



RUENA
RED DE USO EFICIENTE DEL NITRÓGENO
EN AGRICULTURA

XXI Reunión RUENA
Lleida, 16-17 abril 2026



Balance de efectos agronómicos y ambientales del doble cultivo en condiciones del Valle del Ebro

Ramón Isla Climente
EEAD-CSIC



Esquema de la presentación

- Interés por la intensificación/diversificación
- Sistemas de DC en el mundo
- Sistemas de DC en Aragón
- Algunos estudios realizados en el valle del Ebro
- Resultados recientes derivados de proyectos del Grupo RAMA
 - Efectos productivos
 - Eficiencia uso de recursos
 - Efectos ambientales
 - Aspectos económicos

DC: Intensificación / Diversificación

- Supone una intensificación, pero también puede implicar mayor diversificación, dependiendo de los cultivos elegidos.
- Permite **maximizar** el uso de la **radiación solar** disponible.
- Es respuesta a **desafíos globales**:
 - Necesidad de aumentar la **producción**
 - Escasez de agua / **Eficiencia** del agua y nutrientes (N)
 - Pérdida de diversidad de los agrosistemas
- Los dobles cultivos es algo ya con cierta tradición en el Valle del Ebro.
- Lloveras (1987) y Pujol (1984) citan el DC en el Valle del Ebro desde los años 70, orientado inicialmente a **explotaciones forrajeras**.

Sistemas de dobles cultivos en el mundo



Región	Combinación de cultivos	Factores favorables
Brasil (Mato Grosso y Centro Oeste)	Soja – Maíz (“Safrinha”)	Clima tropical y temporada extendida de lluvias
China (North Plains)	Trigo – Maíz	Riego y alta densidad población
India (Llanura indo-Gangética)	Arroz (monzón) – Trigo	Necesario para su soberanía alimentaria
EEUU (delta Mississippi/SE; California)	Trigo – Soja Hortalizas - Forrajes	Variedades ciclo corto y clima templado/húmedo
Argentina (zona Núcleo & Pampa)	Trigo – Soja	Buenos suelos y mecanización avanzada
Sudeste asiático (Vietnam, Tailandia)	Arroz – Arroz (o vegetales)	Temperatura constante y alta disponibilidad de agua

El doble cultivo se produce fundamentalmente entre los 40° S y los 40°N, debido a la ventana térmica que lo permite

Cambio climático y dobles cultivos

Latitudes Altas (Norte/Sur)

Oportunidad: Temporadas de crecimiento más largas y menos heladas.

Expansión: Nuevas tierras entran al sistema de doble cosecha.

Reto: Necesidad de nuevas infraestructuras de riego y silos.

Latitudes Bajas (Trópicos)

Riesgo: El calor extremo reduce la viabilidad del polen y agota el agua disponible.

Contracción: El retraso de las lluvias (ej. en Brasil) acorta la ventana para el segundo cultivo.

Reto: Mayor degradación de los suelos. Asociado a aumento de mineralización y pérdida de C orgánico del suelo.
¿Manejo?

Cambio climático y dobles cultivos

En China:

- El límite septentrional del sistema de doble cultivo (Trigo invernal → Maíz de verano) se ha desplazado significativamente hacia el **Noreste de China**.
- Se estima que el **área apta para doble cultivo** ha aumentado en más de unos 3×10^6 ha (Wu et al., 2024) en los últimos 30 años.



En USA, cambios en el "Cinturón de Maíz":

- El doble cultivo de **Trigo de invierno seguido de Soja** está subiendo de latitud desde el sur hacia el Medio Oeste.
- El aumento de **3°C** en la temperatura promedio podría triplicar el área apta para esta práctica en los estados del este y centro. (Asumiendo que la pluviometría lo permita)

