

Inés Zugasti-López^{1*}, José Caveró², Jorge Álvaro-Fuentes², Ignacio Clavería¹, Ramón Isla¹¹ Dpto. Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente, CITA de Aragón, Avda. Montañana 930, 50059 Zaragoza. ² Dpto. Suelo y Agua, EEAD (CSIC), Avda. Montañana 1005, 50059, Zaragoza. * zugastilopez.i@cita-aragon.es

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La intensificación en agrosistemas extensivos de regadío mediante la diversificación de cultivos tiene un impacto sobre las emisiones directas de gases de efecto invernadero (GEIs) del suelo y en las emisiones indirectas asociadas a los manejos e insumos requeridos por los distintos cultivos. El objetivo de este estudio fue evaluar el potencial de calentamiento (*global warming potential*, GWP) asociado a sistemas con distinto grado de diversificación en regadíos del valle del Ebro, teniendo en cuenta tanto las emisiones directas (N₂O y CH₄) como indirectas.

MATERIALES Y MÉTODOS

-Localización y duración: Finca Experimental EEAD-CSIC, Montañana (Zaragoza), 2 años: 2020-2021.

-Tratamientos, fertilización y diseño:

Tabla 1. 3 repeticiones en marco de riego 18x18m, Aleatorio

-Análisis estadístico:

SAS, Emisiones N₂O y GWP normalizados mediante transformación Box-Cox

-Metodología: Obtención de las emisiones CO₂ eq. ha⁻¹ directas e indirectas:

Factores de emisión fabricación por 1kg N fertilizante:

- UAN 32%N = 0.78 kg CO₂ eq.
- NH₄NO₃ 33.5%N (granulated) = 1.15 kg CO₂ eq.
- NAC 27%N = 0.95 kg CO₂ eq.
- NPK 8-15-15 = 0.07 kg CO₂ eq. (Kayatz et al., 2019)

Calculadora de huella de carbono de organización de alcance 1+2 para explotaciones agrícolas.

Ministerio para la Transición Ecológica y reto demográfico, Gobierno de España.

Energía de bombeo:

2.206 kWh/mm

1kWh = 0.25 kg eq. CO₂

(varias comercializadoras, GdO 2020)

Suma de la energía de producción de los kg compuesto activos según el año de descubrimiento:

E(Mj) = -399 + 10.8 (Y-1900)

(Williams et al., 2009)

+ factor formulación kg de cada compuesto activo = kg 0.4 CO₂ eq.

(Lal, 2004)

Dos cámaras estáticas de PVC por repetición de 14L, base 10 cm insertada en el suelo. Cada 15 días durante todo el periodo de ensayo, incrementando la frecuencia tras la aplicación de fertilizante.

Análisis de gases mediante cromatógrafo Agilent 7890A (ECD+FID)

1kg N₂O = 265 kg CO₂ eq. ;

1kg CH₄ = 28 kg CO₂ eq.

(IPCC, 2013)

Cosecha manual:

-2.25 m en dos de maíz filas por repetición

-2 m² de cebada y guisante por repetición

Rendimiento reportado al 14% humedad de grano

Global warming potential (GWP): Total kg CO₂ eq. de emisiones directas e indirectas por hectárea

Greenhouse gas intensity (GHGI): GWP/ producción de grano hectárea (Sainju 2020)

Sistema	Tratamiento	kg N/ha año
Monocultivo (MC)	Barbecho: B-MCL	250
Maíz Ciclo Largo (MCL)	CC=Veza: CC-MCL	200
Doble-cultivo (DC)	Cebada: C-MCC	348
Maíz Ciclo Corto (MCC)	Guisante: G-MCC	250

