

REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE AMONÍACO EN LA AGRICULTURA MEDITERRÁNEA MEDIANTE TÉCNICAS INNOVADORAS DE FERTIRRIGACIÓN CON PURINES



LIFE ARIMEDA
LIFE16 ENV/ES/000400



Esta publicación ha sido elaborada como resultado de los trabajos realizados dentro del proyecto LIFE ARIMEDA:
Reducción de emisiones de amoníaco en la agricultura mediterránea a través de técnicas innovadoras de fertirrigación con purín
(LIFE16 ENVIES/000400)



Coordinador:

Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón – CITA (España)

Socios:

Università degli Studi di Milano – Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali (Italia)

Asociación de Defensa Sanitaria de porcino nº2 de Ejea de los Caballeros (España)

Mècaniques Segalés S.L. (España)

Riegos Iberia Regaber S.A. (España)

Associazione Regionale Allevatori della Lombardia (Italia)

Agriiter Servizi Srl (Italia)

Acquafert Srl (Italia)



EDITA: Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón – CITA (España)

COORDINACIÓN: Dolores Quílez, Eva Herrero y Giorgio Provolo

AUTORES: (en orden alfabético):

Abió, David	Gea, Ramón	Quílez, Dolores
Balcells, María	Guidetti, Andrea	Salvador, Raquel
Bacenetti, Jacopo	Guido, Viviana	Sanz, Alexia
Clavería, Ignacio	Guillén, Mónica	Ruffini, Giacomo
Crespo, Azucena	Herrero, Eva	Sommariva, Flavio
Daudén, Arturo	Merigo, Giambattista	
Finzi, Alberto	Provolo, Giorgio	

ISBN: 978-84-09-40304-2

DEPÓSITO LEGAL: Z 554-2022

DISEÑO GRÁFICO, MAQUETACIÓN E IMPRESIÓN: AISA PUBLICIDAD

© 2021, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón

AGRADECIMIENTO: Queremos dedicar un agradecimiento especial a todas aquellas personas que han trabajado y colaborado en el proyecto, investigadores, técnicos y oficiales de campo de las entidades participantes, así como a todos los agricultores y granjeros que se han implicado de forma directa o indirecta en la ejecución de los ensayos demostrativos y en las experiencias de transferencia del proyecto. Nuestro agradecimiento a todas las entidades colaboradoras durante estos 4 años de trabajo, en especial a la Confederación Hidrográfica del Ebro por su colaboración y apoyo en la ejecución de los ensayos demostrativos en el Centro Agronómico de La Melusa y al grupo COAPA de la Universidad Politécnica de Madrid por su contribución al trabajo de medición de emisiones de amoníaco.

El Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón no se hace responsable de las interpretaciones del contenido de los artículos ni del uso indebido de los mismos.

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, ni su préstamo, alquiler o cualquier forma de cesión de uso del ejemplar, sin el permiso preciso y por escrito del editor.



El proyecto LIFE ARIMEDA ha recibido fondos del Programa LIFE de la Unión Europea.

El contenido de esta publicación es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja necesariamente la opinión de la Unión Europea.

REDUCCIÓN DE EMISIONES DE AMONÍACO EN LA AGRICULTURA MEDITERRÁNEA A TRAVÉS DE TÉCNICAS INNOVADORAS DE FERTIRRIGACIÓN CON PURÍN

ÍNDICE

SECCIÓN

01 CONTEXTO DEL PROYECTO LIFE ARIMEDA

- cap. 1** EL AMONÍACO: FUENTE DE EMISIÓN E IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE, LA CALIDA DE LOS ECOSISTEMAS Y LA SALUD HUMANA **p. 8**
- cap. 2** LA AGRICULTURA EN LAS REGIONES MEDITERRÁNEAS: HACIA UN MODELO CIRCULAR DE NUTRIENTES Y EL PAPEL DE LAS PRÁCTICAS DE FERTIRRIGACIÓN **p. 16**
- cap. 3** ¿CÓMO PODEMOS APLICAR LOS FERTILIZANTES ORGÁNICOS CON EL SISTEMA DE RIEGO? **p. 26**

SECCIÓN

02 EL PROYECTO LIFE ARIMEDA EN DOS REGIONES MEDITERRÁNEAS: ARAGÓN Y LOMBARDÍA

- cap. 4** PROTOCOLOS DE SEGUIMIENTO AGRONÓMICO Y MEDIOAMBIENTAL EN LAS PARCELAS DEMOSTRATIVAS **p. 44**
- cap. 5** FERTIRRIEGO CON PURÍN PORCINO EN PARCELAS DEMOSTRATIVAS EN ARAGÓN (ESPAÑA) **p. 58**
- cap. 6** FERTIRRIEGO CON DIGERIDO EN PARCELAS DEMOSTRATIVAS EN LOMBARDÍA (ITALIA) **p. 78**

SECCIÓN

03 BENEFICIOS AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS DE LAS TÉCNICAS DE FERTIRRIGACIÓN DESARROLLADAS EN EL PROYECTO LIFE ARIMEDA

- cap. 7** ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA FERTIRRIGACIÓN EN ÁREAS MEDITERRÁNEAS **p. 94**
- cap. 8** ANÁLISIS ECONÓMICO DEL USO DEL FERTIRRIEGO EN DIFERENTES ESCENARIOS **p. 108**
- cap. 9** PERCEPCIÓN SOCIAL DEL IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LA GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL Y EL DIGERIDO Y LA APLICACIÓN DE PRÁCTICAS SOSTENIBLES COMO EL FERTIRRIEGO **p. 122**

La coerenza del progetto Arimeda rispetto agli obiettivi comunitari è molto solida: risparmio di risorse idriche, contenimento delle emissioni di ammoniaca, riduzione del consumo di fertilizzanti di sintesi, evidenza della circolarità economica nel riuso delle sostanze nutritive. Sono tutti obiettivi strategici individuabili nelle politiche agricole ambientali comunitarie. Anche in Regione Lombardia da tempo – cioè prima delle armoniche e comunicative sigle che accompagnano lo sviluppo della nuova Pac 2023-2027 quali “Farm to Fork”, “Next Generation EU”, “FFA” (Forum for the Future of Agriculture) si stanno portando avanti in varie operazioni del Piano di Sviluppo Rurale ma anche attraverso altri bandi con risorse esclusivamente regionali/ nazionali che hanno le medesime finalità, molte iniziative di sostegno e sviluppo che puntano a far sì che le aziende agricole si dotino di attrezzature, impianti e strutture in grado di migliorare le loro prestazioni ambientali. Peraltro, anche la politica regolatoria in primis quella specifica sui nitrati e sull’applicazione dell’omonima Direttiva insiste progressivamente da anni per contenere le perdite ammoniacali incentivando le pratiche agronomiche efficienti. La tecnica della fertirrigazione utilizzata e analizzata attraverso gli scenari del progetto Arimeda rende evidente ma soprattutto percorribile un concetto all’apparenza banale nella sua semplicità. Alle tecniche di irrigazione che sfruttano tecnologie impiantistiche che puntano a ridurre i consumi di acqua si può utilmente aggiungere la componente nutritiva normalmente apportata al campo da apposite distinte operazioni di distribuzione dei reflui zootecnici. Le tecniche di irrigazione della coltura unitamente alle basse concentrazioni ammoniacali e quindi alla stabilità chimica della soluzione fertirrigante fanno sì che l’operazione agronomica non rilasci né odori né emetta ammoniaca. È un doppio vantaggio di cui non si può non tenere conto.

Luca Zucchelli
Regione Lombardia
D.G. Agricoltura, Alimentazione e Sistemi Verdi

En la Comunidad Autónoma de Aragón, existe un gran desarrollo del sector porcino con una alta importancia económica, pero que implica la producción de grandes cantidades de purín de ganadería intensiva. La forma más sostenible e interesante de valorizar este tipo de estiércoles, es su aplicación a los cultivos como fertilizante. Tiene gran interés poder adaptar las aplicaciones de purín a los momentos de necesidad de nutrientes de los cultivos, para que el impacto ambiental por emisiones y lixiviaciones sea mínimo.

El desarrollo de las plantas, como en el caso del maíz, cultivo muy extendido en el regadío aragonés, complica o imposibilita la aplicación del purín por los sistemas tradicionales de distribución en parte del ciclo vegetativo cuando el cultivo esta crecido, en ese momento los agricultores se ven obligados a utilizar fertilizantes minerales, aunque dispongan de purines porcinos.

El proyecto LIFE ARIMEDA, desarrolla y analiza técnica y ambientalmente la aplicación del purín como fertilizante, con prácticas alternativas a las tradicionales, de forma que permite ampliar las dosis y los momentos de aplicación de estos estiércoles en los cultivos, de forma sostenible, minimizando los impactos sobre la emisión de amoníaco y la contaminación de las aguas por nitratos de origen agrario.

El desarrollo, la información y resultados del proyecto son importantes para lograr una adecuada transferencia al sector agroganadero por parte del Centro de Transferencia Agroalimentaria del Gobierno de Aragón, de los técnicos de las entidades y de los servicios de asesoramiento existentes. Es necesario disponer de los conocimientos necesarios para la implantación de la fertilización con purines mediante riego por aspersión y por goteo, conociendo sus ventajas, inconvenientes y adecuado manejo y esta publicación aporta información y conocimiento para una adecuada implementación.

Marta Vallés Pérez
Centro de Transferencia Agroalimentaria
Gobierno de Aragón

1

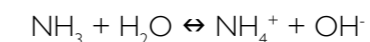
EL AMONIACO: FUENTES DE EMISIÓN E IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE, LA CALIDAD DE LOS ECOSISTEMAS Y LA SALUD HUMANA

GIORGIO PROVOLO
DOLORES QUÍLEZ
EVA HERRERO
ARTURO DAUDÉN
VIVIANA GUIDO

1.1 ¿QUÉ ES EL AMONIACO?

