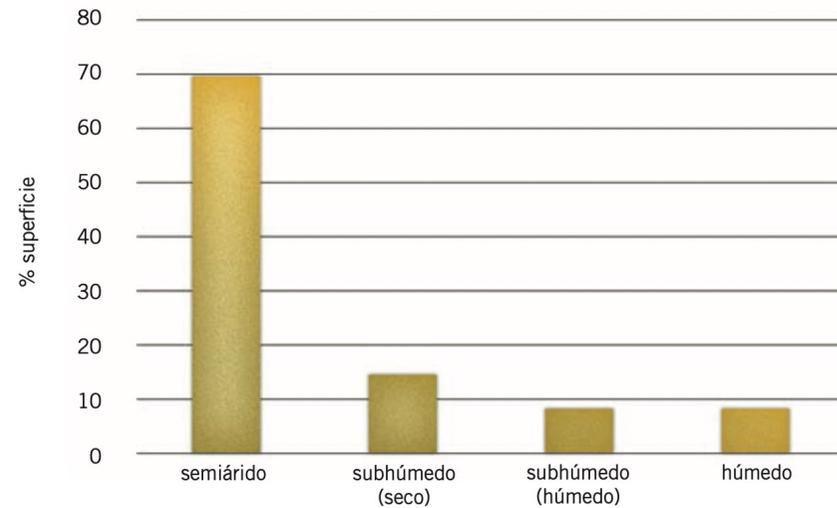
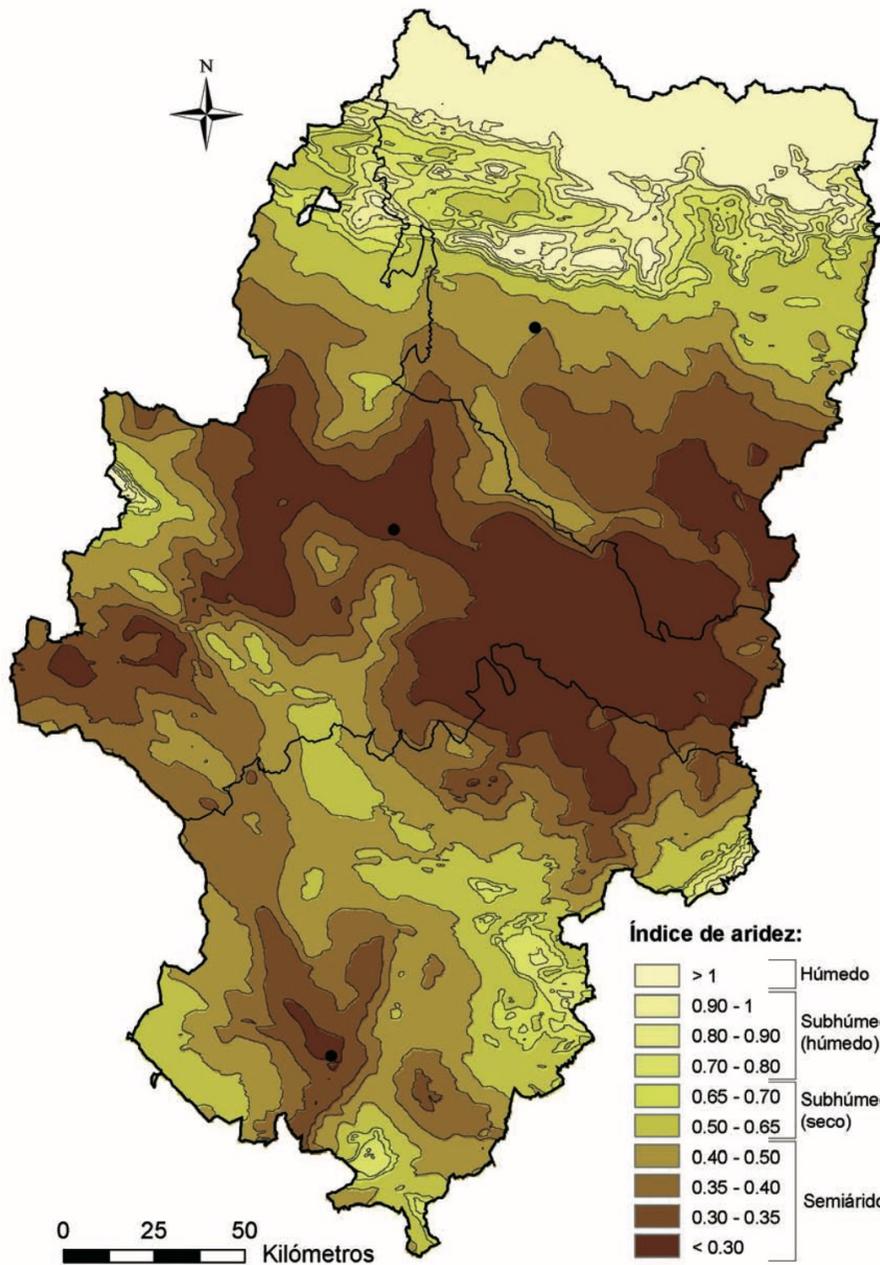


# *Rotaciones de cultivo: aspectos técnicos y beneficios medioambientales*

**Jorge Álvaro-Fuentes**

Estación Experimental de Aula Dei  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)  
*jorgeaf@eead.csic.es*



## *Características de los secanos de Aragón*

- ✓ Suelos poco profundos y débilmente desarrollados (↑ Leptosoles y Regosoles)
- ✓ Relieve marcado (45% superficie; pendientes >8%)
- ✓ ↑ frecuencia de eventos intensos de precipitación (>100 mm h<sup>-1</sup>)
- ✓ ↓ productividad (↓ cubierta vegetal)