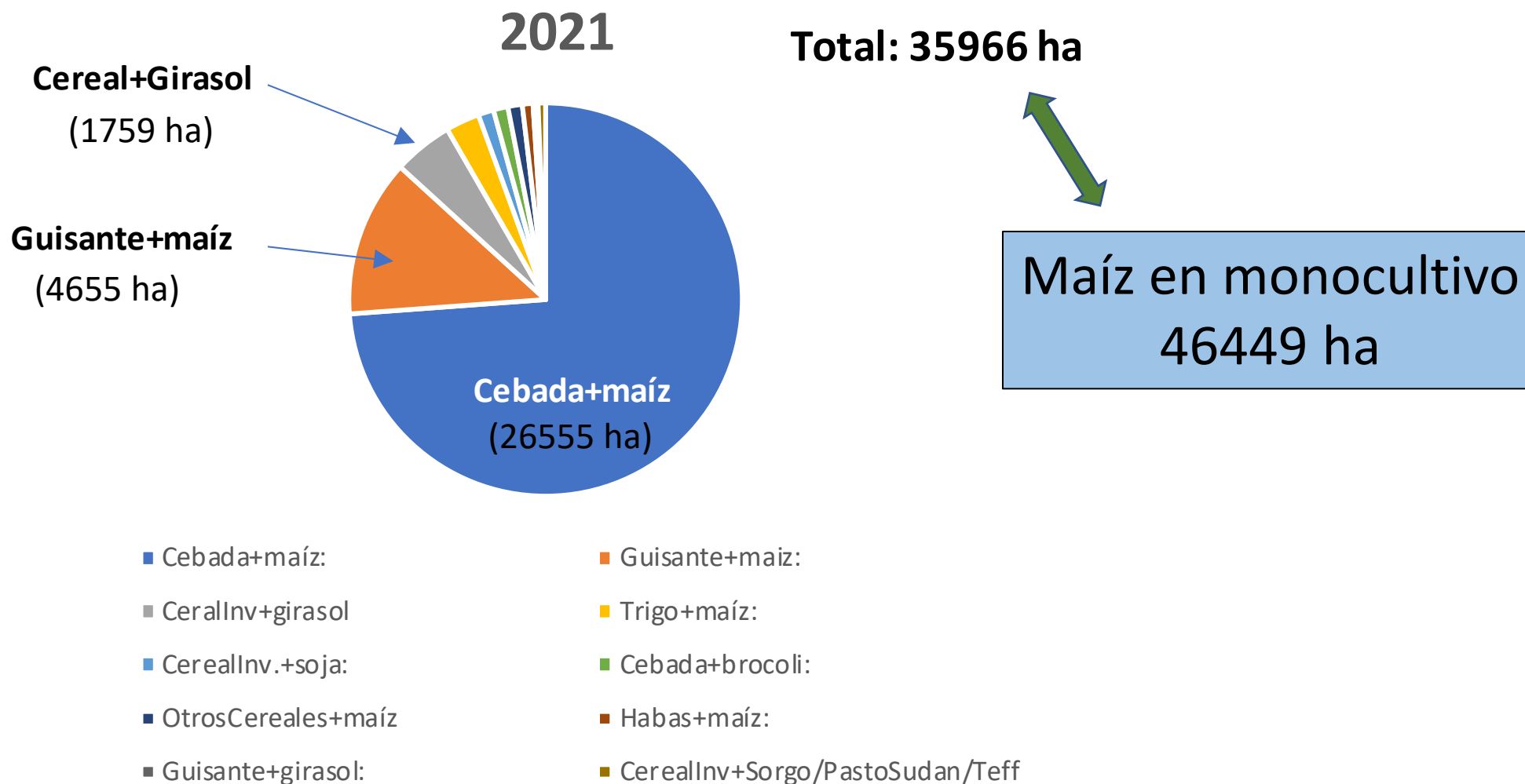


En Europa: La Nueva Frontera del Maíz

- Históricamente Europa ha sido zona de cultivo único.
- En el sur de Alemania y Francia, donde antes solo se hacía un cultivo, ahora **se están ensayando** rotaciones rápidas de cebada o trigo seguidos de girasol o maíz de ciclo corto.

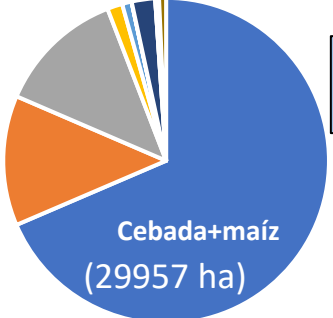


Dobles cultivos en Aragón. Importancia



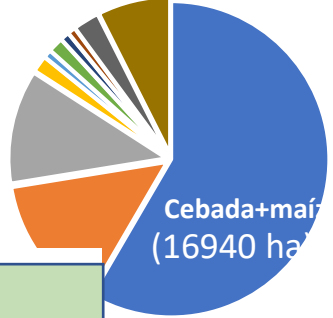
Dobles cultivos en Aragón. Importancia

2022 Total: 37865 ha



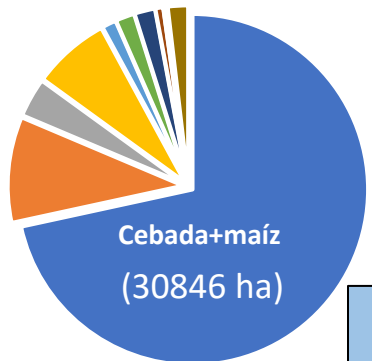
Maíz en monocultivo
33040 ha

2023 Total: 29006 ha



Maíz en monocultivo
25362 ha

2024 Total: 43081 ha



Maíz en monocultivo
30708 ha

AÑO DE SEQUÍA CON FUERTES RESTRICCIONES

- Cebada+maíz:
- Cereallnv+girasol
- Cereallnv.+soja:
- OtrosCereales+maíz
- Guisante+girasol:
- Guisante+maíz:
- Trigo+maíz:
- Cebada+brocoli:
- Habas+maíz:
- Cereallnv+Sorgo/Pas