El amoníaco es un compuesto de nitrógeno e hidrógeno de fórmula NH_3 . Es incoloro, irritante y tóxico y tiene un distintivo olor acre. En presencia del oxígeno del aire, puede atacar el aluminio, el cobre, el níquel y sus aleaciones. Es una base débil en medio acuoso y reacciona con ácidos para formar sales de amonio.

Este compuesto es una de las formas reactivas del nitrógeno (N) y, como todas las formas reactivas, es escaso en el entorno natural. Su densidad es menor que la del aire y, por lo tanto, tiende a desplazarse hacia arriba cuando se produce. Es muy soluble en agua y en este estado se disocia en iones (NH_4^+ y OH^-):



El amoníaco disuelto se emite fácilmente a la atmósfera, mientras que su forma ionizada (NH_4^+) puede provocar eutrofización de las aguas. Los principales factores que afectan a su disociación son el pH y la temperatura (Figura 1.1.a). Cuando estos parámetros aumentan, también lo hace el porcentaje de amoníaco en forma libre (NH_3), siendo más probable que se produzca la emisión de NH_3 a la atmósfera.

La emisión efectiva del amoníaco está influenciada por la resistencia al movimiento del gas y las características de la superficie de intercambio entre el líquido y el aire. Otros factores que afectan a este proceso son la temperatura y la presión de vapor parcial sobre la superficie del líquido, que se reduce cuando la velocidad del viento aumenta (Figura 1.1.b).

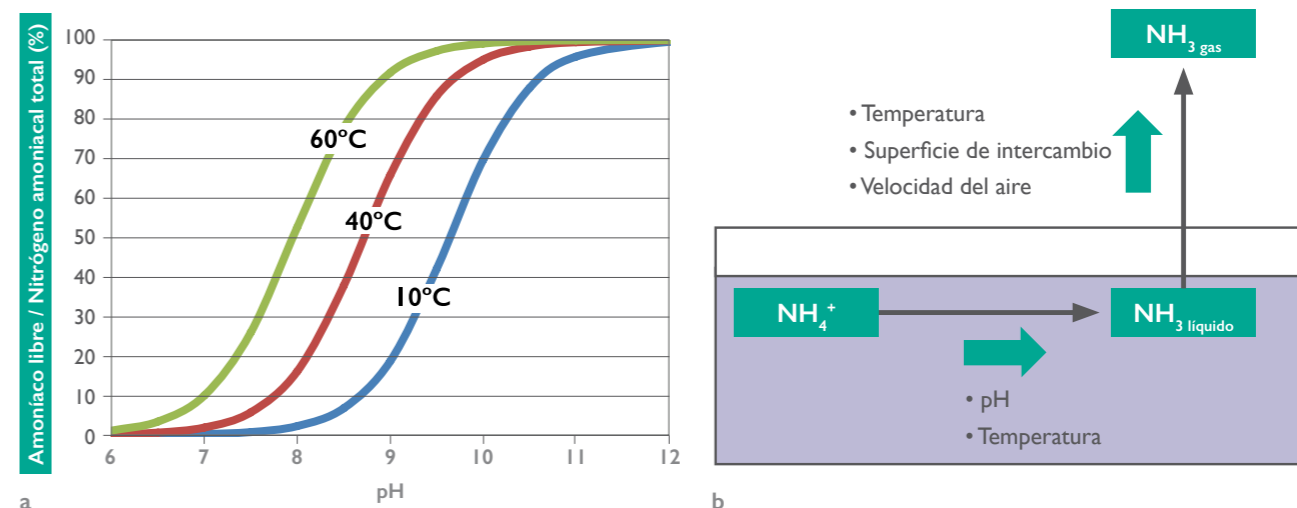
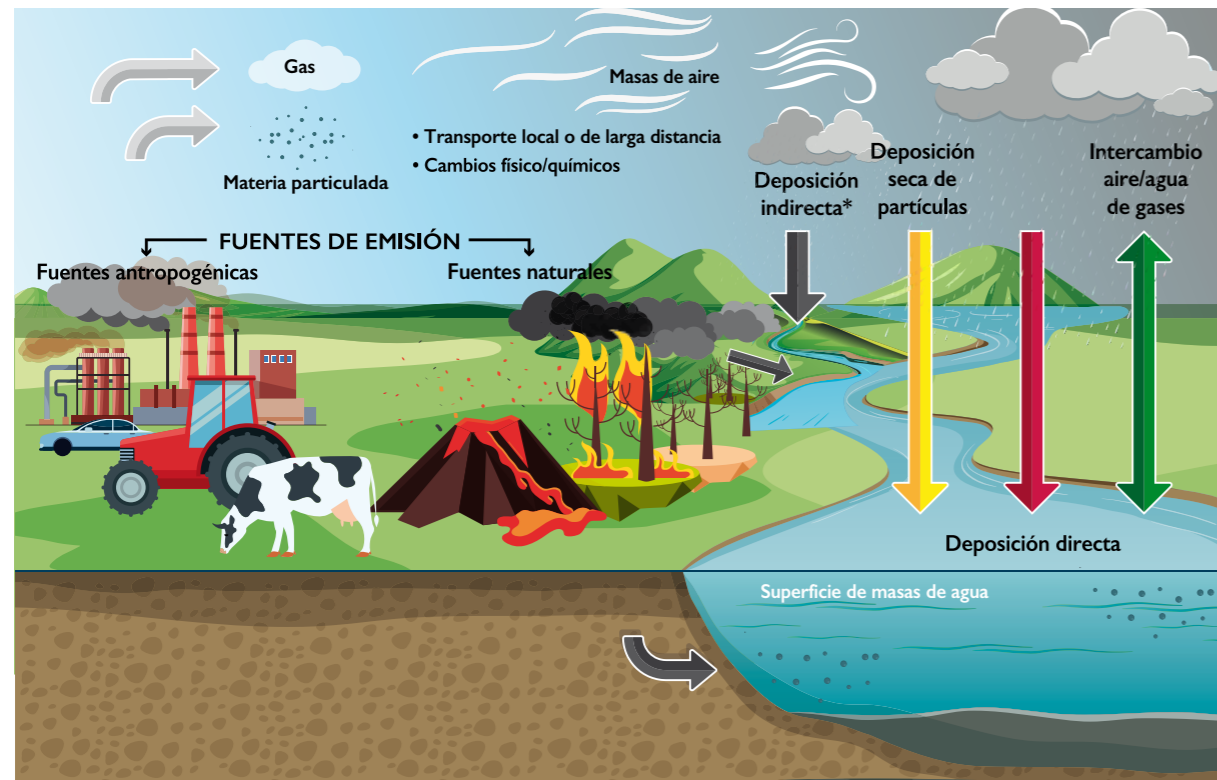


Figura 1.1. Factores que influyen en la disociación del amoníaco en agua y en el flujo de emisiones.

1.2 AMONIACO EN LA ATMÓSFERA

Cualquier compuesto que contenga nitrógeno en forma amoniacal (NH_4^+) puede liberar amoníaco (NH_3) al aire. Por tanto, sus fuentes de emisión son tanto naturales como antropogénicas. El NH_3 es transportado por el viento y desempeña un papel importante en la acidez de las precipitaciones y la formación de materia particulada en el aire (PM o aerosoles). El amoníaco y el amonio en la atmósfera sufren procesos de deposición húmeda y seca en áreas situadas en la dirección del viento predominante desde las fuentes de emisión. Todos estos procesos pueden ocasionar efectos adversos sobre el medio ambiente e importantes riesgos para la salud pública (Behera et al, 2013) (Figura 1.2).



* La deposición indirecta es la deposición directa en la tierra, seguida de la escorrentía o la percolación a través de las aguas subterráneas a una masa de agua superficial.

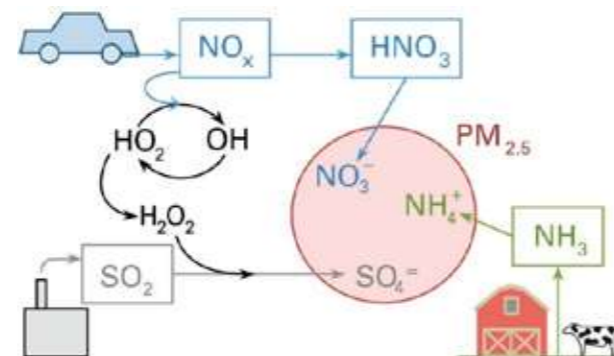
Figura 1.2. Emisiones a la atmósfera, transporte, transformación y deposición de gases (adaptado de Behera et al., 2013).

Las reacciones químicas que tienen lugar bajo la influencia de la luz solar y la presencia de otros compuestos en la atmósfera dan lugar a la formación de nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y ácido nítrico en fase gaseosa (HNO_3). El amoníaco y el amonio son las formas predominantes de N en las partículas de agua en las nubes, en la niebla y en las precipitaciones. El amoníaco reacciona rápidamente con los ácidos, produciendo sales de amonio y pequeñas partículas sólidas (los denominados aerosoles), como $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ o NH_4NO_3 (Figura 1.3). La formación de aerosoles determina las distancias a las que estos iones pueden ser transportados. La deposición seca es la deposición directa sobre el suelo, la vegetación o las masas de agua. Mientras que la mayor parte del amoníaco emitido se deposita a escasa distancia de la fuente emisora, en promedio el 50% en un entorno de 50 km. Los aerosoles pueden viajar a grandes distancias. Algunos estudios han encontrado más del 20% del amoníaco emitido por una fuente a una distancia de 1000 km (Ferm, 1998).

Figura 1.3. Mecanismos de formación de la materia particulada en la atmósfera.

Los gases y las partículas pueden llegar a la superficie terrestre también como deposición húmeda a través de la lluvia, depositándose sobre la vegetación, el suelo y el agua y a través de un tercer mecanismo denominado deposición oculta, que se relaciona con la incorporación de estos compuestos en gotas de niebla que llegan más tarde a la tierra.

Se puede estimar que la deposición seca contribuye con un 68% a la deposición total, la deposición húmeda con el 25-30% mientras que la deposición oculta solo con el 2%. Esta proporción puede variar significativamente dependiendo de las condiciones meteorológicas (Bobbink et al., 2013).