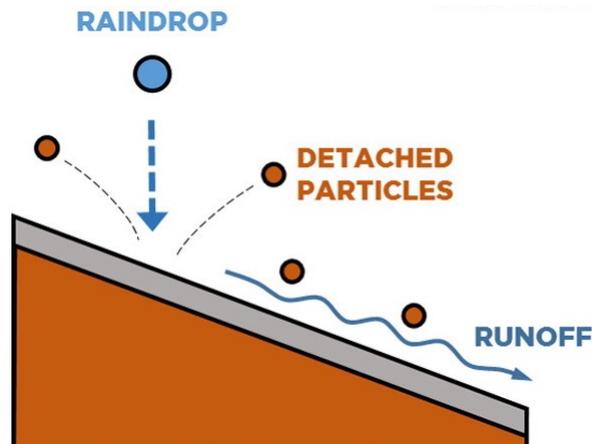
*(Lagacherie et al. 2018)*

# Principales limitaciones de los suelos de las zonas de secano de Aragón

- ↑ riesgo erosión



(<http://www.01.ign.es>)



(Jordán et al. 2016)

## *Principales limitaciones de los suelos de las zonas de secano de Aragón*

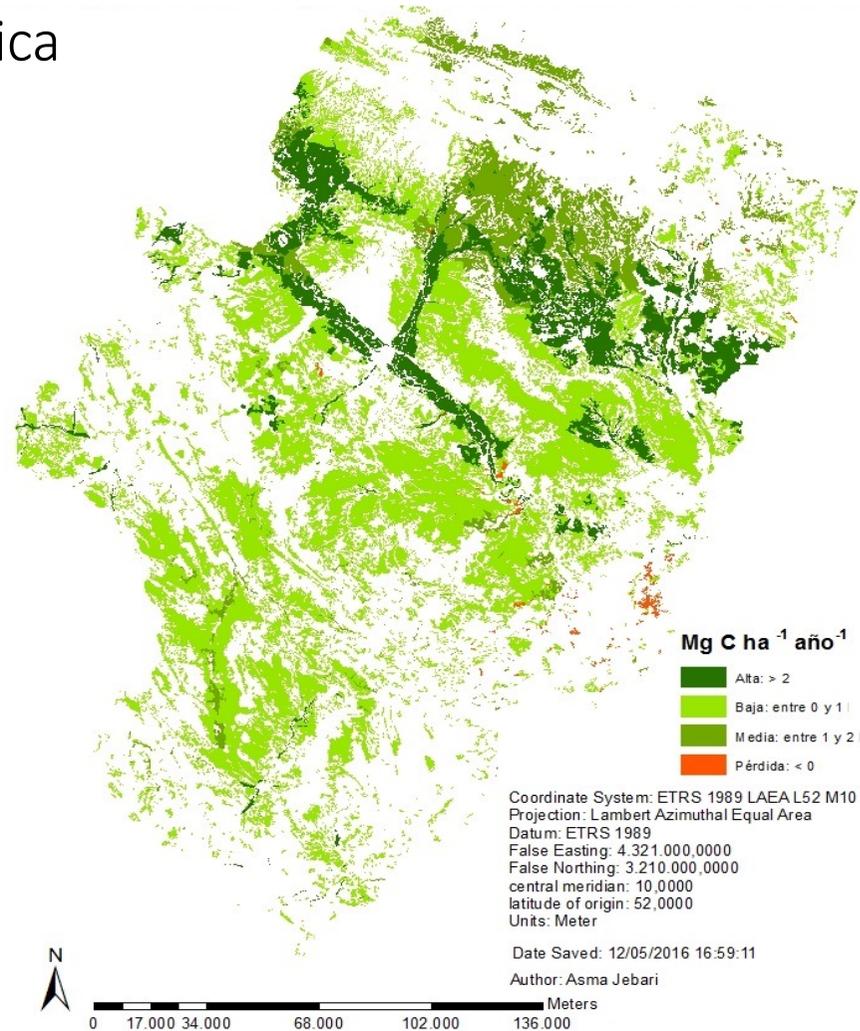
- ↑ riesgo salinización



Materiales parentales salinos  
Procesos de evaporación  
Movimiento de tierras

# Principales limitaciones de los suelos de las zonas de secano de Aragón

- ↓ materia orgánica

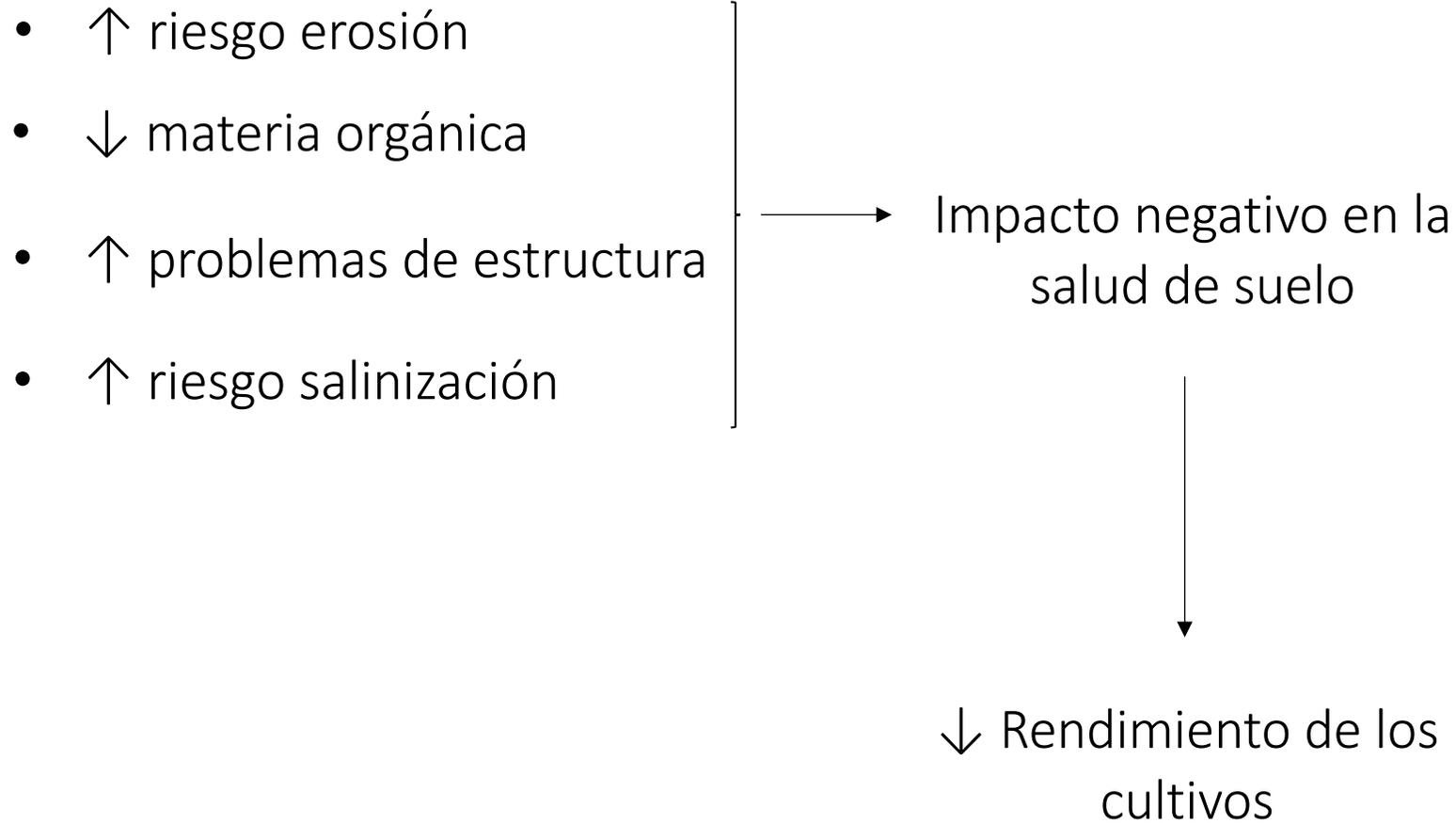


## *Principales limitaciones de los suelos de las zonas de secano de Aragón*

- ↑ problemas de estructura



