

Inés Zugasti-López<sup>1\*</sup>, José Caveró<sup>2</sup>, Jorge Álvaro-Fuentes<sup>2</sup>, Ignacio Clavería<sup>1</sup>, Ramón Isla<sup>1</sup><sup>1</sup> Dpto. Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente, CITA de Aragón, Avda. Montañana 930, 50059 Zaragoza. <sup>2</sup> 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 (N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>) 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 N<sub>2</sub>O y GWP normalizados mediante transformación Box-Cox

**-Metodología:** Obtención de las emisiones CO<sub>2</sub> eq. ha<sup>-1</sup> directas e indirectas:

### Factores de emisión fabricación por 1kg N fertilizante:

- UAN 32%N = 0.78 kg CO<sub>2</sub> eq.
- NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 33.5%N (granulated) = 1.15 kg CO<sub>2</sub> eq.
- NAC 27%N = 0.95 kg CO<sub>2</sub> eq.
- NPK 8-15-15 = 0.07 kg CO<sub>2</sub> 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. CO<sub>2</sub>**

(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 CO<sub>2</sub> 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 N<sub>2</sub>O = 265 kg CO<sub>2</sub> eq. ;

1kg CH<sub>4</sub> = 28 kg CO<sub>2</sub> eq.

(IPCC, 2013)

### Cosecha manual:

-2.25 m en dos de maíz filas por repetición

-2 m<sup>2</sup> de cebada y guisante por repetición

Rendimiento reportado al 14% humedad de grano

### Global warming potential (GWP):

Total kg CO<sub>2</sub> eq. de emisiones directas e indirectas por hectárea

### Greenhouse gas intensity (GHGI):

GWP/ producción de grano hectárea (Sainju 2020)

## RESULTADOS

| Tratamiento                             | Riego <sup>1</sup>                      | Fertilizante <sup>2</sup> | Pesticidas <sup>3</sup> | Laboreo <sup>4</sup> | N <sub>2</sub> O <sup>5</sup> | CH <sub>4</sub> <sup>5</sup> | Rendimiento en grano <sup>6</sup> | GWP <sup>7</sup>                          | GHGI <sup>7</sup>                              |
|---|---|---------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|---|--|
|   | kg CO <sub>2</sub> -eq ha <sup>-1</sup> |                           |                         |                      |                               |                              | Mg ha <sup>-1</sup>               | kg CO <sub>2</sub> - eq. ha <sup>-1</sup> | kg CO <sub>2</sub> -eq. Mg <sup>-1</sup> grano |
| <b>Año 2020</b>                         |   |                           |                         |                      |                               |                              |                                   |   |  |
| <b>B-MCL</b>                            | 280                                     | 335                       | 75                      | 269                  | 1391 c                        | -17                          | 15.7 b                            | 2334 ± 92 c                               | 149 ± 7 b                                      |
| <b>CC-MCL</b>                           | 285                                     | 214                       | 75                      | 366                  | 1686 bc                       | -21                          | 15.9 b                            | 2603 ± 78 bc                              | 164 ± 2 b                                      |
| <b>C-MCC</b>                            | 290                                     | 628                       | 49                      | 251                  | 2921 a                        | -9                           | 20.1 a                            | 4130 ± 158 a                              | 206 ± 7 a                                      |
| <b>G-MCC</b>                            | 282                                     | 247                       | 49                      | 247                  | 2098 b                        | -13                          | 16.9 b                            | 2910 ± 175 b                              | 172 ± 10 b                                     |
| <b>Año 2021</b>                         |   |                           |                         |                      |                               |                              |                                   |   |  |
| <b>B-MCL</b>                            | 280                                     | 335                       | 75                      | 269                  | 1244 c                        | -17                          | 15.8 b                            | 2187 ± 132 c                              | 138 ± 6 b                                      |
| <b>CC-MCL</b>                           | 300                                     | 214                       | 75                      | 379                  | 1957 a                        | -16                          | 16.5 b                            | 2909 ± 237 ab                             | 176 ± 13 a                                     |
| <b>C-MCC</b>                            | 332                                     | 628                       | 78                      | 348                  | 1809 ab                       | -6                           | 20.1 a                            | 3190 ± 88 a                               | 159 ± 7 ab                                     |
| <b>G-MCC</b>                            | 327                                     | 247                       | 78                      | 345                  | 1387 bc                       | -7                           | 16.4 b                            | 2377 ± 46 bc                              | 145 ± 3 b                                      |
| <b>ANOVA</b>                            |   |                           |                         |                      |                               |                              |                                   |   |  |
| <b>Trat. (T)</b>                        | -                                       | -                         | -                       | -                    | <.0001                        | 0.0081                       | <.0001                            | <.0001                                    | 0.0007   |
| <b>Año (A)</b>                          | -                                       | -                         | -                       | -                    | 0.0005                        | 0.1386                       | <.0001                            | 0.0107                                    | 0.0039   |
| <b>T x A</b>                            | -                                       | -                         | -                       | -                    | 0.0006                        | 0.7275                       | 0.6571                            | 0.0151                                    | 0.0085   |
| <b>Periodo experimental 2020 + 2021</b> |   |                           |                         |                      |                               |                              |                                   |   |  |
| <b>B-MCL</b>                            | 560                                     | 671                       | 150                     | 538                  | 2635 c                        | -25                          | 31.5 b                            | 4521 ± 220 b                              | 144 ± 6 c                                      |
| <b>CC-MCL</b>                           | 585                                     | 427                       | 150                     | 745                  | 3643 b                        | -28                          | 32.4 b                            | 5512 ± 314 b                              | 170 ± 6 ab                                     |
| <b>C-MCC</b>                            | 622                                     | 1255                      | 127                     | 600                  | 4730 a                        | -11                          | 40.1 a                            | 7320 ± 114 a                              | 183 ± 1 a                                      |
| <b>G-MCC</b>                            | 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> eq. ha<sup>-1</sup>) 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 CO<sub>2</sub> eq. ha<sup>-1</sup>) que en los MC (573 CO<sub>2</sub> eq. ha<sup>-1</sup>), 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 N<sub>2</sub>O 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>