTA	CTI
Costes Variables (€ ha <sup>-1</sup> )	1555	1526	1637	1569	2003
Costes Fijos (€ ha <sup>-1</sup> )	770	770	570	770	570
Costes Totales (€ ha <sup>-1</sup> )	2325	2296	2206	2338	2572
Ingresos Totales (€ ha <sup>-1</sup> )	3652	3095	3433	2461	3420
Margen Neto (€ ha <sup>-1</sup> )	1327	799	1226	122	847



# RESULTADOS Y DISCUSIÓN – HERBICIDAS

## MCPA

### Lixiviación – Columnas Alteradas



Elevada solubilidad  
Y  
Baja capacidad de  
adsorción

Riesgo de  
contaminación  
de aguas  
superficiales y  
subterráneas

CTI 2 veces  
mayor que  
SD7A

—●— SD7A    —●— SDA    —●— SDI    —▲— CTA    —▲— CTI

Año	Tratamiento	Total lixiviado (%)
2013	SD7A	42.1aA
	SDA	41.8aA
	SDI	41.9aA
	CTA	64.8bA
	CTI	83.8cB

# Estrategias innovadoras para maximizar la productividad del agua en el cultivo del arroz.

## Impactos en la emisión de gases efecto invernadero, movilidad de herbicidas y acumulación de metales en el cultivo

---

Ensayos en condiciones reales de campo en Las Vegas de Gadiana. Las experiencias se han planteado de manera que se obtengan seis tratamientos:

- Arroz aeróbico utilizando siembra directa con riego por aspersión



con aplicación de compost de alperujo  
primer año

sin aplicación de compost de alperujo

- Arroz aeróbico mediante laboreo convencional con riego por aspersión



con aplicación de alperujo primer año

sin aplicación de alperujo

- Arroz aeróbico mediante técnicas de agricultura convencional (laboreo + inundación con flujo continuo de agua)



con aplicación de alperujo primer año

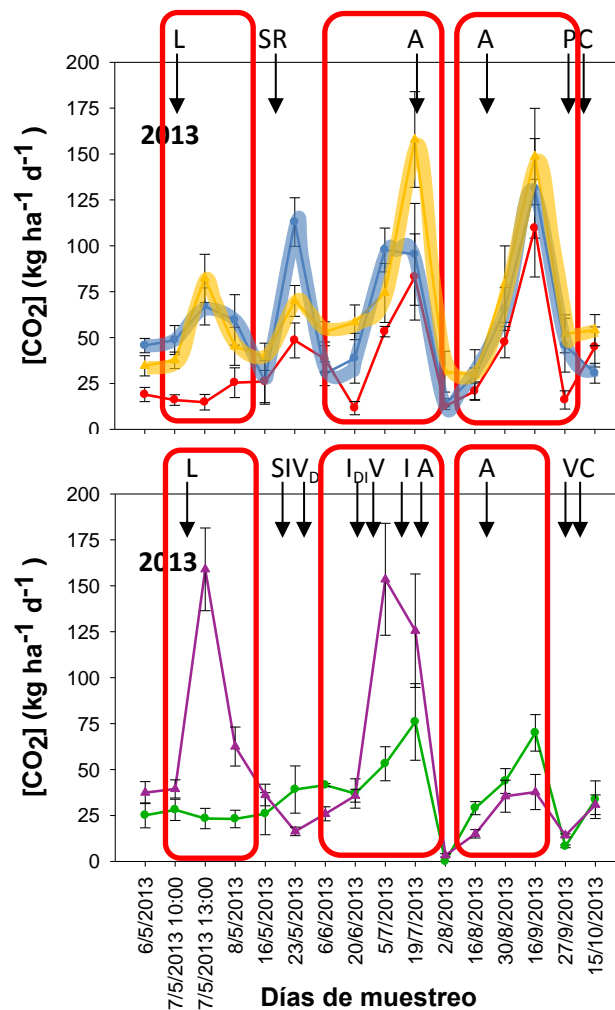
sin aplicación de alperujo



# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## EMISIONES GASES EFECTO INVERNADERO