1.3 EFECTOS NEGATIVOS DE LAS EMISIONES DE AMONIACO

La deposición de amoníaco es perjudicial para los ecosistemas, ya que provoca su acidificación afectando a las comunidades vegetales. Además, este compuesto es un precursor de la formación de materia particulada de pequeño tamaño que tiene efectos adversos sobre la salud humana afectando a los sistemas respiratorio y cardiovascular y provocando muertes prematuras. El amoníaco también es un precursor de los óxidos de nitrógeno y puede ser, en determinadas situaciones, una fuente de óxido nítrico (N_2O), gas de potente efecto invernadero.

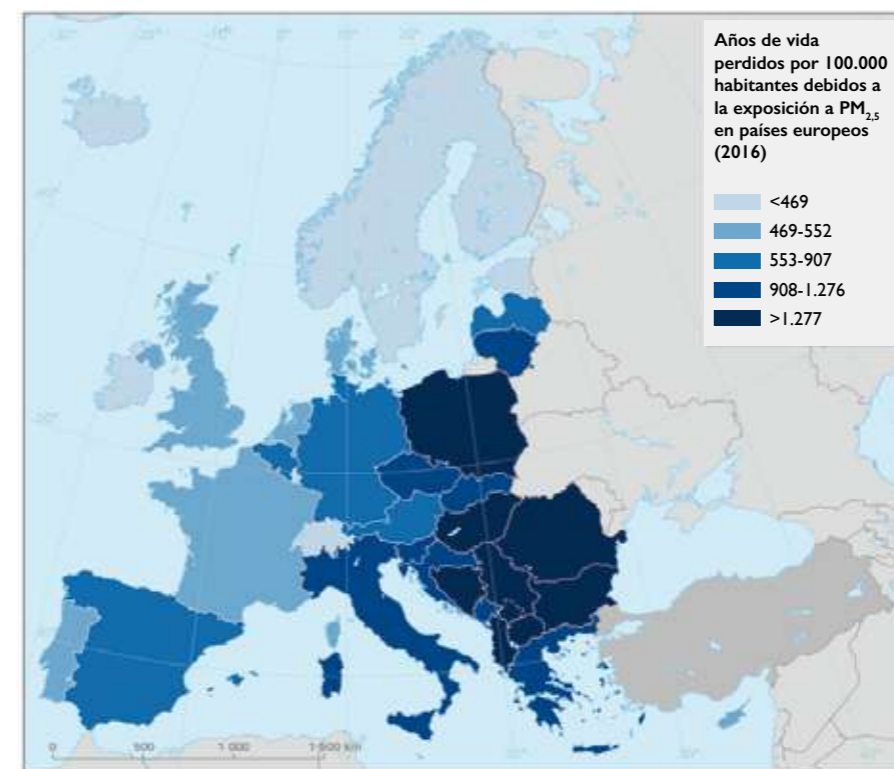
Materia particulada

La materia particulada fina de tamaño inferior a $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) o incluso por debajo de $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) contiene partículas inhalables que son lo suficientemente pequeñas como para penetrar la región torácica del sistema respiratorio. Los efectos negativos de estas partículas inhalables sobre la salud se deben a la exposición tanto a corto plazo (horas, días) como a largo plazo (meses, años) e

incluyen enfermedades respiratorias y cardiovasculares, con agravación de enfermedades asmáticas y síntomas respiratorios y un aumento de los ingresos hospitalarios.

Según la Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA, 2019), la exposición a largo plazo a $\text{PM}_{2.5}$ causa alrededor de 400.000 muertes prematuras al año en Europa. La exposición a largo plazo a $\text{PM}_{2.5}$ también se asocia con un aumento en el riesgo de mortalidad a causa de enfermedades cardiopulmonares, del 6 al 13% por cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de aumento de la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ en el aire (WHO, 2013).

La exposición a $\text{PM}_{2.5}$ reduce la esperanza de vida de la población en Europa en aproximadamente 8,6 meses (Figura 1.4). La esperanza de vida en las ciudades más contaminadas podría aumentarse en aproximadamente 20 meses si la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ a largo plazo se redujera a un nivel medio anual de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO, 2013).



Nota: AÑOS DE VIDA PERDIDOS. La clasificación de los valores en las leyendas de los mapas es por cuantiles, por lo que una quinta parte de los países entran en cada clase. Los cálculos se hacen para toda Europa y pueden diferir para estudios específicos a nivel de país.

Figura 1.4. Disminución de la esperanza de vida, años por 100.000 habitantes atribuibles a la exposición a materia particulada fina ($\text{PM}_{2.5}$) en países europeos en 2016 (EEA, 2019).

Acidificación

La acidificación es la pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra, en forma de ácidos, de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera. Se produce cuando las partículas en el aire se depositan en el suelo por la lluvia ácida, la nieve y la niebla. Aunque gases como el dióxido de azufre (SO_2) y los óxidos de nitrógeno (NO_x), en su mayoría producidos por la industria y el transporte, contribuyen a la formación de lluvia ácida y, posteriormente a la acidificación, el amoníaco juega un papel predominante, estimándose que es responsable del 24 % de la acidificación de los ecosistemas terrestres (Sarteel et al., 2016).

La lluvia ácida daña los bosques y la vegetación tanto directa como indirectamente. Directamente, porque los compuestos químicos disueltos en la lluvia ácida dañan las hojas y la corteza de los árboles y de la vegetación, dejándolos más vulnerables a las enfermedades y al daño que puedan causarles los insectos. Indirectamente, porque los compuestos químicos de la lluvia ácida cambian el pH del suelo, pudiendo afectar o destruir los microorganismos del suelo, o reaccionar con los nutrientes del suelo provocando que algunos se disuelvan y sean arrastrados por la lluvia antes de que puedan ser absorbidos por las plantas. Otro efecto indirecto de la lluvia ácida es la movilización de sustancias químicas nocivas, como el aluminio, que se liberan en el suelo y pueden dañar a la vegetación. El impacto de la lluvia ácida en cultivos es menos importante porque puede ser minimizado por la aplicación de cal y fertilizantes que corrigen el pH del suelo aumentándolo y reemplazan los nutrientes perdidos. Sin embargo, esto generalmente no es una opción para zonas no cultivadas como por ejemplo los bosques (Sarteel et al., 2016).

Eutrofización y biodiversidad

La deposición de amoníaco contribuye al enriquecimiento de nitrógeno de las masas de agua y, por lo tanto, puede ser una causa adicional de eutro-

fización, aunque la mayoría de los nutrientes que llegan a las aguas provienen de otras fuentes.

La eutrofización consiste en un sobreenriquecimiento progresivo del agua por nutrientes, lo que resulta en una producción biológica creciente que conduce a una proliferación excesiva de algas y plantas; tanto algas microscópicas (fitoplancton y diatomeas), como algas filamentosas, algas macroscópicas y plantas superiores. Su descomposición por parte de las bacterias consume el oxígeno disuelto en el agua, produce malos olores y puede llegar a provocar la muerte de los peces. Además, el enriquecimiento de nutrientes puede desencadenar la proliferación de una gran variedad de algas tóxicas. La eutrofización ocurre naturalmente en masas de agua donde se han descargado nutrientes poco a poco durante largos periodos de tiempo, pero se ve acrecentada por el vertido de drenajes con alto contenido en nutrientes provenientes de zonas de cultivo fertilizadas en exceso por la descarga de aguas residuales.

En las áreas potencialmente afectadas, el riesgo de eutrofización aumenta con la temperatura, con una alta disponibilidad de luz y en aguas tranquilas. Esto explica por qué la eutrofización afecta a las aguas superficiales, desde lagos y ríos hasta lagunas salinas y aguas costeras.

A través de la contaminación del agua y la alteración del equilibrio entre las comunidades bióticas, la eutrofización representa una amenaza directa para la salud pública (por ejemplo, al afectar a la potabilidad del agua) y para la biodiversidad (por ejemplo, al provocar la extinción de ciertas poblaciones o mediante el desarrollo de especies invasoras mejor adaptadas al alto contenido de nutrientes). También afecta a sectores económicos clave, como la pesca y el turismo, debido a los malos olores, los paisajes deteriorados y la restricción de las actividades económicas y recreativas de alto nivel socioeconómico como la pesca (Sarteel et al., 2016).

1.4 FUENTES DE EMISIÓN DE AMONIACO

En Europa, el informe publicado por Naciones Unidas (UNECE, 2021) indica que las emisiones de amoníaco son relevantes y que sus fuentes se concentran principalmente en zonas de producción agrícola intensiva (Figura 1.5). En este informe, las principales fuentes identificadas para las emisiones de NH_3 son la producción ganadera (incluyendo la gestión de los estiércoles y purines) con una contribución del 70% y el uso de fertilizantes sintéticos con cerca del 20%.