Tabla 1: tratamientos y dosis de nitrógeno aportadas

RESULTADOS

Tratamiento	Riego ¹	Fertilizante ²	Pesticidas ³	Laboreo ⁴	N ₂ O ⁵	CH ₄ ⁵	Rendimiento en grano ⁶	GWP ⁷	GHGI ⁷
	kg CO ₂ -eq ha ⁻¹						Mg ha ⁻¹	kg CO ₂ - eq. ha ⁻¹	kg CO ₂ -eq. Mg ⁻¹ grano
Año 2020									
B-MCL	280	335	75	269	1391 c	-17	15.7 b	2334 ± 92 c	149 ± 7 b
CC-MCL	285	214	75	366	1686 bc	-21	15.9 b	2603 ± 78 bc	164 ± 2 b
C-MCC	290	628	49	251	2921 a	-9	20.1 a	4130 ± 158 a	206 ± 7 a
G-MCC	282	247	49	247	2098 b	-13	16.9 b	2910 ± 175 b	172 ± 10 b
Año 2021									
B-MCL	280	335	75	269	1244 c	-17	15.8 b	2187 ± 132 c	138 ± 6 b
CC-MCL	300	214	75	379	1957 a	-16	16.5 b	2909 ± 237 ab	176 ± 13 a
C-MCC	332	628	78	348	1809 ab	-6	20.1 a	3190 ± 88 a	159 ± 7 ab
G-MCC	327	247	78	345	1387 bc	-7	16.4 b	2377 ± 46 bc	145 ± 3 b
ANOVA									
Trat. (T)	-	-	-	-	<.0001	0.0081	<.0001	<.0001	0.0007
Año (A)	-	-	-	-	0.0005	0.1386	<.0001	0.0107	0.0039
T x A	-	-	-	-	0.0006	0.7275	0.6571	0.0151	0.0085
Periodo experimental 2020 + 2021									
B-MCL	560	671	150	538	2635 c	-25	31.5 b	4521 ± 220 b	144 ± 6 c
CC-MCL	585	427	150	745	3643 b	-28	32.4 b	5512 ± 314 b	170 ± 6 ab
C-MCC	622	1255	127	600	4730 a	-11	40.1 a	7320 ± 114 a	183 ± 1 a
G-MCC	609	494	127	591	3485 bc	-15	33.4 b	5287 ± 204 b	158 ± 5 bc

Tabla 2: Emisiones directas e indirectas (expresadas en kg CO₂-eq.), *global warming potential* (GWP) y *greenhouse gas intensity* (GHGI) en los diferentes tratamientos y años. Tabla de análisis proc mixed en SAS (p-valor=0,05). Comparaciones múltiples mediante test de Tukey (p-valor=0,05)

- Las **emisiones indirectas** supusieron el **39%** del total del **GWP** en los **sistemas MC** y entre el **29 y el 43%** en los **sistemas DC**. De forma global para los dos años, las **emisiones directas** supusieron el **63%** de las **emisiones totales**.
- Las **labores** se ajustaron **a las necesidades del suelo** en cada sistema y momento. Las **emisiones** asociadas a la **producción de fertilizantes** fueron un **63% y 31% menores** para la media de los **sistemas con leguminosas** (CC-MCL y G-MCC, 461 kg CO₂ eq. ha⁻¹) que en los sistemas C-MCC y B-MCL, respectivamente. Las **emisiones asociadas al riego** sólo fueron, de media, un **8% mayores** en los **sistemas DC** (615 CO₂ eq. ha⁻¹) que en los MC (573 CO₂ eq. ha⁻¹), probablemente asociado a la mayor eficiencia del uso del agua en sistemas de DC.
- El sistema **C-MCC** presentó el **mayor GWP** en ambos años y para el periodo completo, **seguido por el sistema CC-MCL** debido al incremento en este sistema de las emisiones directas de N₂O durante el año 2021. El **GWP** del **sistema G-MCC**, no presentó **diferencias** frente al GWP de los **sistemas MC** en ninguno de los años ni para el total del periodo.
- Durante el año 2020 la mayor producción en el sistema C-MCC no compensó el **GWP** del sistema (**GHGI**). En el año 2021 fue el sistema CC-MCL el que obtuvo el mayor **GHGI**. En general, **los sistemas intensificados, tendieron a presentar mayor GHGI** que el sistema de monocultivo de maíz con barbecho invernal (**B-MCL**), aunque **sin diferencias con** el sistema **G-MCC**.

CONCLUSIONES

- Desde el punto de vista de las emisiones de GEIs, estas son difíciles de compensar mediante incrementos en la producción.
- La introducción de especies leguminosas como cultivo productivo mantiene emisiones directas similares al monocultivo de maíz con barbecho invernal.
- Las especies leguminosas, reducen emisiones indirectas derivadas de la producción de fertilizantes con margen a mayores reducciones.
- Los sistemas DC apenas requieren un ligero incremento de energía para el riego comparados con los sistemas MC

BIBLIOGRAFÍA

- Kayatz, B., Tonder, C. von, Hillier, J., Lesschen, J. P., & Dick, L. (2019). Cool Farm Tool Technical Documentation. Version 1.0 corresponding CFT v0.8.17. University of Aberdeen: Aberdeen, UK.
- Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment International*, 30(7), 981-990. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.03.005>
- Sainju, U. M. (2020). Net global warming potential and greenhouse gas intensity. *Soil Science Society of America Journal*, 84(5), 1393-1404. <https://doi.org/10.1002/saj2.20152>
- Williams, A. G., Audsley, E., Stecey, K., & Parsons, D. J. (2009). *Estimation of the greenhouse gas*. May, 20. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5095.3122>