## *Principales limitaciones de los suelos de las zonas de secano de Aragón*



# *Soluciones?*

Estrategias de manejo que permitan aumentar la salud del suelo

*Diversificar*



*Reducir la intensidad  
del laboreo*



*Aportar residuo  
en el suelo*



# *Soluciones?*

Estrategias de manejo que permitan aumentar la salud del suelo

*Diversificar*

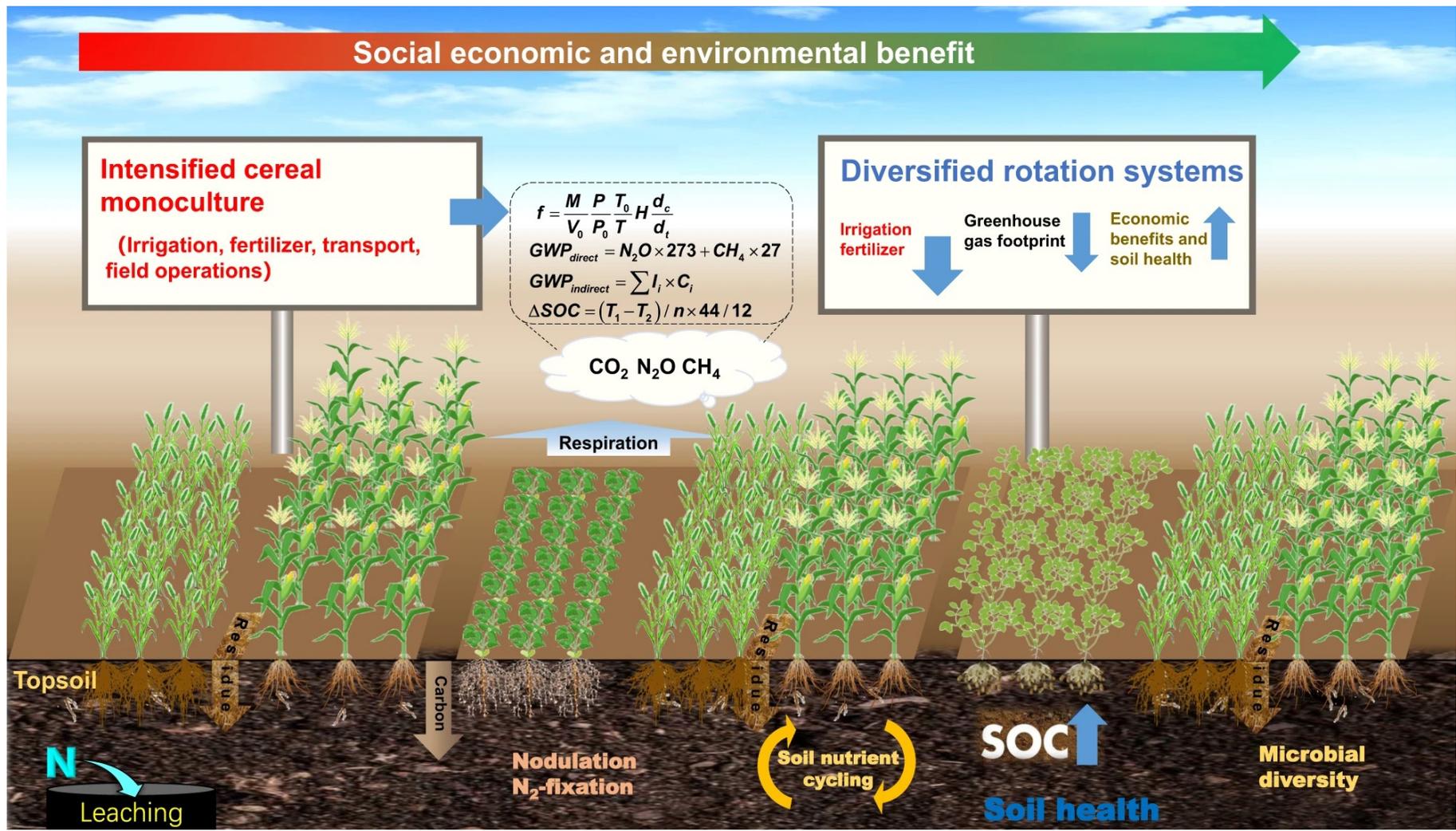


*Reducir la intensidad  
del laboreo*



*Aportar residuo  
en el suelo*





Social economic and environmental benefit

**Intensified cereal monoculture**

(Irrigation, fertilizer, transport, field operations)

$$f = \frac{M P T_0 H d_c}{V_0 P_0 T H d_t}$$

$$GWP_{direct} = N_2O \times 273 + CH_4 \times 27$$

$$GWP_{indirect} = \sum I_i \times C_i$$

$$\Delta SOC = (T_1 - T_2) / n \times 44 / 12$$

CO<sub>2</sub> N<sub>2</sub>O CH<sub>4</sub>