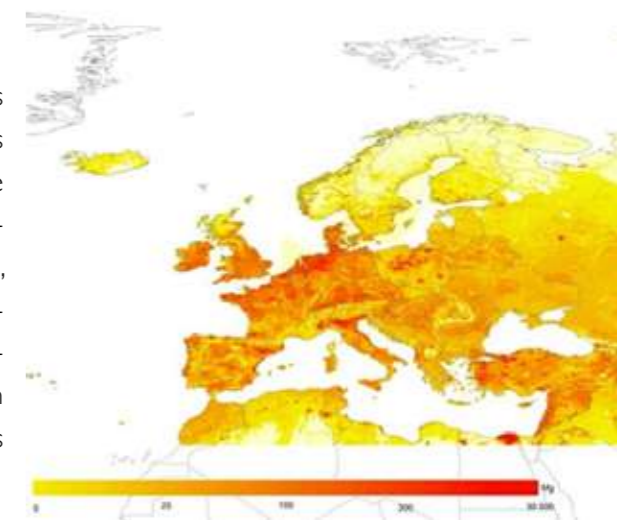
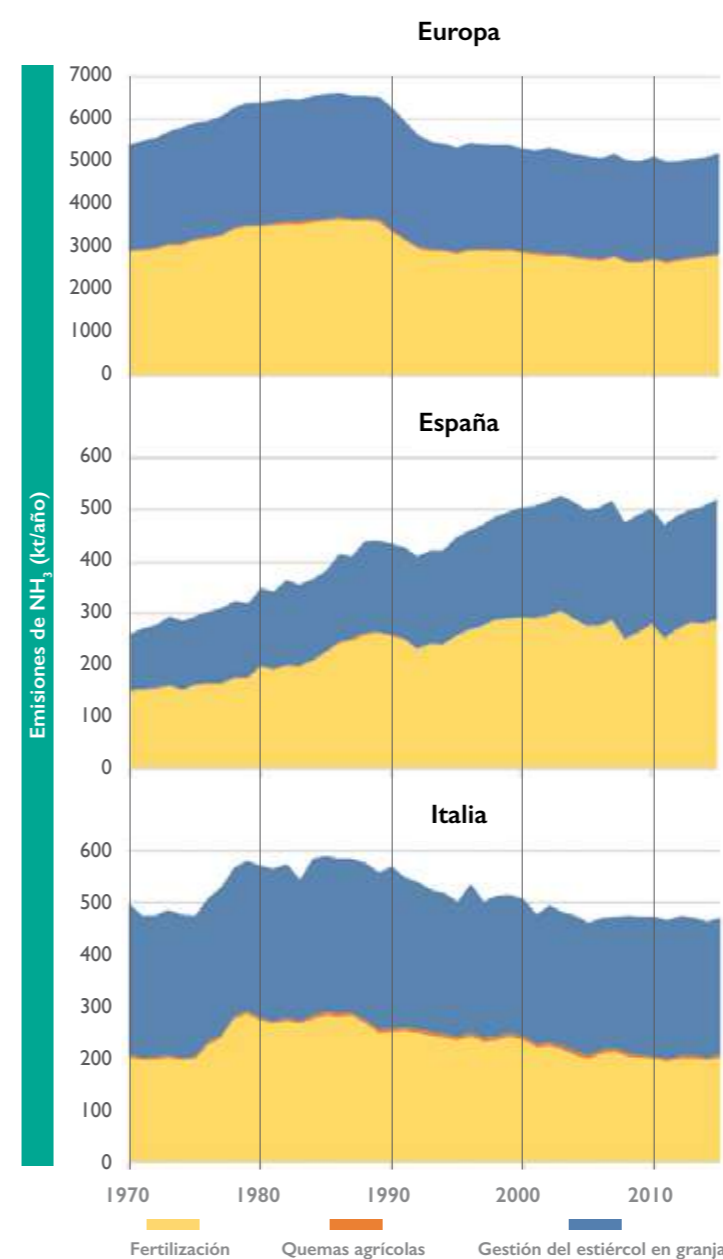


Figura 1.5. Emisiones de amoníaco en Europa en kg NH_3 por km^2 2017 (UNECE, 2021).



En los últimos años, la producción animal se ha incrementado considerablemente debido a una mayor demanda de carne y leche para consumo humano, lo que ha dado lugar a un rápido aumento del número de cabezas de ganado. Entre 1960 y 2000, la población humana se duplicó, mientras que, durante el mismo periodo, el número de animales se triplicó (Behera et al., 2013).

Las dos fuentes principales de emisión son la fertilización de los cultivos y las granjas ganaderas (Figura 1.6). En Europa se observa una tendencia general de descenso de las emisiones de amoníaco producidas a partir de 1995, sin embargo, se observa un ligero aumento en los últimos años de la serie temporal al que se debe prestar atención.

Figura 1.6. Evolución de las emisiones de amoníaco a la atmósfera por sector emisor en Europa, España e Italia (datos procedentes de EDGARv4.1, 2021).

A nivel de país, las tendencias pueden ser muy diferentes. Así, en España se observa un marcado aumento en las emisiones de amoníaco debido principalmente a un incremento en el número de cabezas de ganado, pero también a un aumento del consumo de fertilizantes minerales (Eurostat, 2021), mientras que en Italia las emisiones de las granjas se mantienen casi constantes y la reducción de las emisiones podría atribuirse a un mejor manejo de los fertilizantes (Figura 1.6).

Las emisiones de la producción ganadera proceden aproximadamente en un 50% de la producción bovina, 30% de la porcina y 20% de la avícola (Figura 1.7). El origen de estas emisiones se distribuye entre las siguientes etapas: naves de alojamiento de los animales (40%), almacenamiento de estiércoles y purines en granja (20%), aplicación al campo (35%) y pastoreo (5%). Estas fuentes de emisión no son independientes entre sí. Por ejemplo, un buen manejo en el alojamiento de los animales reduce las pérdidas de nitrógeno y mantiene una mayor

concentración de nitrógeno en el purín o estiércol que sale de las naves. La cobertura de las balsas de almacenamiento tiene el mismo efecto, ya que se reducen las pérdidas de N a la atmósfera. Este aumento en la concentración de nitrógeno podría derivar en unas mayores emisiones de amoníaco durante la aplicación de estos estiércoles o purines a las parcelas agrícolas. Por lo tanto, la utilización de técnicas de aplicación al campo de bajas emisiones es una piedra angular dentro de una estrategia eficaz para la reducción de las emisiones de amoníaco asociadas a la ganadería, que lleve a un aprovechamiento eficiente de los nutrientes. Las técnicas de fertirriego demostradas en el proyecto LIFE ARIMEDA pueden contribuir significativamente a la reducción de las emisiones de amoníaco en esta etapa de aplicación al campo. Sin embargo, es imprescindible abordar una gestión integral de las emisiones teniendo en cuenta todos los posibles efectos cascada de las prácticas implementadas en etapas anteriores del sistema de gestión de estiércoles y purines, que lleven a adoptar las mejores técnicas en cada una de ellas.

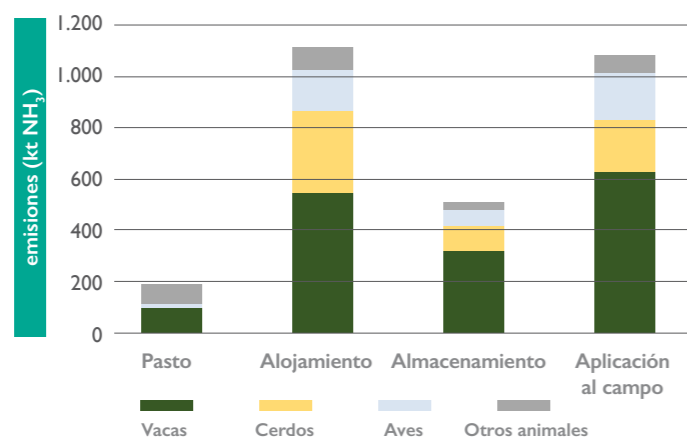


Figura 1.7. Emisiones de amoníaco (NH₃) de la ganadería derivadas de las diferentes etapas de la cadena de gestión del estiércol (IIASA, 2017).

REFERENCIAS

Behera, S.N., Sharma, M., Aneja, V.P., Balasubramanian, R. 2013. Ammonia in the atmosphere: a review on emission sources, atmospheric chemistry and deposition on terrestrial bodies. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 20(11) 8092-131.

Bobbink, R., Bal, D., Dobben, H.F., Jansen, A., Nijssen, M., Siepel, H., Schaminée, J., Smits, N., Vries, W. 2013. The effects of nitrogen deposition on the structure and functioning of ecosystems.

EEA, 2019. The European environment - state and outlook 2020. Knowledge for transition to a sustainable Europe. European Environment Agency, Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-9480-090-9. doi: 10.2800/96749.

Eurostat, 2021.

Ferm, M. 1998. Atmospheric ammonia and ammonium transport in Europe and critical loads: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51, 5–17.

IIASA, 2017. Measures to address air pollution from agricultural sources, European commission contract SR11- ENV.C.3/FRA/2013/00131, International Institute for Applied Systems Analysis.

Sarteel M., Tostivint C., Landowski A., Basset C., Muehmel K., Lockwood S., Ding H., Oudet N., Mudgal S., Cherrier V., Grebot B., Naumann S., Dooley E., Lukat E., Freluh-Larsen A., Wunder S., Carter M.S., Ambus P., Provolò G., Koeijer T.D., Linderhof V., Michels R. 2016. Resource efficiency in practice: closing mineral cycles: final report. Luxembourg: European Commission, Directorate-General for the Environment. ISBN 9789279582387. doi:10.2779/710012.

UNECE, 2021. Assessment Report on Ammonia. Economic Commission for Europe Executive Body for the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution Working Group on Strategies and Review.

WHO, 2013. Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE Project: recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.

2

LA AGRICULTURA EN LAS REGIONES MEDITERRÁNEAS: HACIA UN MODELO CIRCULAR DE NUTRIENTES Y EL PAPEL DE LAS PRÁCTICAS DE FERTIRRIGACIÓN

MARÍA BALCELLS
DOLORES QUÍLEZ
EVA HERRERO
FLAVIO SOMMARIVA
GIORGIO PROVOLO

2.1 INTRODUCCIÓN

Los países de la Cuenca Mediterránea se caracterizan por la producción de los productos llamados mediterráneos, como el aceite de oliva, el vino y las frutas y hortalizas. Las regiones tienen unas características bioclimáticas similares con unas bajas producciones agrícolas en general debido a la escasez de agua, pero con una alta capacidad potencial de producción donde existen regadíos. Las explotaciones agrarias son en su mayoría de carácter familiar, pero las estructuras agrarias presentan una gran diversidad en los distintos países (CIHEAM, 2010). En las zonas mediterráneas de Europa (Italia, Grecia, España) se han implementado grandes superficies en riego que han cambiado la agricultura tradicional por otra más competitiva basada en cultivos extensivos de mayor valor añadido (maíz, alfalfa) y de cultivos de fruta dulce. En la ganadería también ha habido una transformación importante con un cambio desde una ganadería extensiva basada en el ovino y algo de vacuno a una producción más intensiva de vacuno y porcino, que ha crecido de forma vertiginosa en los últimos años.

