

Optimizar la utilización de recursos como el agua o el fertilizante nitrogenado resulta fundamental para poder conseguir una agricultura sostenible

# EFICIENCIA DEL NITRÓGENO Y PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN SISTEMAS DE FERTIRRIEGO POR GOTEO

**Ángel Maresma<sup>1</sup>, Guillermo Guardia<sup>2,3</sup>, Antonio Vallejo<sup>2,3</sup> e Israel Carrasco<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de I+D de EuroChem Agro Iberia, S.L.

<sup>2</sup>Departamento de Química y Tecnología de Alimentos, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid

<sup>3</sup>Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales (CEIGRAM)

Es esencial mantener y mejorar el rendimiento de los cultivos en sistemas de regadío, a la vez que se minimizan sus impactos ambientales. A todos los cultivos -y en especial a los de regadío- se les asocian emisiones de un potente gas de efecto invernadero, el óxido nitroso ( $N_2O$ ). Esto suele explicarse por el aporte de fuentes nitrogenadas y muy especialmente cuando se manejan altas dosis de nitrógeno (N) en condiciones de temperaturas cálidas y suficiente humedad del suelo. Estas características son ideales para los procesos microbianos que conducen a la liberación de óxido nitroso ( $N_2O$ ) de los suelos agrícolas, principalmente la nitrificación y desnitrificación.



Las oportunidades de mitigación del óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) en los cultivos de regadío como el maíz pasan por una mejor gestión de la fertilización con N y del riego. Los resultados científicos han demostrado que entre las mejores prácticas de fertilización para reducir las pérdidas de N manteniendo o mejorando los rendimientos destaca el uso de inhibidores de la nitrificación como el DMPP o DMPSA, presentes en la gama de fertilizantes ENTEC®. En cuanto a la gestión del riego, se puede conseguir una reducción significativa de las emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) mediante el uso del riego por goteo en lugar del riego por surcos o aspersión, pues las condiciones de humedad en el suelo cuando se usan sistemas de riego localizado son menos favorables para la producción de este gas de efecto invernadero.

La fertilización y el riego, combinados a través de la fertirrigación por goteo, permiten mejorar la distribución del N, y facilitar la sincronización de este nutriente con las necesidades del cultivo, lo que conduce a mejoras significativas de la eficiencia del uso del N y a reducciones de las pérdidas de N reactivo a la atmósfera y las aguas subterráneas. Combinar el riego por goteo y la fertirrigación incorporando un inhibidor de la nitrificación contrastado como el DMPP resulta muy interesante, pero surge la cuestión de si el inhibidor de la nitrificación (DMPP) puede mantener su eficacia -y conducir a reducciones adicionales de N<sub>2</sub>O- en combinación con una estrategia ya de por sí eficiente en la



El ensayo se llevó a cabo en la campaña 2021 en la estación experimental de La Chimenea (IMIDRA) en Madrid.

mitigación como es el fertirriego, en el que se dan condiciones de saturación de agua cerca de los goteros. Además, la eficacia medioambiental, agronómica y económica del fertirriego por goteo podría mejorarse utilizando un riego por goteo subsuperficial, ya que es una alternativa altamente eficiente en el uso de agua y nutrientes, aunque ensayos previos han repor-

tado efectos variables en relación a los rendimientos.

En este contexto, la Universidad Politécnica de Madrid, en colaboración con EuroChem, establecieron un experimento en maíz con el objetivo de comparar el riego por goteo superficial y subsuperficial con diferentes fuentes de N (es decir, basadas en

TRATAMIENTO	FERTILIZANTE	(kg N/ha)	FUENTE DEL N	INHIBIDOR
<b>CONTROL</b>	-	-	-	-
AS	Sulfato amónico	210	Amoniaca	-
AS+DMPP	ENTECS® solub 21	210	Amoniaca	Nitrificación (DMPP)
CN	Nitrato cálcico	210	Nítrica	-

Tabla 1. Estrategias de fertilización evaluadas en el ensayo en los dos sistemas de riego por goteo (superficial y subterráneo).

nitrato ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) y en amonio ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), incluyendo el uso del inhibidor de la nitrificación (DMPP) en lo que respecta a las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$ .

### ENSAYO EXPERIMENTAL (RIEGO Y FERTILIZACIÓN)

El ensayo se llevó a cabo en la campaña 2021 en la estación experimental de La Chimenea (IMIDRA) en Madrid. El diseño experimental se desarrolló en parcelas divididas con tres repeticiones, siendo el sistema de riego el factor principal (goteo superficial y subsuperficial a 30 cm de profundidad) y el fertilizante nitrogenado el factor secundario (control, sulfato amónico, AS, sulfato amónico + DMPP, AS+DMPP (ENTEC® solub 21) y nitrato cálcico, CN) (Tabla 1).