Respiration

**Diversified rotation systems**

Irrigation  
fertilizer

Greenhouse  
gas footprint

Economic  
benefits and  
soil health

Topsoil

N  
Leaching

Residue

Carbon

Residue

Residue

Nodulation  
N<sub>2</sub>-fixation



SOC ↑  
Soil health

Microbial  
diversity

## *Beneficios en la fertilización y reciclado de nutrientes*



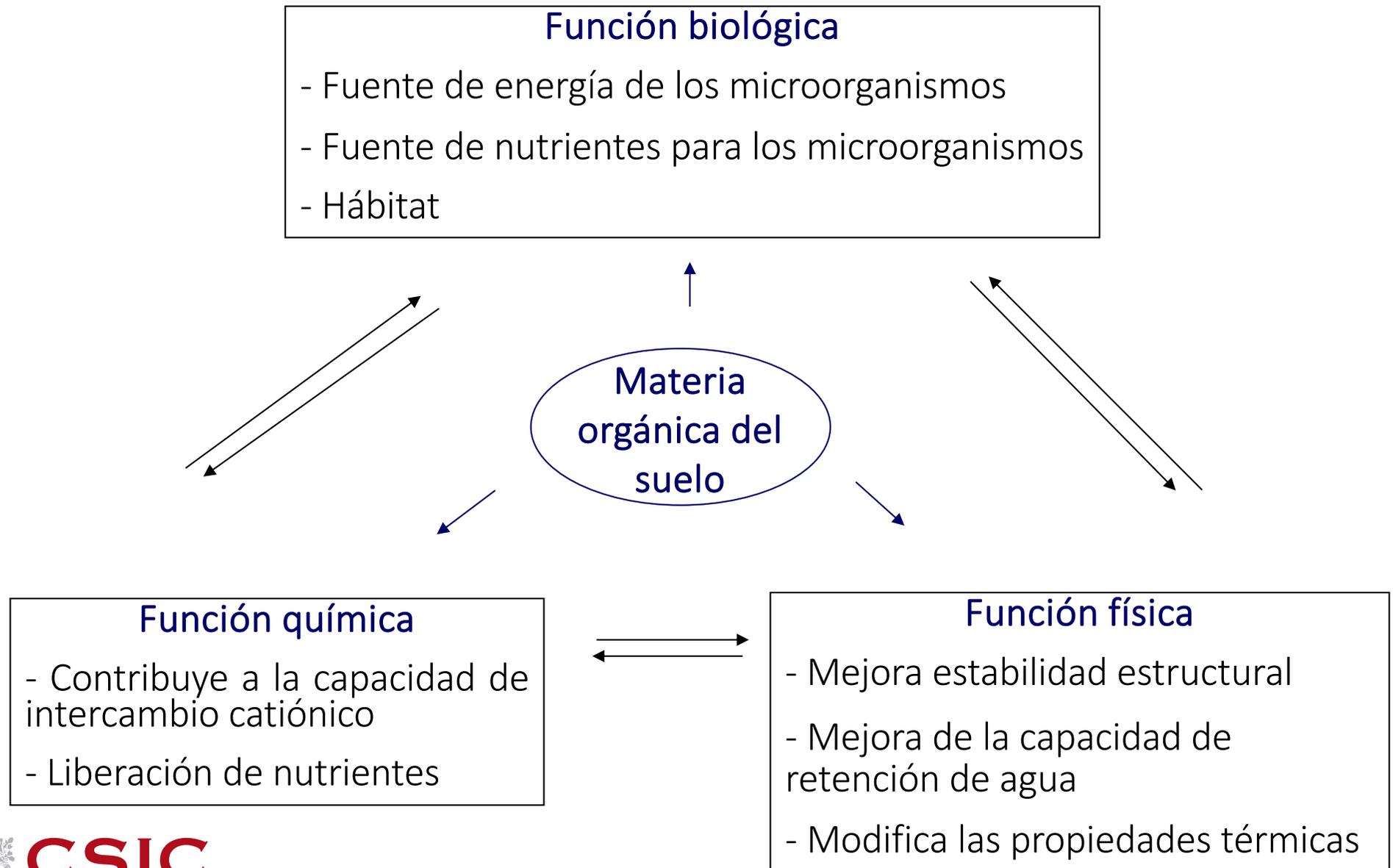
- *La familia de las leguminosas tiene la capacidad de establecer relaciones simbióticas con unas bacterias del género rhizobium.*
- *Estas bacterias tienen la capacidad de fijar nitrógeno (N) atmosférico y convertirlo en N amoniacal que lo transferirá a la planta.*
- *Es importante tener en cuenta que no todas las leguminosas tienen la misma capacidad de fijar N atmosférico.*