CO<sub>2</sub>



L= laboreo y abonado de fondo

S= siembra

R= riego aspersión

I= inundación

I<sub>0</sub>= inundación del trat. SDI  
V= vaciado trats. de inundación

V<sub>0</sub>= vaciado del trat. SDI

A= abonado de cobertera

P=parada riego por aspersión

C= cosecha

SD7A SDA SDI CTA CTI

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## EMISIONES GASES EFECTO INVERNADERO

Flujo acumulado de CO<sub>2</sub> (Mg ha<sup>-1</sup>)

Tratamiento	2011	2012	2013
SD7A	5.94aA	8.99bB	9.62bcB
SDA	5.57aAB ↓42%	5.11aA ↓47%	6.73aB ↓41%
SDI	5.87aB ↓26%	4.12aA ↓9%	6.06aB ↓19%
CTA	9.66cA	9.63bA	11.4cA
CTI	7.98bB	4.53aA	7.52abB

Laboreo facilita el acceso de los microorganismos a la materia orgánica, que unido a riego por aspersión provoca emisión de CO<sub>2</sub>

Eliminación del laboreo supuso un descenso en la emisión de CO<sub>2</sub>

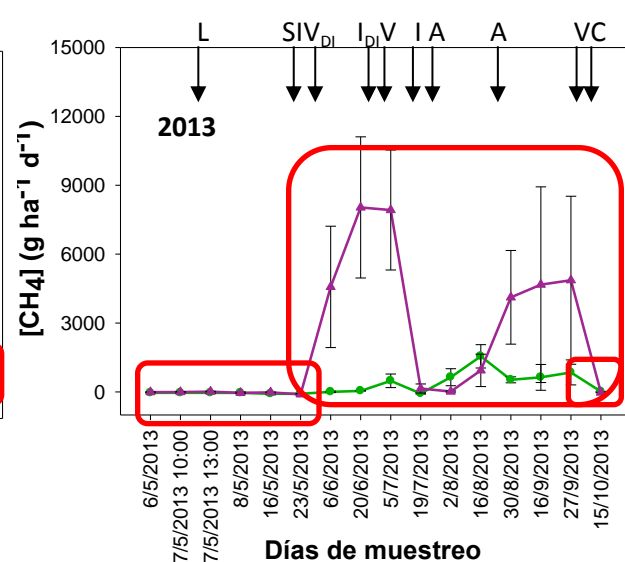
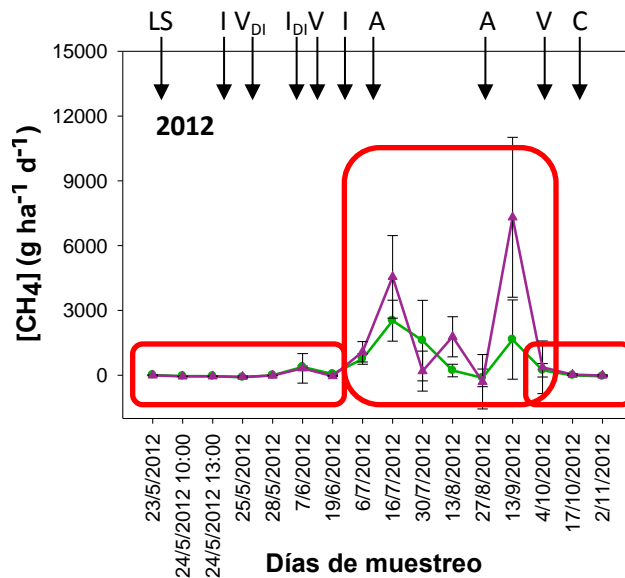
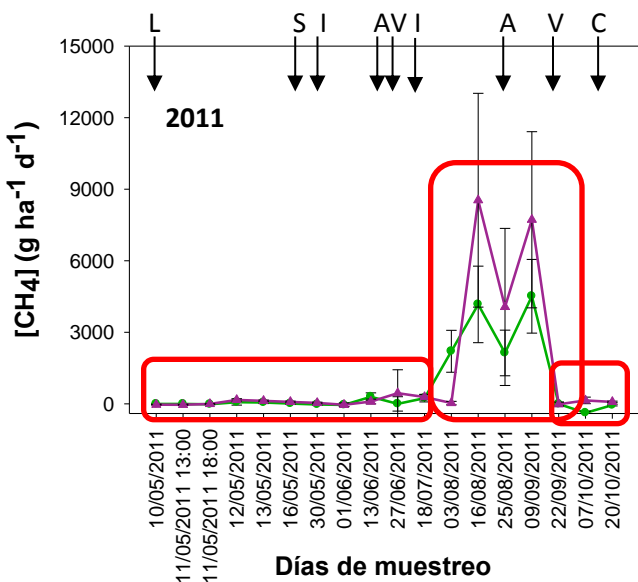
Mayor contenido en materia orgánica en SD7A supuso mayor emisión de CO<sub>2</sub> que SDA, aunque menor que CTA



# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## EMISIONES GASES EFECTO INVERNADERO

### Emisiones de CH<sub>4</sub>



SD7A SDA SDI CTA CTI

L= laboreo y abonado de fondo S= siembra R= riego aspersión I= inundación  
 I<sub>DI</sub>= inundación del trat. SDI V= vaciado trats. de inundación V<sub>DI</sub>= vaciado del trat. SDI  
 A= abonado de cobertera P=parada riego por aspersión C= cosecha

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## EMISIONES GASES EFECTO INVERNADERO

Flujo acumulado de CH<sub>4</sub> (kg ha<sup>-1</sup>)

Tratamiento	2011	2012	2013
SD7A	-11.0aA	-5.91aAB	0.729aB
SDA	-1.09aA	-1.43aA	1.37aA
SDI	206bB ↓36%	103abAB ↓57%	65.6aA ↓87%
CTA	7.30aB	1.38aA	-1.11aA
CTI	322bA	237bA	500bA

Potenciales redox negativos en inundación (SDI y CTI) favorecen emisión de metano

Potenciales redox positivos en aspersión (SD7A, SDA y CTA) dificulta formación metano



# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## EMISIONES GASES EFECTO INVERNADERO

Flujo acumulado de  $N_2O$  ( $kg\ ha^{-1}$ )

Tratamiento	2011	2012	2013
SD7A	10.9bB	6.92abA	9.18aAB
SDA	7.47aB	7.19abB	3.42aA
SDI	8.12aA	10.6cAB	24.0bB
CTA	14.5cB	4.35aA	5.01aA
CTI	11.6bA	8.70bcA	11.5aA

↑ 22%      ↑ 108%

Mayores emisiones de  $N_2O$  en inundados (SDI y CTI), debido a procesos de desnitrificación en anaerobiosis.  
 Mayor en SDI que en CTI debido al incremento en la compactación y descenso en la aireación en SDI por la siembra directa, que habría conducido a un mayor número de lugares anóxicos

Mayor cantidad de carbono disponible en SD7A, puede haber contribuido a una mayor actividad microbiana en el proceso de nitrificación y desnitrificación

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## EMISIONES GASES EFECTO INVERNADERO