En ambos sistemas de riego se instaló una línea de goteo (con goteros de  $3,5 \text{ L h}^{-1}$ , separados  $0,33 \text{ m}$ ) por cada hilera de maíz. Se utilizó un sistema



Figura 1. Cámaras de muestreo de gases de efecto invernadero en las parcelas experimentales.

de riego por aspersión portátil para proporcionar suficiente humedad al suelo para las labores de presiembra y para promover la nascencia del maíz, ya que el suelo -por su alto contenido en limo- es propenso a la formación de costras, siendo desinstalado tras la emergencia del maíz.

Todos los fertilizantes nitrogenados se aplicaron a una dosis similar de  $210 \text{ kg N ha}^{-1}$  divididas uniformemente en

tres eventos de fertirrigación. Todas las parcelas elementales (incluido el tratamiento control) recibieron fertilizantes fosforados (P) y potásicos (K) en presiembra. El riego se realizó dos veces por semana desde la emergencia del maíz hasta mediados de septiembre, tanto en parcelas principales de riego por goteo superficial como subsuperficial. En cada semana, la dosis de agua se calculó utilizando los datos de evapotranspiración de





Figura 2. Fotografías tomadas el 9 de agosto (A) y el 11 de agosto (B) en parcelas irrigadas por goteo subterráneo (izquierda) y superficial (derecha), pertenecientes al mismo tratamiento fertilizante.

referencia de la estación de campo y el coeficiente de cultivo (Kc) del maíz en cada fase de desarrollo del cultivo.

La medición de óxido nitroso ( $N_2O$ ) se realizó después de los eventos de riego y la frecuencia se incrementó a 2-3 veces por semana durante el primer mes después de los eventos de fertirrigación. Después, la frecuencia de muestreo se redujo progresivamente, pero cubriendo todo después de eventos de lluvia/riego, pues la rehumectación del suelo seco produce habitualmente pulsos de emisión de este gas en los días posteriores. Los flujos de gases de efecto invernadero se midieron a través de cámaras cerradas (Figura 1).

## RESULTADOS DEL ENSAYO

### Efecto del tipo de riego por goteo

Nuestros resultados demostraron que el manejo por goteo-fertirrigación enterrado puede alcanzar las mismas o incluso mayores productividades de grano y biomasa que el

goteo superficial en maíz, aunque deben considerarse las limitaciones técnicas (diseño e instalación, mantenimiento y mayor riesgo de averías). Para la interpretación de estos resultados hay que recalcar que se utilizó un sistema de riego por aspersión para garantizar la nascencia en ambos sistemas de riego.

La producción de grano fue de 15,4 t/ha para el sistema de riego subterráneo, y de 13,8 t/ha para el sistema de riego por superficie, lo que supone un incremento estadísticamente significativo de un 12%. Sin embargo, en la cosecha de biomasa total no se encontraron diferencias significativas, aunque sí se observó la misma tendencia (41,4 t/ha en riego subterráneo y 39,2 t/ha en riego por superficie). Durante la campaña, se realizaron medidas con sensores proximales (SPAD) y vuelos con dron equipado con cámara multiespectral, que permitieron obtener parámetros relacionados con la actividad fotosintética y eficiencia en la asimilación de N (índices vegetativos

como el NDVI y NDRE). Estos sensores e índices captaron fielmente las diferencias entre riegos, tanto a nivel de rendimiento como de fenología (se observó una aceleración del ciclo del maíz en riego subterráneo, Figura 2). Estos novedosos resultados pueden ser relevantes de cara a la adaptación al cambio climático.

Respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero, el sistema de riego subterráneo redujo en un 25% las emisiones de óxido nitroso ( $N_2O$ ), aunque estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. El riego por goteo subterráneo emitió 213,2 g  $N_2O$ /ha y el riego por goteo superficial, 283,2 g  $N_2O$ /ha. Los factores de emisión (cantidad de  $N_2O$  emitida por kg de N aplicado) fueron en ambos casos menores que los factores de emisión del IPCC e incluso que los valores establecidos para cultivos Mediterráneos irrigados, confirmando la elevada eficacia mitigadora del fertirriego por goteo. Además, los resultados mostraron que el riego subterráneo redujo significativamente las emisiones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y metano ( $CH_4$ ), que si bien tienen menor importancia en el balance de la huella de C de los agrosistemas, refuerzan la sostenibilidad de esta práctica considerando un enfoque más completo.