- Cebada+maíz:
- Cereallnv+girasol
- Cereallnv.+soja:
- OtrosCereales+maíz
- Guisante+girasol:
- Guisante+maíz:
- Trigo+maíz:
- Cebada+brocoli:
- Habas+maíz:
- Cereallnv+Sorgo/PastoSudan/Teff

Distribución Cebada+maíz

2021



2022



2023



2024



Comunidades de regantes de **Aragón&Cataluña** y del **Alto Aragón**

Distribución Guisante+maíz

2021



2022



2023



2024



Estudios de dobles cultivos en Valle del Ebro

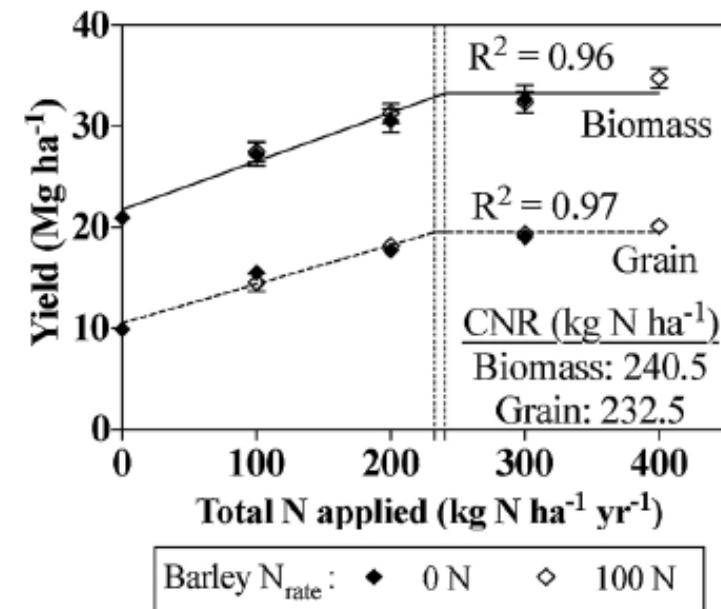
- Yagüe and Quílez, 2013 (Sistema de cebada-maíz / Aragón):
 - Interés por los DC como potencial solución al exceso de purín porcino en ciertas áreas.
 - DC cebada+maíz tras 4 años de maíz en monocultivo.
 - Evaluación del uso del N residual con el DC.
 - **El establecimiento del DC condujo a mayor eficiencia del N residual, y la disminución (potencial) de las pérdidas de N. Elevadas extracciones de N, lo que puede ayudar a “paliar” el problema del purín porcino.**



Estudios de dobles cultivos en Valle del Ebro

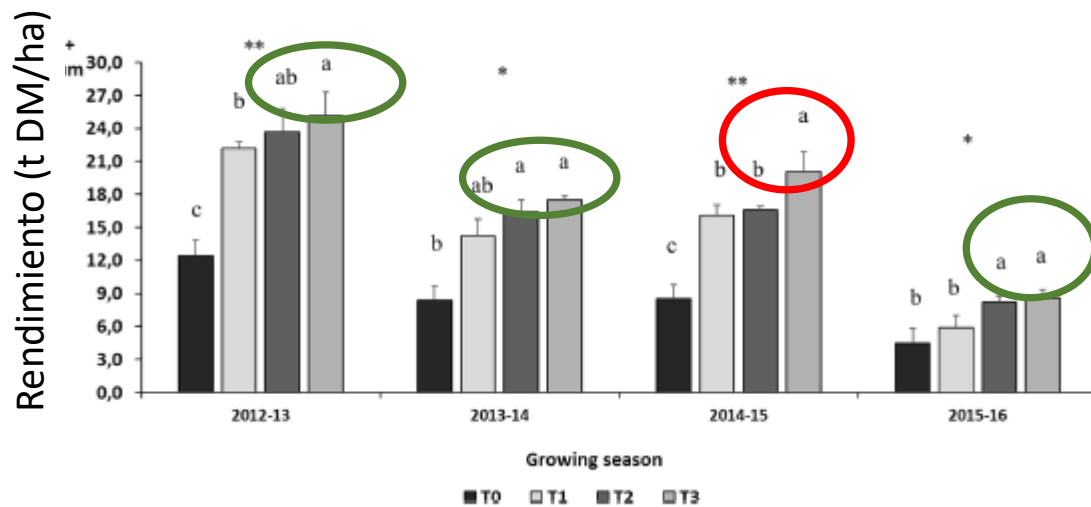
- Maresma et al., 2019 (sistema cebada+maíz / Lleida):

- Establecen una dosis óptima de **230-240 kg N/ha** para el DC cebada-maíz. (aprox. la extracción del grano).
- Potencial de aprox. 20 t grano/ha.
- **Gran potencial de recuperación del N residual en suelo.**
- Dosis de N muy ajustadas con elevado riesgo de falta de sincronía de N si no existe un nivel elevado de N inicial de N min. en el suelo.