Los cultivos implantados en los regadíos de estas zonas tienen una alta capacidad de producción y asociada a ella unas necesidades de fertilización elevadas; así el uso de fertilizantes sintéticos ha ido aumentando conforme la superficie en regadío se veía incrementada. La práctica tradicional del uso de las deyecciones ganaderas como un buen fertilizante orgánico se ha ido dejando de lado, sustituyendo estas por fertilizantes químicos debido a su facilidad de manejo y aplicación. Esto ha dificultado en muchas zonas una buena gestión de los nutrientes contenidos en los purines y estiércoles. Ya en el año 2006 se estimó que en algunas regiones de la cuenca mediterránea la cantidad de N contenido en las deyecciones animales era suficiente para la fertilización de todos los cultivos existentes (Orús y Sin, 2006), sin embargo, el consumo de fertilizantes nitrogenados aumenta progresivamente y con ello el exceso de N en los sistemas agrarios, generando importantes emisiones difusas de nutrientes tanto a la atmósfera como hacia los cursos de agua.

La reducción de las emisiones de amoníaco (aprox. 95% de ellas asociadas a la producción agraria) y gases de efecto invernadero a la atmósfera y la reducción de la contaminación de las aguas por nitrato son dos aspectos claves de la política europea, contemplados dentro del pacto verde europeo que tiene como uno de sus objetivos para 2030 la reducción de las pérdidas de nutrientes en un 50% sin disminuir la fertilidad de los suelos a través de la reducción del uso de los fertilizantes en un 20%. Dentro de este esquema el reciclaje eficiente de nutrientes es esencial y las técnicas de fertirriego desarrolladas y puestas a punto en el proyecto LIFE ARIMEDA están llamadas a tener un desarrollo exponencial en zonas con una elevada producción ganadera y con grandes superficies de regadío ya que son relativamente fáciles de implementar; aumentan el retorno económico de las explotaciones, reducen las emisiones de amoníaco a la atmósfera, permiten sustituir el fertilizante sintético por purín a lo largo de todo el ciclo del cultivo y permiten reducir las dosis de nitrógeno distribuyendo la aplicación a lo largo de todo el ciclo de desarrollo de los cultivos.

Se presentan las características del sector agroganadero en las dos zonas (Aragón y Lombardía) donde se ha desarrollado el proyecto LIFE ARIMEDA y las perspectivas de aplicación de las técnicas de fertirrigación desarrolladas en el contexto de cada una de las regiones.

2.2 EL CASO DE ARAGÓN (ESPAÑA)

2.2.1. INTRODUCCIÓN

En los últimos 10 años la Producción Final Agraria en Aragón (PFA, valor de las producciones de los agricultores y ganaderos a precio de salida de los productos de sus explotaciones) se ha incrementado hasta alcanzar los 4,5 millones € en el año 2020. La producción final agrícola se ha mantenido más o menos constante en este periodo mientras que la producción final ganadera se ha incrementado de forma constante debido sobre todo a las explotaciones intensivas, básicamente el sector porcino (Figura 2.1). En el año 2020 el porcino representó un 68% de la producción final ganadera y un 43% de la producción final agraria. Por importancia de los diferentes sectores, los más relevantes seguidos del porcino son, los cereales con el 13,4 %, los frutales con el 10,4 %, y el bovino de carne con el 8,8 %. En el otro extremo, se halla un sector muy emblemático y tradicional para Aragón como el ovino, que apenas alcanza el 2% de esta PFA y que, sin embargo, tiene un papel esencial en el mantenimiento del medio ambiente y de la población del medio rural.

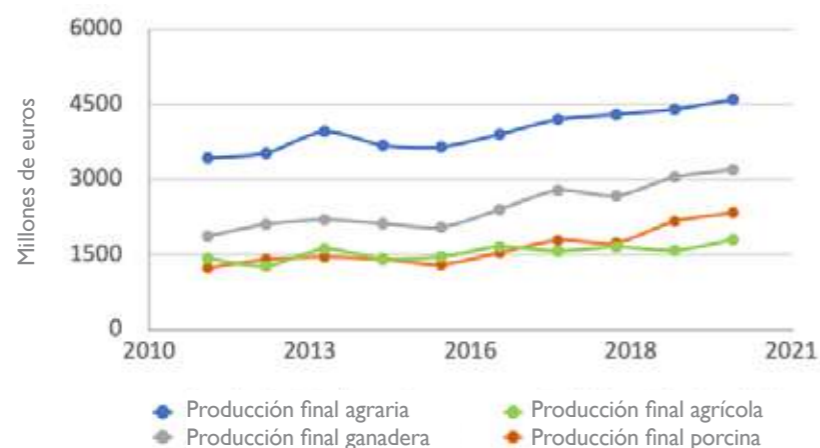


Figura 2.1. Evolución de la Producción final Agraria, Producción Agrícola, Producción ganadera y Producción porcina en Aragón.

Aragón lidera el ranking nacional en producción de ganado porcino con algo más de 4.000 explotaciones ganaderas, y un total de 8.907.098 plazas en 2021, que produjeron 11.793.970 m³ de purín porcino (Gobierno de Aragón, 2022).

Aragón es además la cuarta Comunidad Autónoma de España con una mayor superficie de regadío (413.482 ha, el 11% del total del regadío español), solo superada por Andalucía, Castilla la Mancha y Castilla y León. El regadío se extiende sobre todo en la margen izquierda del Ebro con grandes sistemas de riego (Figura 2.2) gestionados desde Comuni-

dades de regantes como las de Bardenas (88.000 ha), Riegos del Alto Aragón (130.000 ha) o Canal de Aragón y Cataluña (100.000 ha) y se riegan con aguas de buena calidad procedentes de los embalses pirenaicos. Los regadíos de la margen derecha son más pequeños y en muchos casos se riegan con aguas subterráneas. Las aguas de riego de estas zonas son de peor calidad con un contenido más alto de sales.

Los principales cultivos en regadío son los cereales de invierno, seguidos de la alfalfa y el maíz (Figura 2.3). La combinación de estas dos circunstancias, alto

número de granjas de porcino y gran superficie de regadío, ponen de manifiesto la necesidad de llevar a cabo una agricultura responsable con el medio ambiente, buscando soluciones innovadoras que permitan maximizar el rendimiento de las explotaciones y minimizar las pérdidas de nitrógeno y otros nutrientes a la atmósfera y hacia los cauces de agua.

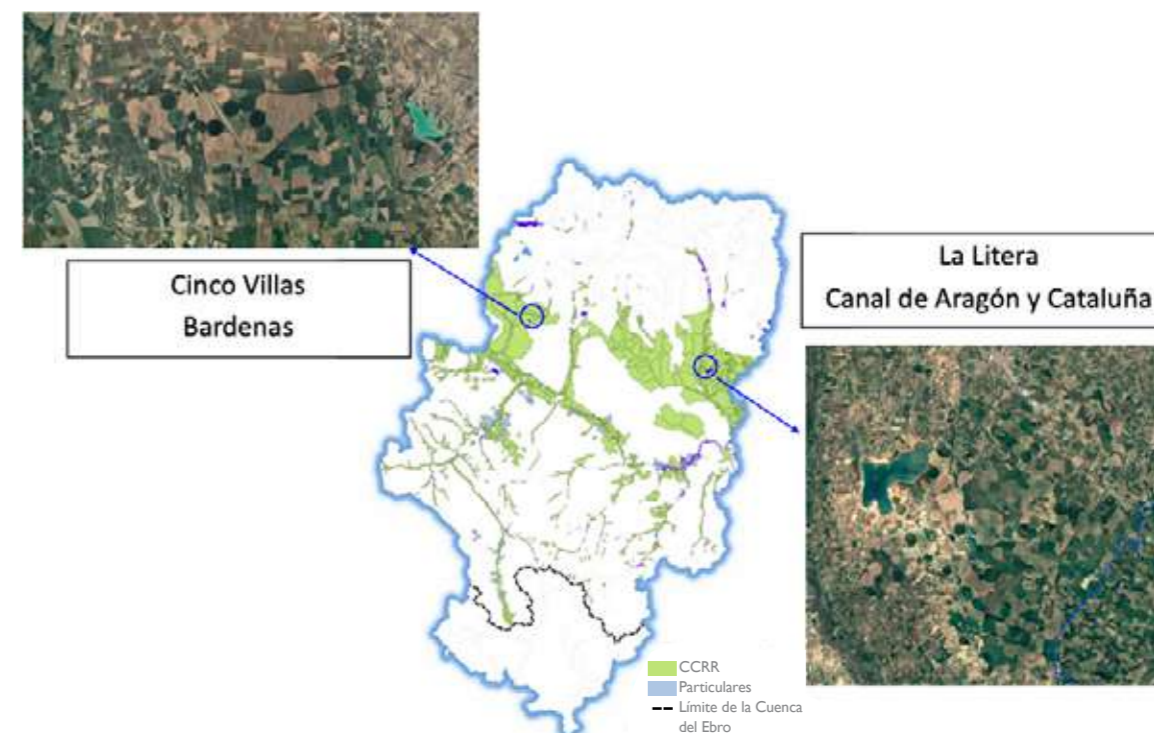
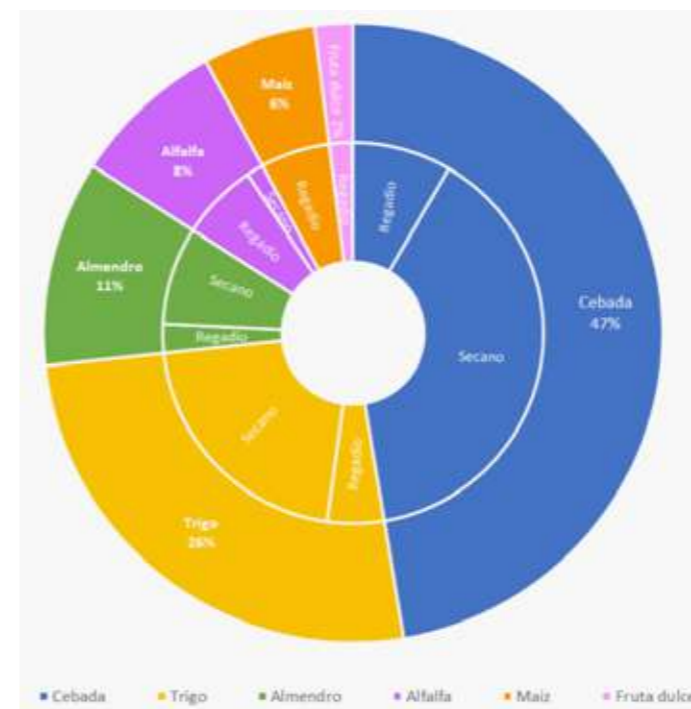


Figura 2.2. Distribución de los regadíos en Aragón, con detalle de dos zonas donde predomina el riego con pivots. (Zapata et al., 2020).