Capacidad de fijación de N de las principales leguminosas:

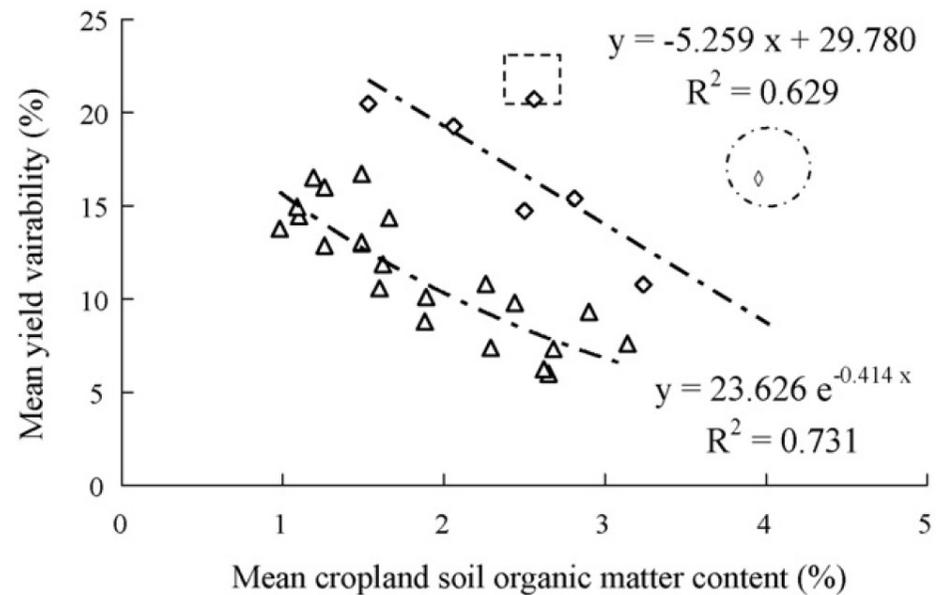
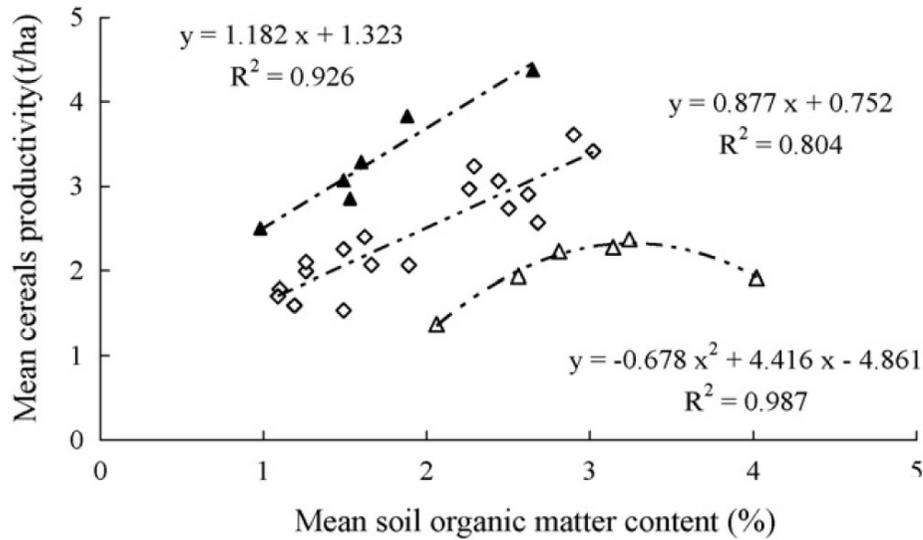
Nombre común	Nombre científico	Fijación de N (kg N/ha y año)
Alfalfa	Medicago sativa L.	145 - 280
Guisante	Pisum sativum L.	90-130
Trébol blanco	Trifolium repens L.	75 - 180
Trébol rojo	Trifolium pratense L.	75 - 200
Soja	Glycine max L.	70-110
Garbanzo	Cicer arietinum L.	60-100
Veza	Vicia sativa L.	50 - 170
Haba	Faba bean L.	25-80
Lenteja	Lens culinaris L.	8-15