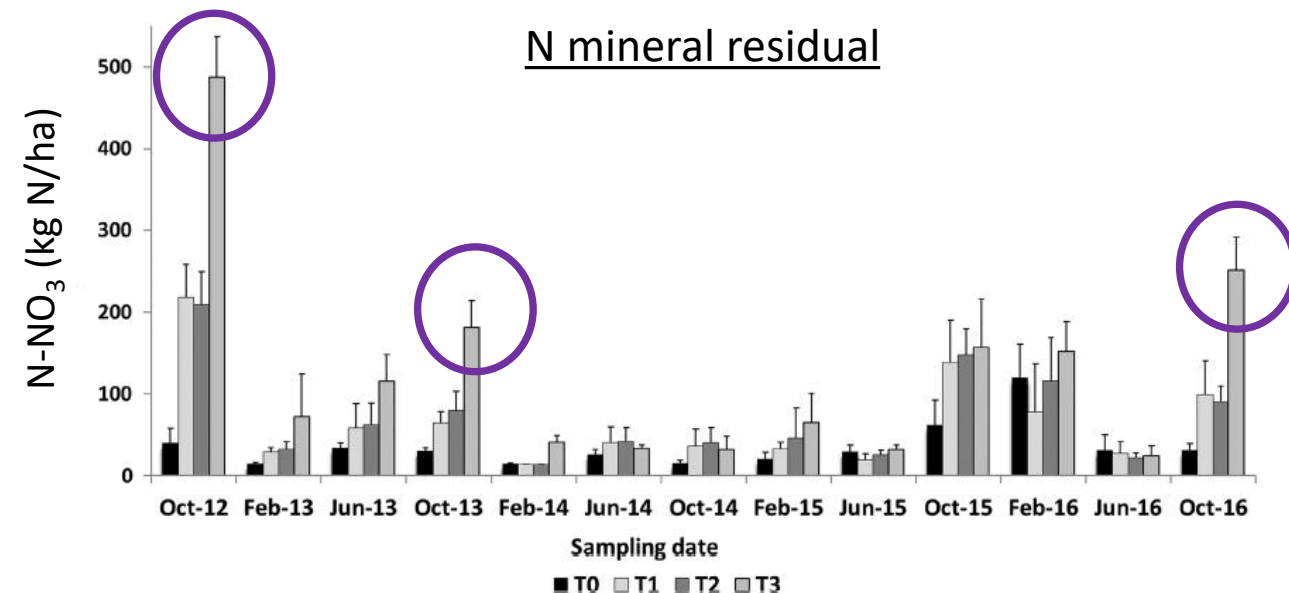


Estudios de dobles cultivos en Valle del Ebro

- Ovejero et al., 2022 (DC cebada+sorgo para forraje / Torrelló, Barcelona):
 - Orientado a valorar incrementar las dosis de **purín porcino en DCs**. 4 años de DC. Zona subhúmeda (650 mm; **sin riego**)
 - Rendimientos máximos de 17,8 t DM/ha (330 kg N aplicado/ha)
 - Dosis de N por encima de las permitidas en ZV (170 kg N/ha) aumentan el % de N que no se recupera (“unrecovered”) en el balance de N (posibles pérdidas).