2.2.2. SISTEMAS DE RIEGO



En Aragón el sistema de riego predominante es el riego por gravedad (185.849 ha, 44,94%), aunque este sistema de riego viene experimentando un descenso durante los últimos diez años. Por otro lado, la superficie de riego por aspersión es la que más ha crecido en términos absolutos en la última década (38.601 nuevas hectáreas) ya que todas las nuevas transformaciones a regadío se ejecutan en riego a presión y además se han realizado importantes inversiones para transformar el riego por gravedad en riego a presión (modernización de regadíos). El riego localizado también ha incrementado significativamente su extensión con

Figura 2.3. Principales cultivos regados en Aragón en el año 2020 (Fuente, MAPA, 2020).

un aumento importante de la superficie de cultivos leñosos (almendro, olivo, vid, nogal) donde se utiliza este sistema de riego localizado. Sin embargo, este sistema de riego no se utiliza en cultivos extensivos salvo en situaciones excepcionales (Figura 2.4). La superficie de riego automotriz (pívots y maquinas laterales básicamente), ha aumentado ligeramente, pero sin experimentar un incremento paralelo al de la superficie de aspersión. El riego automotriz suponía en el año 2020 un 22% de la superficie regada bajo riego presurizado (34.408 ha, MAPA,

2020). Las superficies con riego por pívot se encuentran distribuidas por todo el territorio de Aragón, como puede observarse en las imágenes de satélite de la Figura 2.2 se focalizan en las zonas de riego de Bardenas y del Canal de Aragón y Cataluña. En estas dos zonas se implementaron las parcelas demostrativas del proyecto por la óptima posibilidad de transferencia que ofrecían sus regadíos. Los regadíos modernizados a presión y los nuevos regadíos están muy tecnificados en la gestión del riego.

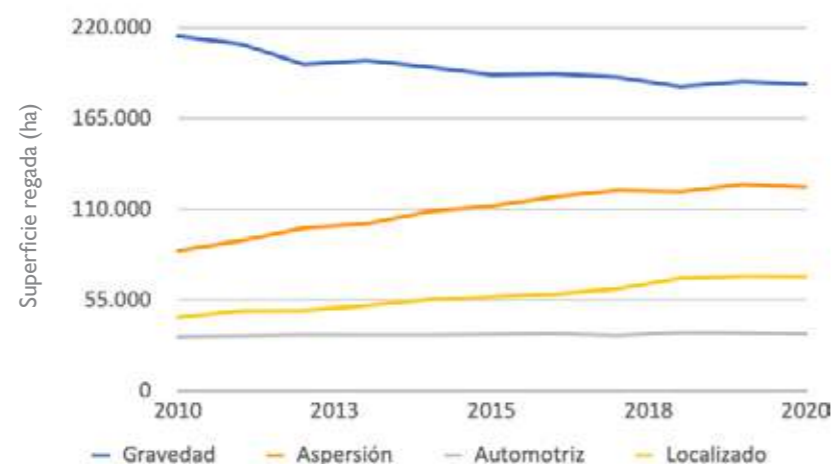


Figura 2.4. Evolución de la superficie regada en Aragón (2010-2020) mediante los distintos sistemas de riego. (Fuente: MAPA, 2020).

2.2.3 EXPLOTACIONES GANADERAS Y FERTILIZACIÓN DE LOS CULTIVOS

En Aragón se ha producido un desarrollo muy grande de la producción porcina intensiva en los últimos 20 años siendo en estos momentos la región europea con un mayor número de plazas de porcino (cerca de 9 millones). Este aumento se ha producido de dos formas: bien con la instalación de nuevas granjas o con la ampliación de las granjas ya existentes; de una forma o de otra se ha producido una concentración de granjas en zonas específicas del territorio aragonés. Este hecho ha llevado a la declaración de zonas con sobrecarga ganadera por exceso de nitrógeno de origen orgánico procedente de la actividad ganadera a 11 municipios de Aragón (Orden DRS/333/2019) y en muchos otros existen normativas que limitan la expansión de la ganadería. En las zonas con sobrecarga ganadera se produce más nitrógeno del que se puede aplicar a los cultivos lo que crea problemas en su gestión y con frecuencia se produce la sobrefertilización que deriva en emisiones y contaminación, con la consiguiente pérdida además del valor fertilizante de los purines producidos.

Por otro lado, un aspecto importante y positivo es que la concentración de granjas en zonas específicas ha fomentado la creación de negocios basados en la gestión colectiva de los estiércoles y purines. Estos centros gestores que disponen de equipos de mayor tamaño y más eficientes y uniformes en la aplicación, se encargan de la distribución del purín desde las balsas de las granjas a los campos de cultivo, maximizando la eficacia

en el reciclaje, y distribuyendo los costes de la gestión del purín entre el ganadero que lo produce y el agricultor que lo utiliza.

Aunque se utilizan cada vez más los purines y estiércoles en la fertilización de los cultivos, dada la gran cantidad disponible, la compra de productos fertilizantes inorgánicos es también muy alta. Por un lado, se observa un aumento importante de la producción de purines, actualmente superando los 11 millones

de m³/año (Figura 2.5) que equivalen a aproximadamente 65.000 t N/año y por otro lado un aumento de la venta de productos fertilizantes, que en el año 2020 ascendió a cerca de 136.811 t N con un aumento del 36% entre 2016 y 2020 (Tabla 2.1). No es de extrañar que el último balance de Nitrógeno realizado por el MAPA muestre un exceso de N de 22,5 kg N/ha para todo el territorio de Aragón (MAPA, 2018).



Figura 2.5. Número de plazas de porcino y producción de purín (m³/año).

Tabla 2.1. Consumo de fertilizantes inorgánicos en Aragón (Fuente: ANFFE Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes, 2022).

	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020
Abonos nitrogenados (t N)	99.978	103.706	143.834	132.769	136.811
Abonos potásicos (t K ₂ O)	33.593	39.377	42.011	34.662	35.337
Abonos fosfatados (t P ₂ O ₅)	43.570	56.696	54.608	60.190	65.610

Hay algunos factores que pueden ayudar a mejorar la gestión de los purines de porcino y a valorarlos como un buen fertilizante en Aragón. La implantación de centros gestores de estiércoles y purines en el territorio que se responsabilizan de la correcta gestión del N orgánico con una trazabilidad total de los trabajos realizados se consideran un aspecto clave para mejorar la gestión de los purines. Estos centros venden la aplicación del purín como un servicio de fertilización y se encargan de que las cantidades sean las requeridas por el cultivo en el momento adecuado y siguiendo las normativas existentes.

Por otro lado, y a una escala menor hay que considerar que en los últimos años con la puesta en marcha de las modernizaciones de los regadíos y el cambio del riego por inundación a riego a presión (tanto aspersión como pívot) muchos agricultores del valle medio del Ebro se han decidido a cambiar a las prácticas de las dobles cosechas, cultivando cebada, trigo, raygrass o una leguminosa como el guisante en invierno-primavera, seguido de un maíz de ciclo más corto del habitual en verano. Esta práctica se ha extendido para aumentar

los ingresos y poder amortizar las inversiones realizadas en la modernización, pero también implica un aumento de las necesidades de N de los cultivos que permitiría un mayor y más eficiente reciclaje de los nutrientes contenidos en los purines producidos.

Hay algunas limitaciones en la gestión de los purines como fertilizante relacionadas con las técnicas de aplicación que se utilizan habitualmente. El purín solo se puede aplicar cuando es posible entrar al campo con maquinaria pesada, es decir se puede aplicar sobre el suelo desnudo antes de sembrar o con el cultivo al inicio de su desarrollo, por ejemplo, en la cobertera de los cultivos de invierno. Sin embargo, no se puede aplicar cuando el cultivo está ya crecido, lo que obliga a utilizar fertilizantes sintéticos incluso cuando hay purines disponibles y sean más baratos. En este sentido las técnicas de fertirriego desarrolladas permiten fertilizar a lo largo de todo el ciclo del cultivo y pueden sustituir al fertilizante sintético en todo momento, ya que no es necesario entrar al campo para su aplicación. En los ensayos realizados en el proyecto ha sido posible fertilizar el cultivo del maíz únicamente con fracción líquida de purín obteniendo rendimientos satisfactorios y reduciendo las dosis de N aplicadas y la compra de fertilizantes sintéticos.

En los regadíos de Aragón hay más de 35.000 ha regadas por pívots que podrían beneficiarse del sistema de fertirriego. En el caso de la aspersión con coberturas hay 125.000 ha donde también se podría aplicar la fertirrigación (aunque en el proyecto ARIMEDA no se ha medido la reducción de emisiones de amoníaco que se conseguiría en este sistema). Las técnicas de fertirriego pueden aplicarse fácilmente en granjas con campos de cultivo (en aspersión o pívot) cercanos que puedan conectarse a través de una tubería a la balsa de almacenamiento (evitando el transporte del purín con camión o cuba). Solo se necesita la inversión en un equipo de separación, que para el riego en aspersión no necesita ser sofisticado por el tamaño de partículas que hay que filtrar (<500 µm), y una bomba de inyección. Si el pívot no se encuentra cerca de la granja y es nece-

sario transportar el purín con camiones o cisternas, sería necesario instalar un sistema de almacenamiento en el campo y los centros gestores podrían jugar un papel relevante en la separación y el transporte del purín, considerando que la superficie de los pívots suele ser grande y es necesario mover un gran volumen de purín filtrado.