*(Gogoi et al. 2018)*

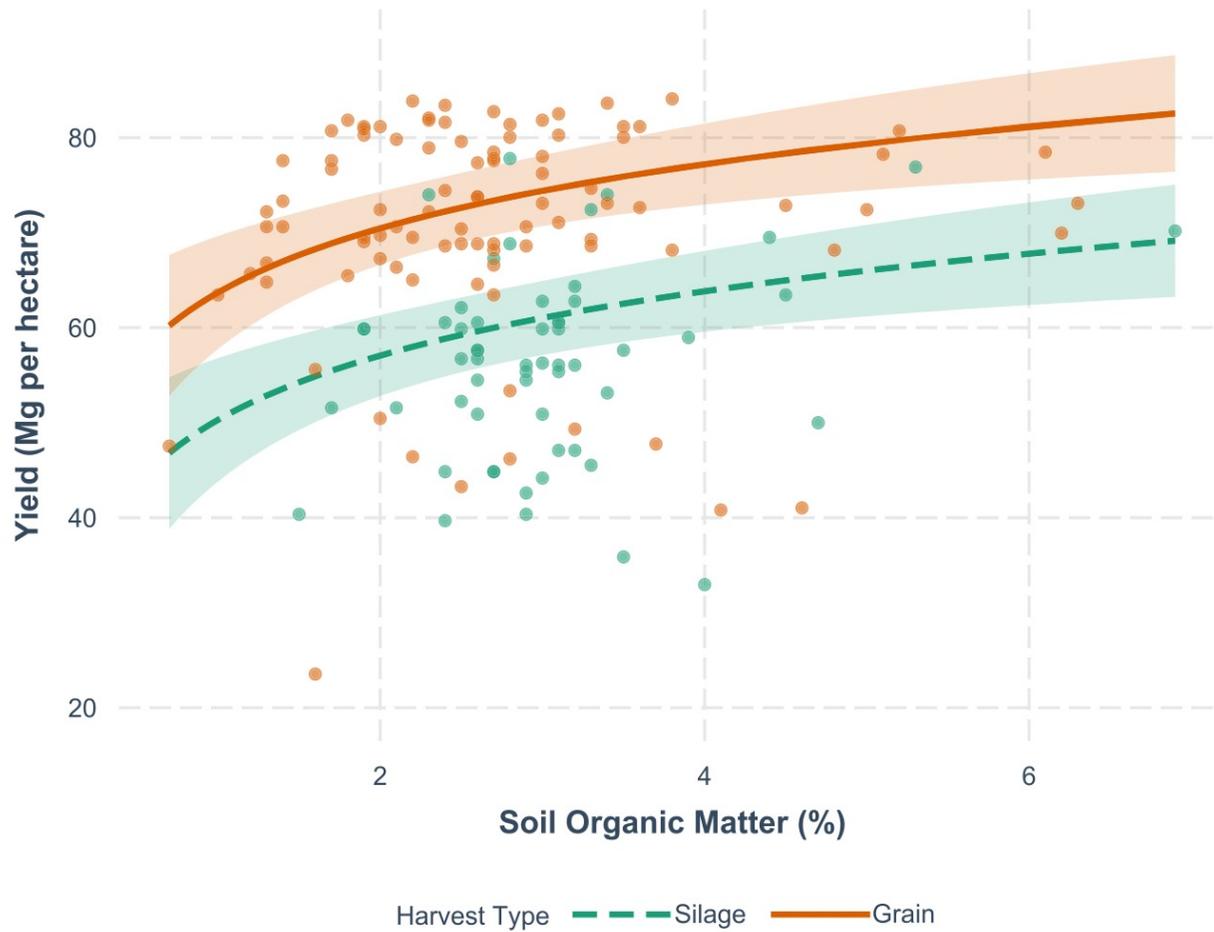
# *Beneficios en el aumento de materia orgánica*