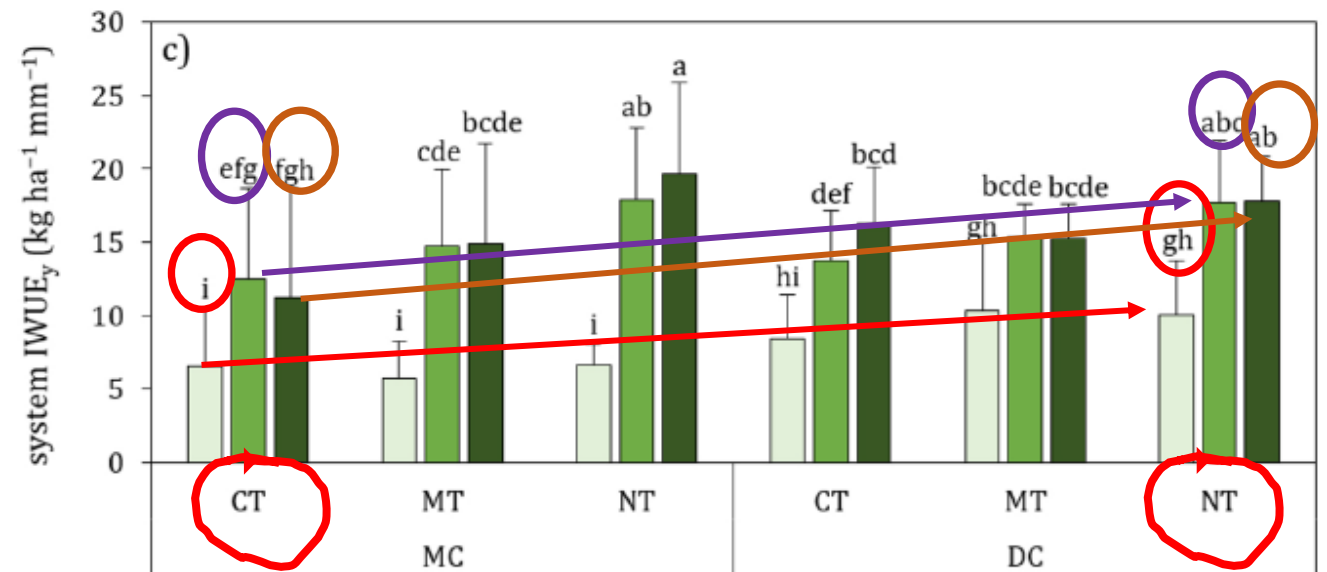


T0: 0N; T1: 170 kg N/ha; T2: 250 kg N/ha; T3: 330 kg N/ha



Estudios de doubles cultivos en Valle del Ebro

- Fernández-Ortega et al., (2023ab) (DC leguminosa+maíz vs monocultivo/ Lleida):
 - 3 dosis de N x 3 manejos del suelo (CT, MT, NT) x 2 sistemas (DC vs MC)
 - Mayores rendimientos de maíz de ciclo corto que de ciclo largo, asociado a mejor adaptación fenológica a ciertas condiciones meteorológicas.
 - DC sin laboreo aumentó la EUA-riego comparado con maíz en monocultivo con laboreo.
- **El DC redujo las emisiones de N₂O respecto al monocultivo de maíz al permitir reducir las dosis de fertilizante N.**
- **El DC sin laboreo aumentó las emisiones absolutas de N₂O pero no las escaladas.**



Estudio reciente – Grupo RAMA

¿Qué tratamos de evaluar?

“Evaluación **integral** del efecto del DC (cebada-maíz y guisante-maíz frente al monocultivo de maíz en regadío por aspersión en el Valle del Ebro)”

- Efectos productivos
- Efectos sobre la EUN y EUA
- Efectos medioambientales
 - Emisiones de gases de efecto invernadero (N₂O)
 - Pérdidas de N por lavado
- Efecto sobre la rentabilidad

¿Cómo lo hemos estudiado?

“Ensayo diversificación”



- 3 años
- Parcelas con manejo con maquinaria convencional (18x18 m)
- Adecuado para evaluar rendimientos y eficiencias a escala real

“Ensayo lisímetros drenaje”



- 4 años
- Microparcelas de 5 m²
- Nos permite cuantificar el efecto sobre la calidad del drenaje y las masas de nitrato exportadas.

Metodología

Tratamientos:

- Monocultivos, maíz ciclo largo (CRM=115):
 - Barbecho-maíz **B-MCL** (sistema referencia)
 - Cultivo cubierta-maíz **CC-MCL**
- Dobles cultivos, maíz ciclo corto (CRM= 100):
 - Cebada-maíz **C-MCC**
 - Guisante-maíz **G-MCC**

Manejo de los cultivos:

- Laboreo convencional
- Residuos picados e incorporados



		Fertilización (kg N ha ⁻¹ año)		
		Total	Maíz	Cebada/ Guisante
MONOCULTIVO	B-MCL	250	250	-
	CC-MCL	200	200	-
DOBLE-CULTIVO	C-MCC	348	200	148
	G-MCC	240	200	40

Premisa: buen manejo del riego y “razonable” del N (fácilmente realizables por agricultor)

Ensayo de Diversificación (DCs vs maíz en monocultivo)



Efecto de la rotación sobre el cultivo de maíz (3 años):

SISTEMA	Maíz	Grano (14%)	Humedad grano	N grano	EUN	ETc	EUA
		Mg ha ⁻¹	%	%	kg grano kg N ⁻¹	mm	kg grano ha ⁻¹ mm ⁻¹
Barbecho - B-MCL	MCL	15,7 a	21,3 c	1,23 a	63,0 b	748 a	21,2 b
Veza - CC-MCL		16,1 a ^{+23%}	21,6 c	1,26 a	80,3 a ^{+27%}	756 a	21,4 b
Doble cultivo C - C-MCC	MCC	12,7 b	27,6 a	1,07 b	63,7 b	559 b	22,9 a
Doble Cultivo - G-MCC		13,2 b	26,7 b	1,10 b	66,2 b	570 b	23,3 a ^{+8%}



+7 €/t coste secado y 5,8% más de coste de transporte

En promedio para 3 años consecutivos, algunas **micotoxinas (DON)** presentaron valores más elevados en maíz de ciclo corto (**480 µg/kg**) que en maíz de ciclo largo (**263 µg/kg**). (Loran et al., 2023))

Ensayo de Diversificación (DCs vs maíz en monocultivo)



**Efecto de la rotación sobre el periodo otoño/invierno
(promedio 3 años):**

SISTEMA	Grano (14%) Mg ha ⁻¹	N grano %	EUN-g kg grano kg N ⁻¹	ET mm	EUA kg grano ha ⁻¹ mm ⁻¹
Barbecho - B-MCL	-	-	-	207 d	-
Veza - CC-MCL	-	-	-	229 c	-
Doble cultivo - C-MCC	9,18 a	1,83 b	62 b	447 a	20,5 a
Doble cultivo - G-MCC	4,96 b	3,50 a	124 a	425 b	11,6 b



Laboreo convencional!!