El riego por goteo está muy extendido para cultivos hortícolas y leñosos (más de 40.000 ha) pero no es habitual en cultivos extensivos (MAPA, 2020). Por otro lado, el proceso de separación es más demandante que en el riego por aspersión y son necesarios dos separadores para obtener una fracción líquida adecuada, ya que con un solo separador no es posible llegar a tamaños de partículas admisibles en el riego por goteo por debajo de 100µm.

Se considera que las técnicas de fertirriego tiene posibilidad de ser utilizados en una parte importante de la superficie en riego por aspersión en Aragón sobre todo en las parcelas cercanas a las granjas, la instalación del fertirriego y la fertilización únicamente con la fracción líquida obtenida en la separación mejoraría el reciclaje de nutrientes de los purines, sustituiría una parte de los fertilizantes sintéticos con un coste más barato, disminuiría las emisiones de amoníaco a la atmósfera y ayudaría a ajustar los balances de N en el sistema disminuyendo los excesos de N existentes actualmente. Los agricultores de la zona están muy interesados en el desarrollo y aplicación de las técnicas de fertirriego utilizando el purín de sus explotaciones. Sin embargo, es necesario hacer un esfuerzo importante para mejorar las diferentes normativas que limitan la cantidad de deyecciones animales que se pueden aplicar en los campos agrícolas, generando información robusta que ayude a un mejor reciclaje de los nutrientes contenidos en estiércoles y purines.

2.3 EL CASO DE LOMBARDÍA (ITALIA)

2.3.1. INTRODUCCIÓN

La ganadería lombarda es reconocida internacionalmente por su excelencia en la producción de carne, leche y productos derivados de las mismas. En la Región de Lombardía la estructura ganadera está ligada principalmente a un sistema productivo que se basa en el binomio de cultivos intensivos de cereales-forrajes y la ganadería intensiva con una alta carga por unidad de superficie.

Este modo de ganadería conlleva una importante responsabilidad en la contaminación difusa de las aguas superficiales y subterráneas debido al uso agronómico de fertilizantes, estiércoles animales y digerido. En los últimos años, también se ha destacado la relación entre la gestión de efluentes y la calidad del aire. De hecho, son significativas las emisiones de amoníaco y destacables las emisiones de gases de efecto invernadero (óxido nitroso y metano).

El objetivo del proyecto LIFE ARIMEDA ha sido proponer un sistema adecuado de gestión de las deyecciones ganaderas mediante fertirrigación, con el fin de aumentar la eficiencia en el uso del nitrógeno y reducir las emisiones de amoníaco a la atmósfera.

2.3.2 SISTEMA DE RIEGO

Los datos del Instituto Nacional de Estadística del “Censo de Agricultura de 2010” muestran, para la región de Lombardía, una superficie de regadío caracterizada por una gran disponibilidad de agua, especialmente en la zona de las llanuras. Aunque no se presentan problemas de abastecimiento, el agua es un bien que no debe desperdiciarse, por ello es importante diseñar e implantar sistemas que puedan mejorar el uso del agua en los sistemas de riego de Lombardía.

La distribución territorial de las técnicas de riego adoptadas sigue una especificidad zonal, en la llanura central y en la llanura de Pavía predomina la técnica de riego por surcos y por inundación, representando más del 70% de la superficie regada. Los arrozales del oeste permanecen inundados, mientras que el riego por aspersión se extiende principalmente en la zona oriental de Mantua y Brescia. El goteo (microirrigación), por otro lado, se adopta actualmente en algunas zonas muy concretas.

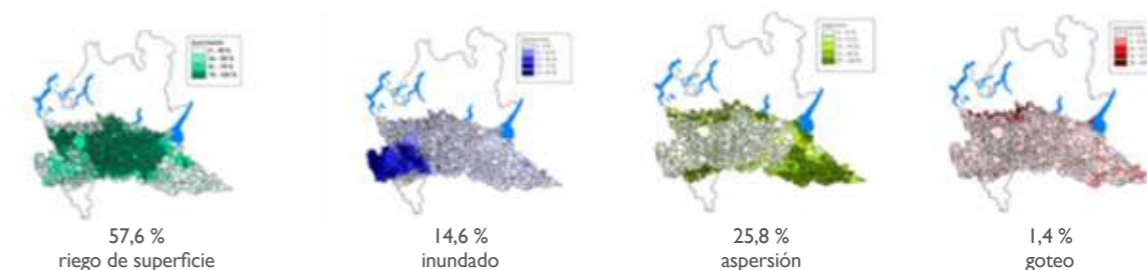


Figura 2.6. Distribución de los distintos sistemas de riego en Lombardía.

Las técnicas descritas difieren en el uso de agua, energía, mano de obra, capital, la posibilidad de automatización y la adaptabilidad a ciertos tipos de suelo.

Una cuestión clave que debe tenerse en cuenta es la eficiencia de los diferentes métodos de riego, que normalmente se calcula como el volumen de riego evapotranspirado por los cultivos. Como es fácil de adivinar, la eficiencia del sistema de inundación es muy baja y aumenta de acuerdo con la precisión del método adoptado, siendo el goteo el que presenta como media eficiencias más altas.

Tabla 2.2. Eficiencia de los distintos sistemas de riego.

Eficiencia	Riego por inundación	Riego por aspersión	Riego por goteo
Potencial (%)	60-80	75-90	90-95
Efectiva (%)	30-80	50-80	65-90

2.3.3 FERTILIZACIÓN

A lo largo de los años el aporte de materia orgánica con los estiércoles animales ha sido objeto de discusión. Históricamente se veía como una riqueza para la fertilidad del suelo, sin embargo, este concepto se ha ido atenuando cada vez más. En los últimos años, la evolución de la tecnología y la sostenibilidad económica de la producción porcina han llevado a un aumento de la concentración de granjas en las llanuras del sur de Lombardía, y ha puesto el foco de atención en el manejo del estiércol, que debe ser gestionado de forma adecuada para no causar problemas ambientales. Por lo tanto, el uso de las deyecciones animales, brutas o digeridas después de un proceso de digestión anaerobia, basado en una gestión eficaz es fundamental para un correcto suministro de nutrientes en el campo evitando la afección al medio ambiente.

En la Figura 2.7 se presentan las pérdidas de eficiencia de los purines y del digerido según distintas técnicas de distribución en campo: abanico, abanico con enterrado a las 24 horas, tubos colgantes, tubos con zapatas, inyección en surcos abiertos, inyección en surcos cerrados y fertiriego. A medida que se han ido mejorando las técnicas de aplicación, las emisiones de amoníaco contenido en los purines y digeridos disminuyen (hacia la derecha), consecuentemente hay un aumento en la eficiencia del uso del nitrógeno, asegurando así una mayor disponibilidad de N para las plantas.

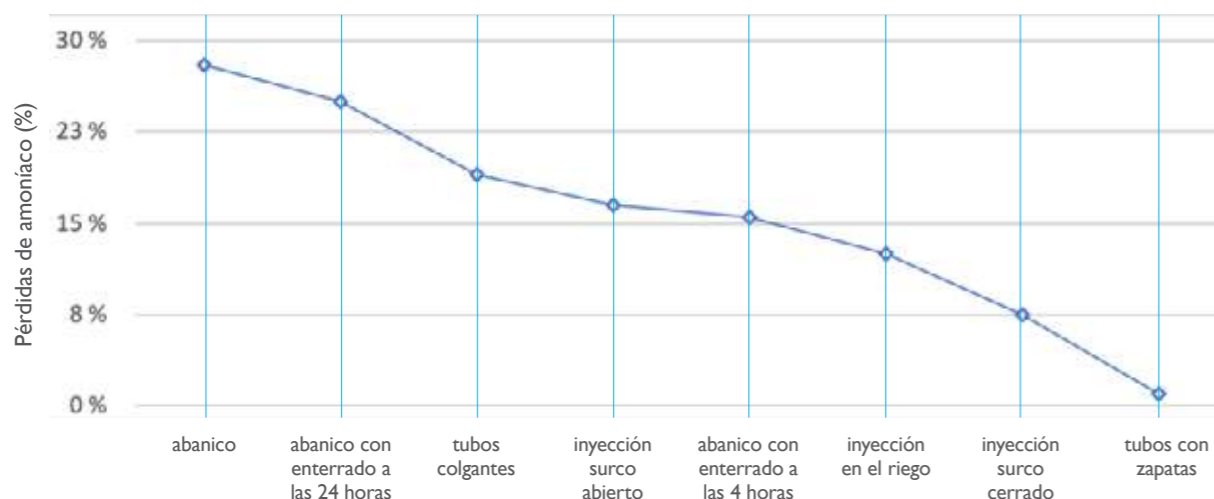


Figura 2.7. Pérdidas de amoníaco en la aplicación del digerido con distintas técnicas de distribución.

Desde un punto de vista técnico, está claro que, aumentando la eficiencia y uniformidad del método de aplicación, aumenta la eficiencia del nitrógeno contenido en los purines y digeridos y permite satisfacer las necesidades del

cultivo aprovechando el estiércol y los purines de las granjas.

También es evidente que tales prácticas permiten reducir significativamente las pérdidas, especialmente las relacionadas con las emisiones de amoníaco en la atmósfera.

La disminución de las pérdidas de nutrientes al medio se está convirtiendo en una necesidad cada vez más urgente. Si bien no es fácil en este momento estimar su valor económico directo, es posible que en un futuro cercano la atención del consumidor puede volcarse principalmente hacia productos de mayor sostenibilidad ambiental.

Desde el punto de vista económico, la fertirrigación con estiércoles, purines y sus derivados es una técnica que puede combinar los objetivos de las políticas comunitarias sobre economía circular y la reutilización de nutrientes.