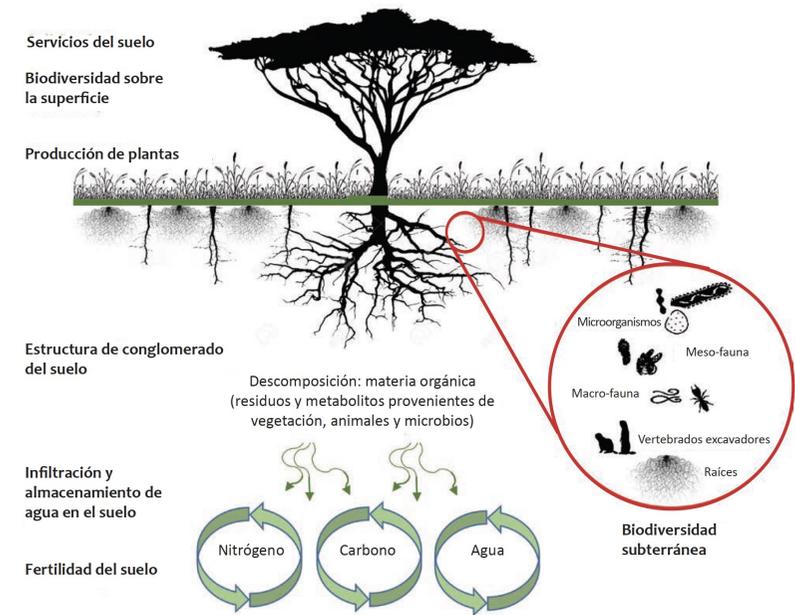
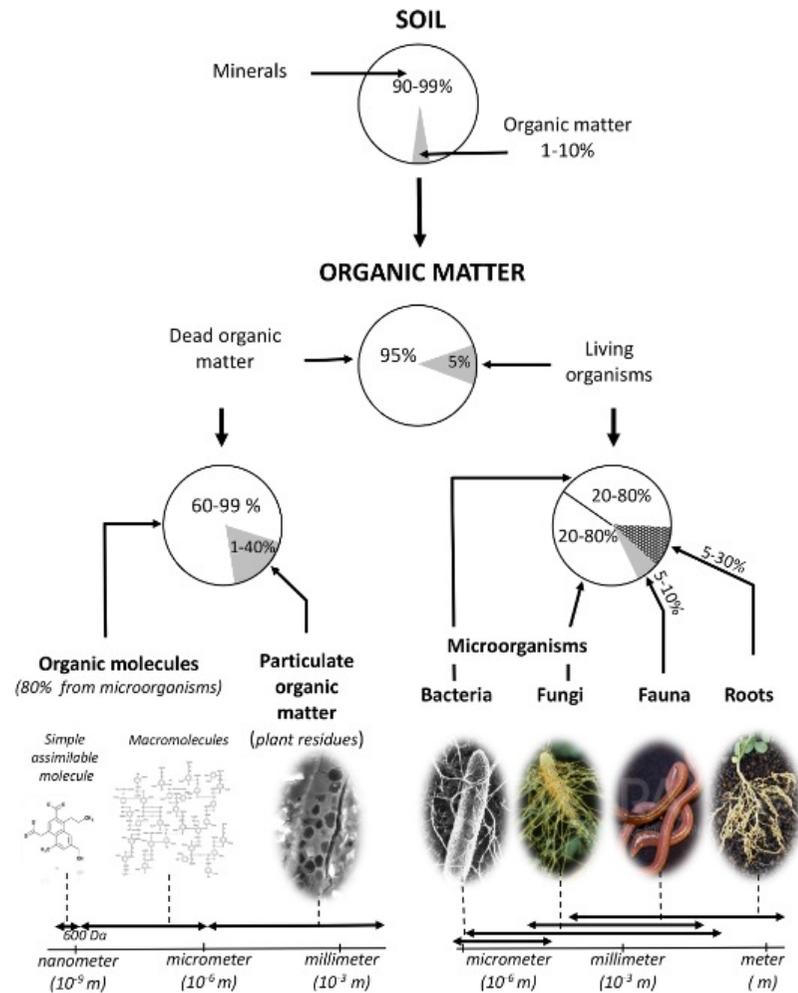
# Relación entre la materia orgánica del suelo y el rendimiento de los cultivos:



Relación entre la materia orgánica del suelo y el rendimiento de los cultivos:

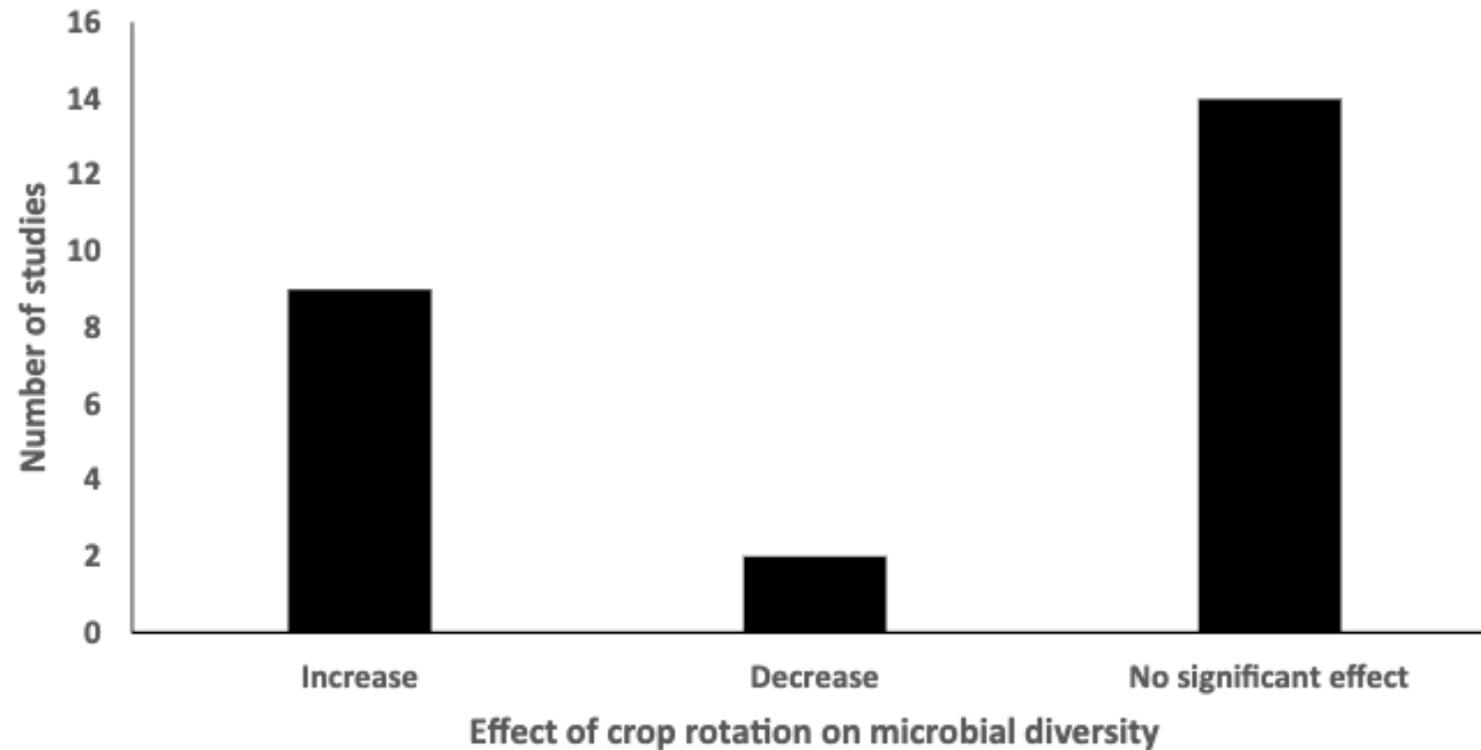


# Beneficios en la diversidad y actividad microbiana



(Laban et al. 2018)