Ensayo de Diversificación (DCs vs maíz en monocultivo)



Productividad global de los sistemas:

<u>SISTEMA</u>	Grano (14%) Mg ha ⁻¹	Proteína kg ha ⁻¹
Barbecho - B-MCL	15,7 c	901 b
Veza - CC-MCL	16,1 c	929 b
Doble cultivo - C-MCC	21,9 a	1449 a +61%
Doble cultivo - G-MCC	18,2 b	1495 a +66%

Ensayo de Diversificación (DCs vs maíz en monocultivo)



Riego, ET , y EUA de los sistemas en su conjunto:

SISTEMA	Riego mm	ET mm	EUA kg grano ha ⁻¹ mm ⁻¹
Barbecho - B-MCL	580	955 c	16,5 c
Veza - CC-MCL	607 +5 %	985 b +3 %	16,3 c
Doble cultivo - C-MCC	645	1006 a	21,8 a +32%
Doble cultivo - G-MCC	653	997 ab	18,2 b

Note: Brackets in the original image indicate a +12% increase in Riego and a +5% increase in ET for the double cropping systems compared to the barbecho system.

Calendario de riego considerando un balance de agua en suelo

Ensayo de Diversificación (DCs vs maíz en monocultivo)



EUN de los sistemas:

Sistema	EUN grano kg kg N ⁻¹	EUN proteína kg kg N ⁻¹
Barbecho - B-MCL	63,0 c	3,61 d
Veza - CC-MCL	80,3 a +27%	4,64 b
Doble cultivo - C-MCC	63,0 c	4,16 c
Doble cultivo - G-MCC	75,8 b +20%	6,22 a +72%