### Potencial de calentamiento Global (GWP)

Año	Tratamiento	N <sub>2</sub> O (Mg CO <sub>2</sub> equivalente ha <sup>-1</sup> )	CH <sub>4</sub> (Mg CO <sub>2</sub> equivalente ha <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub> (Mg CO <sub>2</sub> equivalente ha <sup>-1</sup> )	GWP (Mg CO <sub>2</sub> equivalente ha <sup>-1</sup> )
2011	SD7A	3.28bB	-0.276aA	5.94aA	8.94aA
	SDA	2.23aB	-0.027aA	5.57aAB	7.77aA
	SDI	2.42aA	5.15bB	5.87aB	13.4bA
	CTA	4.33cB	0.183aB	9.66cA	14.2bA
	CTI	3.45bA	8.05bA	7.98bB	19.5cAB
2012	SD7A	2.06abA	-0.148aAB	8.99bB	10.9abAB
	SDA	2.14abB	-0.036aA	5.10aA	7.20aA
	SDI	3.15cAB	2.57abAB	4.12aA	9.84abA
	CTA	1.29aA	0.034aA	9.63bA	11.0abA
	CTI	2.59bcA	5.91bA	4.53aA	13.0bA
2013	SD7A	2.74aAB	0.018aB	9.62bcB	12.4abB
	SDA	1.02aA	0.034aA	6.73aB	7.78aA
	SDI	7.15bB	1.64aA	6.06aB	14.9bA
	CTA	1.49aA	-0.028aA	11.4cA	12.9abA
	CTI	3.43aA	12.5bA	7.52abB	23.5cB

↓ 1.4 veces

Elevadas emisiones de CO<sub>2</sub> durante el laboreo y elevadas emisiones de CH<sub>4</sub> en anaerobiosis

↓ 1.3 veces

Descenso en las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>

↓ 1.6 veces



# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## EMISIONES GASES EFECTO INVERNADERO

### Potencial de calentamiento Global (GWP)

Año	Tratamiento	N <sub>2</sub> O (Mg CO <sub>2</sub> equivalente ha <sup>-1</sup> )	CH <sub>4</sub> (Mg CO <sub>2</sub> equivalente ha <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub> (Mg CO <sub>2</sub> equivalente ha <sup>-1</sup> )	GWP (Mg CO <sub>2</sub> equivalente ha <sup>-1</sup> )
2011	SD7A	3.28bB	-0.276aA	5.94aA	8.94aA
	SDA	2.23aB	-0.027aA	5.57aAB	7.77aA
	SDI	2.42aA	5.15bB	5.87aB	13.4bA
	CTA	4.33cB	0.183aB	9.66cA	14.2bA
	CTI	3.45bA	8.05bA	7.98bB	19.5cAB
2012	SD7A	2.06abA	-0.148aAB	8.99bB	10.9abAB
	SDA	2.14abB	-0.036aA	5.10aA	7.20aA
	SDI	3.15cAB	2.57abAB	4.12aA	9.84abA
	CTA	1.29aA	0.034aA	9.63bA	11.0abA
	CTI	2.59bcA	5.91bA	4.53aA	13.0bA
2013	SD7A	2.74aAB	0.018aB	9.62bcB	12.4abB
	SDA	1.02aA	0.034aA	6.73aB	7.78aA
	SDI	7.15bB	1.64aA	6.06aB	14.9bA
	CTA	1.49aA	-0.028aA	11.4cA	12.9abA
	CTI	3.43aA	12.5bA	7.52abB	23.5cB

↓ 2.5 veces

↓ 1.8 veces

↓ 3 veces

Mayor emisión de  
CO<sub>2</sub> debido a su  
mayor contenido en  
carbono orgánico

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## EMISIONES GASES EFECTO INVERNADERO

Potencial de Calentamiento Global con base al rendimiento agronómico ( $GWP_R$ )

		SD7A	SDA	SDI	CTA	CTI
2012	<b>*Rendimiento</b> (kg ha <sup>-1</sup> )	9805eB	4844bA	8857dB	3590aA	6556cA
	<b><math>GWP_R</math></b> (kg CO <sub>2</sub> eq kg grano <sup>-1</sup> )	1.11aA	1.49abB	1.11aA	3.06cB	1.98bA
		↓ 56%	↓ 41%	↓ 56%		
2013	<b>*Rendimiento</b> (kg ha <sup>-1</sup> )	7397cA	8229dB	6719bA	4784aB	8926eB
	<b><math>GWP_R</math></b> (kg CO <sub>2</sub> eq kg grano <sup>-1</sup> )	1.68bA	0.946aA	2.22cB	2.70dA	2.63dB
		↓ 38%	↓ 65%	↓ 18%		