## *Efectos de las rotaciones en la diversidad microbiana*



*(Venter et al. 2016)*

*Por tanto, la rotación de cultivos puede llevar a una mejora de la salud de nuestros suelos y, por tanto, a un incremento de los rendimientos de las cosechas.*

*Por tanto, la rotación de cultivos puede llevar a una mejora de la salud de nuestros suelos y, por tanto, a un incremento de los rendimientos de las cosechas.*



*Para nuestros secanos semiáridos de Aragón, ¿qué opciones de cultivos tenemos para rotar de manera exitosa?*

- Rotaciones de 3 años en el valle del Ebro (secano de 430 mm)

W-W-W: trigo-trigo-trigo

B-B-B: cebada-cebada-cebada

W-B-R: trigo-cebada-colza

W-B-V: trigo-cebada-veza

} 6 campañas de experimentación

- Rotaciones de 3 años en el valle del Ebro (secano de 430 mm)

W-W-W: trigo-trigo-trigo

B-B-B: cebada-cebada-cebada

W-B-R: trigo-cebada-colza

W-B-V: trigo-cebada-veza

} 6 campañas de experimentación

### Rendimiento grano

Growing season	Rotation phase†							
	W-W-W	(W)-B-R‡	(W)-B-V	B-B-B	W-(B)-R	W-(B)-V	W-B-(R)	W-B-(V)
	kg ha <sup>-1</sup>							
1999–2000	3678a§	3362a	3352a	2346b	3327a	3204a	1817	9093
2000–2001	2263c	2057cd	1861d	3303b	3110b	3751a	0	4105
2001–2002	2778b	1971c	3007ab	2275c	3036ab	3320a	0	0
2002–2003	1506c	1325c	1183c	2097b	2729a	3104a	0	16336
2003–2004	2549cd	3068ab	3168a	2814bc	2278e	2402de	0	5198
2004–2005	856a	103b	178b	317ab	431ab	512ab	0	0
Average	2272b	1981b	2125b	2192b	2485ab	2716a	303	5789

2.3

1.5

2.2

1.6 (+ forraje)

(en paréntesis la fase presente de la rotación)

(Álvaro-Fuentes et al. 2009)

- Rotaciones de cereales de 3 años en el valle del Ebro (secano de 430 mm)

Wm: trigo-trigo-trigo

Bm: cebada-cebada-cebada

T-W-B: triticale-cebada-colza

O-W-B: avena-cebada-veza

F-W-B: barbecho-trigo-cebada

} 6 campañas de experimentación

- Rotaciones de cereales de 3 años en el valle del Ebro (secano de 430 mm)

Wm: trigo-trigo-trigo

Bm: cebada-cebada-cebada

T-W-B: triticale-trigo-cebada

O-W-B: avena-trigo-cebada

F-W-B: barbecho-trigo-cebada

} 6 campañas de experimentación

	Wheat	Barley	Triticale	Oat
Grain yield (t ha <sup>-1</sup> )				
Season				
2007	3.4 ± 0.1	3.2 ± 0.1	3.3 ± 0.2a	3.0 ± 0.2a
2008	1.4 ± 0.1c	1.9 ± 0.1	2.1 ± 0.1b	1.8 ± 0.0bc
2009	4.1 ± 0.1a	5.2 ± 0.1a	4.5 ± 0.1a	2.5 ± 0.3ab
2010	2.8 ± 0.2b	3.4 ± 0.1b	3.8 ± 0.0a	1.2 ± 0.0cd
2011	1.2 ± 0.1c	1.2 ± 0.1c	0.8 ± 0.4c	0.6 ± 0.2de
2012	1.1 ± 0.1c	1.0 ± 0.1c	0.9 ± 0.1bc	0.2 ± 0.0e
Sequence				
TWB	<b>2.5</b>	2.3 ± 0.3a	2.7 ± 0.7ab	2.6 ± 0.4
OWB	<b>2.2</b>	2.3 ± 0.4a	2.8 ± 0.7a	1.5 ± 0.3
FWB	<b>1.8</b>	2.4 ± 0.5a	3.0 ± 0.6a	–
Wm	<b>2.0</b>	2.0 ± 0.2b	–	–
Bm	<b>2.5</b>	–	2.5 ± 0.3b	–

## *Conclusiones*

- Las rotaciones y la diversificación de cultivos, en general, llevan a una mejora en las propiedades y calidad de nuestros suelos.
- Las condiciones de aridez de nuestros secanos de la zona central del valle del Ebro, limitan la selección de cultivos para establecer rotaciones.
- Es esencial evaluar e identificar, para las diferentes condiciones de suelo y clima, los cultivos que mejor se adaptan a las rotaciones.

# *Rotaciones de cultivo: aspectos técnicos y beneficios medioambientales*

**Jorge Álvaro-Fuentes**

Estación Experimental de Aula Dei  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)  
*jorgeaf@eead.csic.es*