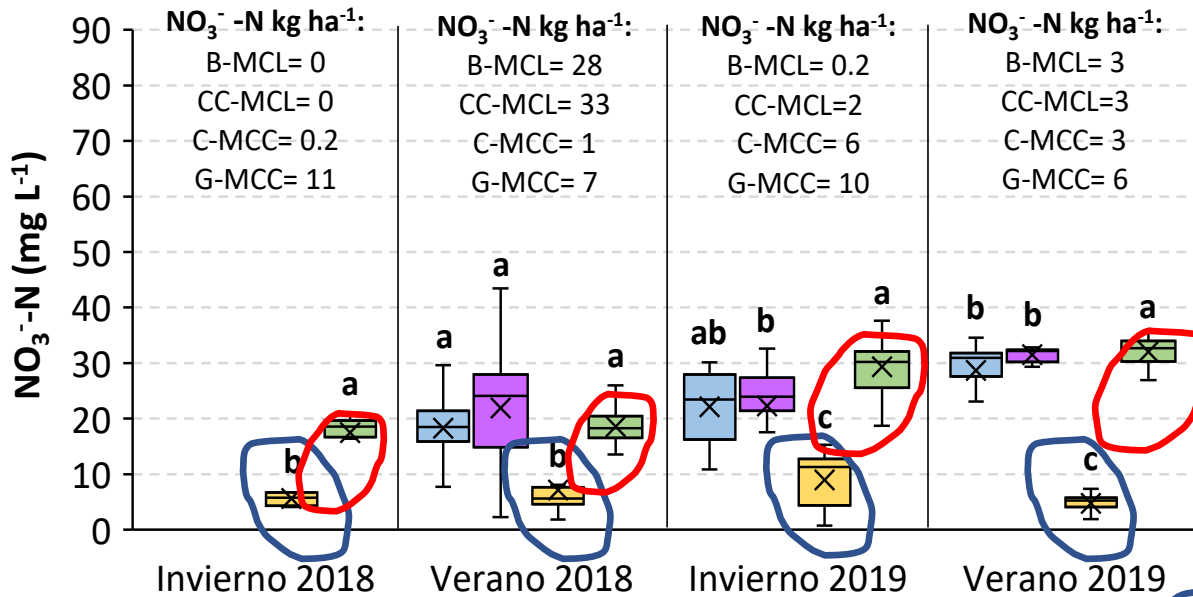


EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

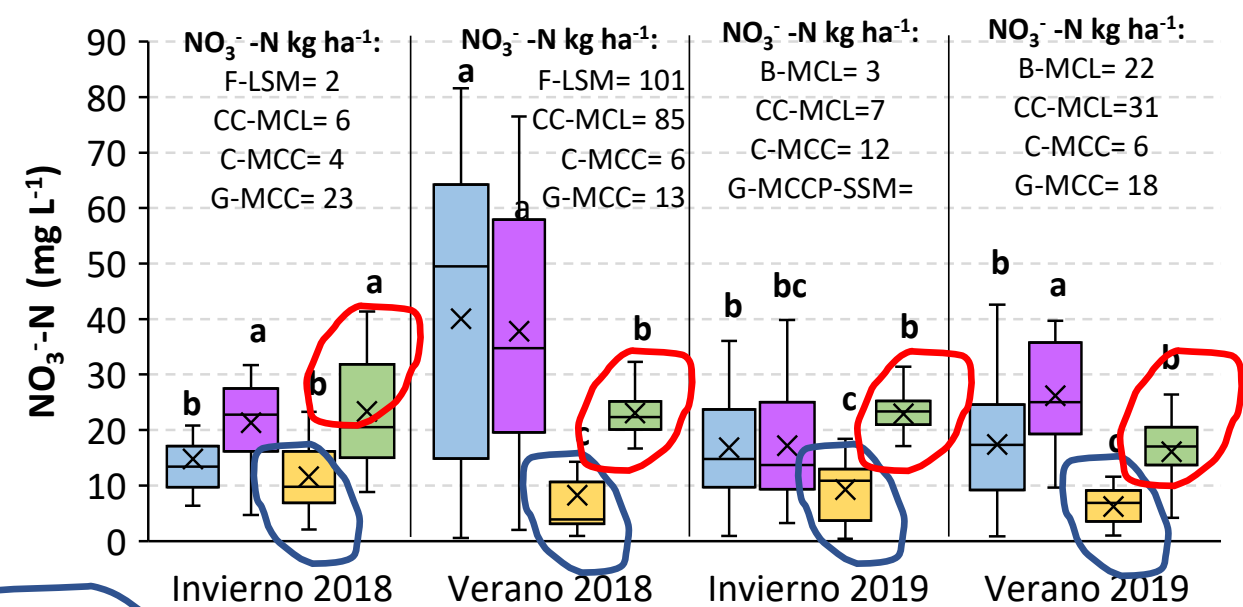


Concentración de nitratos en el agua de drenaje:

Suelo profundo



Suelo somero



■ B-MCL ■ CC-MCL ■ C-MCC ■ G-MCC

La concentración y la masa de N lavada fue menor en el sistema DC cebada-maíz



EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES





Emisiones acumuladas de óxido nitroso (suma de 2 años):

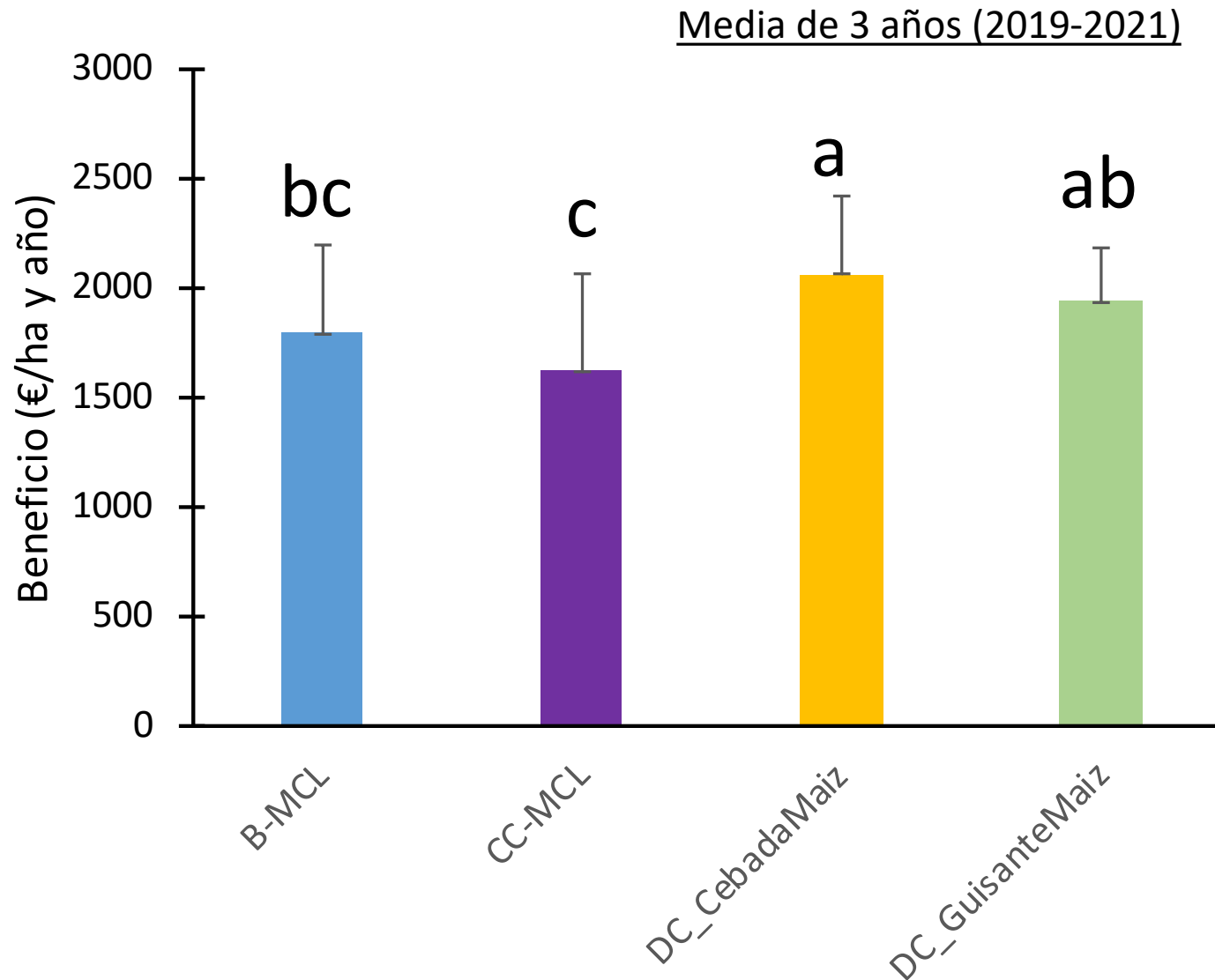
Sistema	Emisiones N ₂ O kg N-N ₂ O ha ⁻¹	Escaladas grano g N-N ₂ O Mg ⁻¹ grano
Barbecho - MCL	6,33 c	201 b
Veza - CC-MCL	8,75 b	269 a
Doble cultivo - C-MCC	11,3 a	283 a
Doble cultivo - G-MCC	8,37 bc	251 ab