# CONCLUSIONES




- 1) Los sistemas de producción de **arroz aeróbico**, aplicando técnicas de **agricultura de conservación**, producen mejoras en las **propiedades físicas, físico-químicas y biológicas del suelo**, especialmente a medio-largo plazo.
- 2) Esta transformación es evidente a partir del **tercer año** de implantación de las técnicas de agricultura de conservación. Sin embargo, los **efectos en las propiedades biológicas** sólo se detectaron **transcurridos 7 años** desde la misma.
- 3) A corto plazo el rendimiento en los sistemas aeróbicos es inferior al obtenido con inundación. Sin embargo, a medio-largo plazo, el rendimiento en los sistemas aeróbicos con SD son comparables, o incluso superiores, a los registrados con inundación y laboreo convencional, con un **ahorro medio de agua del 75%**.



# CONCLUSIONES

- 
- 4) Los mayores valores de productividad del agua se obtienen en los sistemas de arroz aeróbico y siembra directa. Este efecto es más pronunciado a medio y largo plazo.
  - 5) La lixiviación de MCPA y Bentazona fue muy elevada. La implementación del riego aeróbico con siembra directa minimizó la lixiviación de ambos herbicidas. El nivel de lixiviación fue inversamente proporcional a la cantidad de materia orgánica humificada presente en los suelos.

# CONCLUSIONES



8) Las emisiones más bajas de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{CH}_4$  se produjeron en siembra directa y riego por aspersión. Las mayores emisiones de los tres gases se obtuvieron en sistemas con laboreo tradicional, mientras que  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{CH}_4$  fue más elevado con inundación,  $\text{CO}_2$  lo fue con aspersión.

9) A medio-largo plazo, las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{CO}_2$  en sistemas con siembra directa y aspersión fueron más elevadas que las obtenidas en estos sistemas con menor antigüedad, aunque siempre inferiores a las registradas con laboreo

# CONCLUSIONES

- 10) Con respecto al cultivo tradicional con inundación, el sistema de siembra directa y riego por aspersión reduce un 60% el GWP, y un 45% el GWPR, indicando el mínimo impacto por unidad de rendimiento sobre el calentamiento global.





# CONCLUSIONES

## Conclusión final

A medio-largo plazo, el cultivo de arroz aeróbico, aplicando técnicas de agricultura de conservación, puede ser considerado como una alternativa eficaz para **mejorar la calidad del suelo, incrementar la productividad del agua**, y mantener unos niveles de ingresos y costes que **garanticen la rentabilidad y sostenibilidad** del sistema, revelándose como una estrategia muy útil para **reducir los riesgos de contaminación** de aguas superficiales y subterráneas. Además fue capaz de reducir las emisiones de **CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>**, y producir arroz con el mínimo impacto sobre el calentamiento global.



# Desarrollo del cultivo de arroz aeróbico aplicando técnicas de agricultura de conservación en las Vegas del Guadiana: efectos en la dinámica de herbicidas, propiedades edáficas y dinámica de emisión de gases de efecto invernadero

## ENTIDADES INTERESADAS EN EL PROYECTO

- ACOREX S.C.L.
- Confederación Hidrográfica del Guadiana



- Monsanto Agricultura España S.L.



- AQUALIA, Gestión integral del agua S.A



## EQUIPO DE INVESTIGACIÓN

- Antonio López Piñeiro
- Ángel Albarrán
- Daniel Becerra Traver
- Javier Sánchez Llerena
- David Peña Abades
- Juan Pablo Almendro Triguero
- María Ángeles Rozas Espada



- José Manuel Rato Nunes
- David Paulo Fangueiro



# ¡GRACIAS POR SU ATENCIÓN!

## AGRADECIMIENTOS

Ministerio de Ciencia e Innovación)

Junta de Extremadura (PD10092)



UNIÓN EUROPEA

Fondo Europeo de Desarrollo Regional  
Fondo Social Europeo

Una manera de hacer Europa



JUNTA DE EXTREMADURA