### Efecto del tipo de fertilizante

El efecto del inhibidor de la nitrificación (DMPP) fue significativo, incrementando los rendimientos con respecto al resto de los tratamientos evaluados. Concretamente, incrementó el rendimiento del maíz fertilizado con respecto a la fuente nitrítica (CN) en

un 11%, y con respecto al fertilizado con la fuente amoniacal sin inhibidor (AS) en un 18% (Figura 3). Estos resultados muestran el efecto positivo que puede tener el inhibidor de la nitrificación (DMPP), favoreciendo la nutrición nítrico-amoniacal del cultivo, incluso en sistemas altamente eficientes en la distribución de nutrientes como es la fertirrigación por goteo. Los índices de vegetación remotos y proximales fueron capaces de captar, en momentos puntuales del ciclo, el incremento en la captación de N con el uso del DMPP.

Además, las emisiones acumuladas de óxido nítrico ( $N_2O$ ) se redujeron significativamente con el inhibidor de la nitrificación DMPP en comparación con el AS (fuente amoniacal sin inhibidor), mostrando el fertilizante CN (fuente nítrica) resultados intermedios (Figura 3). La eficacia de mitigación del DMPP alcanzó casi el 100% ya que los flujos acumulados en AS+DMPP fueron similares a los de las subparcelas control. Por otro lado, y en acuerdo con estudios previos, las emisiones del tratamiento AS (fuente amoniacal) fueron superiores a las del tratamiento CN (fuente nítrica), destacando el mayor efecto en la emisión de óxido nítrico durante el proceso de nitrificación, comparado con el de desnitrificación.

## CONCLUSIONES

Optimizar la utilización de recursos como el agua o el fertilizante nitrogenado resulta fundamental para poder conseguir una agricultura sostenible. Los resultados de este ensayo corroboran la efectividad de incorporar el inhibidor de la nitrificación (DMPP) a los sistemas de riego por goteo para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero e incrementar la producción de grano, mostrando

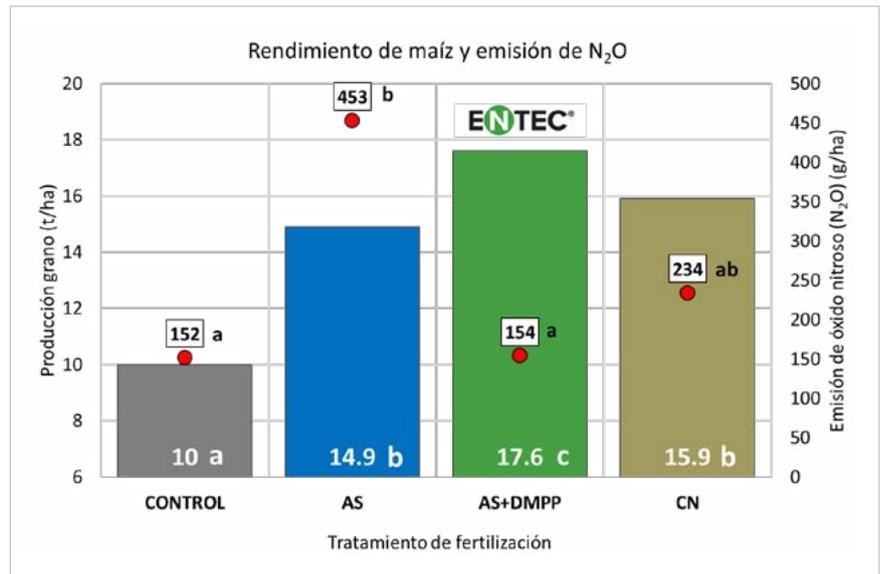


Figura 3. Producción de maíz (14% humedad) representado en el gráfico de barras y emisión de óxido nítrico ( $N_2O$ ) representado por los puntos rojos en los tratamientos evaluados en ambos sistemas de riego por goteo. Letras distintas indican diferencias significativas aplicando la prueba LSD a  $P < 0,05$ .



resultados particularmente prometedores en combinación con el riego enterrado.

Además, el sistema de goteo subterráneo puede considerarse como una buena alternativa para producir maíz de manera eficiente, porque tiende

a disminuir las emisiones de  $N_2O$  (y otros gases de efecto invernadero emitidos desde los suelos agrícolas) comparado con el riego por goteo superficial, mejorando el rendimiento en grano y acortando significativamente el tiempo comprendido entre nascencia y floración. ■

## AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Ciencia e Innovación por la beca Torres de Quevedo PTQ2020-011271/AEI/10.13039/501100011033, recibida por Dr. Ángel Maresma.

Para más información, puede consultarse el artículo científico publicado por Guardia et al. (2023): <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377423002457>