COMPARACIÓN GLOBAL DE LOS DOBLES CULTIVOS

Frente al monocultivo maíz-barbecho

Sistemas alternativos	Efectos productivos				Impactos ambientales	
	Fertilizante y riego	Rend.	EUA	EUN	Emisiones GEI	Lavado de Nitrato
 Doble C-MCC	↑ F:+39% ↑ R:+11%	↑ G:+39%	↑ +32%	G:=	↑ N ₂ O:+79% ↑ GWP:+61% ↑ GHGI:+27%	↓ N-NO ₃ :- 74%
 Doble G-MCC	↓ F:-4% ↑ R:+13%	↑ G:+16%	↑ +10%	↑ G:+20%	N ₂ O:= GWP:= GHGI:=	N-NO ₃ :=

Efecto sobre la rentabilidad



¿EXISTEN OTRAS ALTERNATIVAS?

- Introducción de **soja** como segundo cultivo (producciones en ensayos de entre 3-5 t/ha para los ciclos cortos). Parece que se abren perspectivas interesantes con la ampliación de **ELIAN-VISERION** de su **planta de procesamiento de soja** (consumo humano) en el puerto de Barcelona.
- Uso de otras especies de verano: **girasol, sorgo**, etc...
- Los DC permiten una mayor optimización de recursos, pero el **manejo (agua y nutrientes)** es clave para conseguirlo.

Referencias bibliográficas

- Cancer Craver, M. (2026). Análisis económico de alternativas al monocultivo de maíz (*Zea mays*) en regadíos del Valle del Ebro. Trabajo Fin de Máster. Universidad de Zaragoza].
- Fernandez-Ortega, J., Alvaro-Fuentes, J., Talukder, R., Lampurlanes, J., & Cantero-Martinez, C. (2023). The use of double-cropping in combination with no-tillage and optimized nitrogen fertilization improve crop yield and water use efficiency under irrigated conditions. *Field Crops Research*, 301, Article 109017.
- Fernández-Ortega, J., Álvaro-Fuentes, J., Talukder, R., Lampurlanés, J., & Cantero-Martínez, C. (2023). The use of double-cropping in combination with no-tillage and optimized nitrogen fertilization improve crop yield and water use efficiency under irrigated conditions. *Field Crops Research*, 301, 109017.
- Lloveras, J. 1987. Forage production and quality of several crop rotations and pastures in Northwestern Spain (Galicia). *Grass and Forage Science* 42: 241-247.
- Maresma, A., Martínez-Casasnovas, J. A., Santiveri, F., Lloveras, J., 2019. Nitrogen management in double-annual cropping system (barley-maize) under irrigated Mediterranean environments. *Eur. J. Agron.*, 103: 98-107.
- Ovejero, J., et al., 2022. Nitrogen fertilization with pig slurry in a barley-sorghum double-annual forage cropping system. *Nutrien Cycling in Agroecosystems* 124(3): 373-388.
- Pujol, M. 1984. Producción de forrajes en Cataluña. *Pastos*. XIV (1): 1-34.
- Wu t al., 2024, Response of potential double cropping areas expansion and appropriate crop management practices to climate change in northern China. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 8, 1441396.
- Yagüe, M.R., Quílez, D. , 2013. Residual Effects of Fertilization with Pig Slurry: Double Cropping and Soil. *Agron. J.*, 105:70-78.
- Zugasti, I, 2025. Efectos productivos y ambientales de la diversificación e intensificación en agrosistemas de regadío del Valle del Ebro. Tesis doctoral. 194 pp. Universidad de Zaragoza.

Gracias por su atención