En la Región de Lombardía están en marcha desde

hace mucho tiempo, medidas de apoyo y desarrollo con el objetivo de conseguir que las explotaciones se doten de equipos, plantas e instalaciones que mejoren su impacto ambiental, utilizando los recursos previstos en las Medidas del Programa de Desarrollo Rural, así como a través de convocatorias con recursos exclusivamente regionales o nacionales.

La técnica de fertirrigación puesta a punto y analizada a través de las parcelas de demostración del proyecto LIFEARIMEDA pone sobre el escenario tanto de forma teórica como práctica, un concepto aparentemente sencillo e intuitivo: la combinación de prácticas de riego mediante tecnologías que reducen el consumo de agua, con la distribución de efluentes ganaderos que aportan nutrientes a los cultivos. Las técnicas de riego junto con la distribución de digerido y purín a través del riego con una dilución de las concentraciones de amonio aseguran que en el manejo agronómico de los cultivos se obtenga una alta eficiencia, y se reduzcan las emisiones de malos olores y amoníaco.

REFERENCIAS

- ANFFE, 2022. Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes. Información sectorial. Evolución del consumo.
- CIHEAM, 2010. Atlas Terramed 2010. Agricultura, alimentación, pesca y mundo rural en el Mediterráneo. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Gobierno de Aragón, 2022. Estadísticas ganaderas, distribución comarcal y producciones ganaderas.
- Istituto di Idraulica Agraria, 2003. Ricerca sui consumi irrigui e le tecniche di irrigazione in Lombardia, Università degli Studi di Milano - Regione Lombardia.
- MAPA, 2018. Balance del nitrógeno en la agricultura española. Metodología, Resultados. (28 diciembre 2021).
- MAPA, 2020. Encuestas sobre superficies y rendimientos de cultivos. Informe sobre regadíos en España.
- Orús, F., Sin, E. 2006. El balance de Nitrógeno en la agricultura. Fertilización nitrogenada; Guía de actualización, Departamento de Agricultura y Alimentación, Centro de Transferencia Agroalimentaria, Informaciones técnicas, nº extraordinario: 11-21.
- ORDEN DRS/333/2019, de 25 de marzo, por la que se declaran, en base al índice de carga ganadera, los municipios con sobrecarga ganadera por exceso de nitrógeno de origen orgánico procedente de la actividad ganadera. BOA nº 68, 4/08/2019.
- Zapata, N., Playán, E., Castillo R., Gimeno Y., Oliván I., Jiménez A., Carbonell, X., Fábregas, M., López-Pardo, J.R., Vicente, L.M., Millán, J., Solano, D., Lorenzo, M.A. 2020. A methodology to classify irrigated areas: Application to the central Ebro River Basin in Aragón (Spain). Agricultural Water Management 241 106365.

3

¿CÓMO PODEMOS APLICAR LOS FERTILIZANTES ORGÁNICOS CON EL SISTEMA DE RIEGO?

DOLORES QUÍLEZ
GIORGIO PROVOLO
EVA HERRERO
ARTURO DAUDÉN
VIVIANA GUIDO
RAQUEL SALVADOR
ANDREA GUIDETTI
RAMÓN GEA
DAVID ABIÓ



3.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo del proyecto LIFE ARIMEDA es contribuir al desarrollo de estrategias para reducir las emisiones de amoníaco a la atmósfera desarrollando y poniendo a punto tecnologías para aplicar purín o digerido en sistemas de riego de pivot y goteo.

Las técnicas de fertirriego pueden convertir el purín o el digerido almacenado en las granjas o en las plantas de digestión anaerobia en un fertilizante de alto valor en el momento en que se aplica a los campos agrícolas. El proceso de fertirriego necesita de diferentes etapas que deben ser consideradas y analizadas en detalle para diseñar, desde el principio, un sistema adaptado a las necesidades de cada caso específico. Asimismo, es fundamental desarrollar prácticas de manejo correctas para evitar problemas de mal funcionamiento que puedan afectar negativamente o incluso puedan llegar a impedir la fertirrigación.

En este capítulo se analiza cada uno de estos pasos o procesos y se dan recomendaciones generales para un correcto diseño y gestión del fertirriego con la fracción líquida del purín y del digerido.

3.2 DESCRIPCIÓN Y REQUISITOS DE LOS DISTINTOS PROCESOS

El proceso del fertirriego con purín y digerido necesita varios pasos (Figura 3.1): separación sólido/líquido del purín y el digerido, almacenamiento de la fracción líquida separada (FL) en la finca o planta de digestión anaerobia, transporte y almacenamiento de la FL en campo, diseño del sistema de inyección, conocimiento de la composición de la FL, diseño del plan de fertilización (dosis de N y distribución) y gestión del sistema de riego. Algunos de estos aspectos están estrechamente relacionados y por ello se realiza su análisis agrupando algunos de ellos de acuerdo al siguiente esquema:

1. Separación sólido/líquido del purín y el digerido y almacenamiento de la fracción líquida en la granja o planta de digestión anaerobia.

2. Transporte de la fracción líquida, almacenamiento en campo y operación y mantenimiento del sistema de inyección.
3. Composición de la fracción líquida.
4. Diseño del plan de fertilización: dosis y distribución del nitrógeno (N).
5. Diseño, gestión y mantenimiento del sistema de riego.

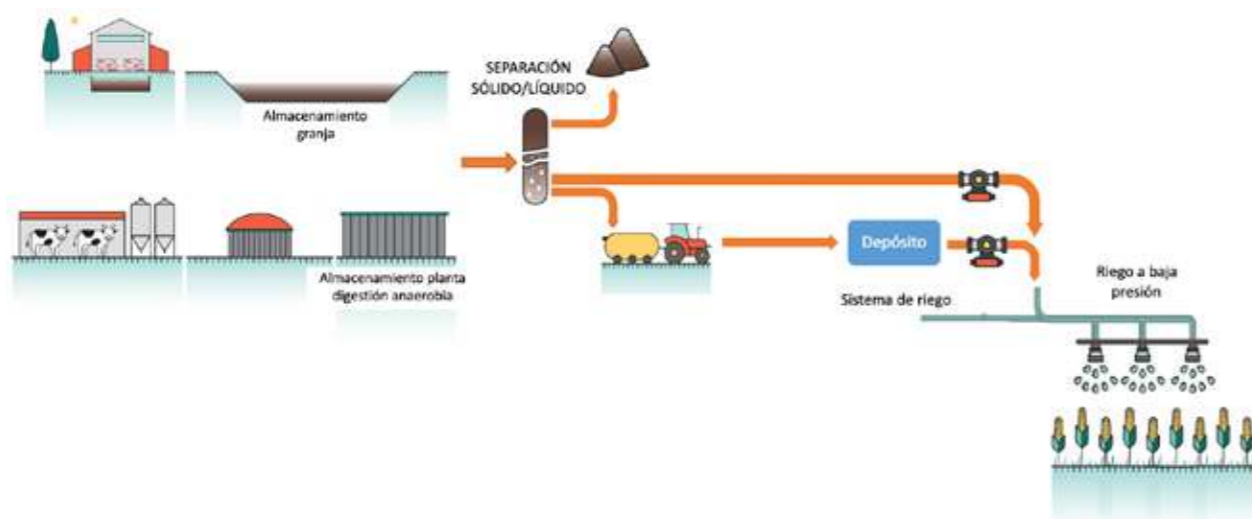


Figura 3.1. Diagrama de los distintos pasos para implementar el fertirriego con fracción líquida de purín y digerido.

3.2.1 SEPARACIÓN SÓLIDO/LÍQUIDO Y ALMACENAMIENTO EN GRANJA

Para inyectar purín o digerido en el sistema de riego, primero se necesita un filtrado para separar las partículas sólidas que pudieran llegar a obstruir el sistema de riego. Es fundamental establecer adecuadamente los requisitos del equipo de separación, en particular el tamaño máximo de las partículas que cada sistema de riego puede admitir sin obturaciones. La separación sólido/líquido debe eliminar las partículas de tamaño mayor que las aberturas de las boquillas o goteros. El tamaño del orificio de las boquillas del pívot varía entre 1,6 y 10 mm (Senninger, 2020), mientras que la filtración recomendada para emisores de líneas de goteo es de aproximadamente 130-200 μm (Netafim, 2020).

Como regla general, las partículas mayores de 600 μm se deben eliminar para evitar problemas de obstrucción en las boquillas de los pívots (también en rangers y aspersion) y las partículas de más de 100 μm deben ser eliminadas para evitar la obstrucción de los filtros y los goteros en los sistemas de riego por goteo. Los requisitos y recomendaciones específicos se pueden obtener de la información técnica de cada sistema de riego o de la empresa suministradora del riego.

La separación mecánica tiene menor coste operativo y necesita menos mantenimiento que la separación química (con aditivos), pero el uso de productos químicos debe considerarse si los requisitos del sistema de riego no pueden llegar a cumplirse utilizando separadores mecánicos. Se recomienda que el contenido total de sólidos de la fracción líquida filtrada permanezca por debajo del 10% para permitir el uso de una bomba de inyección tradicional.

Entre las técnicas de separación sólido/líquido disponibles para purín y digerido, el separador de tornillo (Imagen 3.1) es el más común, en algunos casos se instala después de una separación previa con una rampa-tamiz (Imagen 3.2). Estos equipos llevan mallas de entre 500 y 1000 micras, siendo un método adecuado para el fertirriego con pívot. El separador de tornillo permite además conservar mayores cantidades de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en la fracción líquida (Moller et al., 2000; Guilayn et al., 2019).

El filtrado del digerido presenta mayores problemas que el del purín. El digerido, debido al proceso de digestión, contiene una mayor cantidad de partículas pequeñas en la fracción líquida. También presenta una mayor cantidad de nutrientes que son solubles en agua o adsorbidos a pequeñas partículas (Akhiar et al., 2017; Marcato et al., 2008).



Imagen 3.1. Separador de tornillo-prensa filtrando purín.

El uso de un separador de tornillo es adecuado para fertirriego con purín en sistemas de aspersion. Sin embargo, no es el separador más adecuado para el digerido, ya que no puede retener una gran parte de la materia seca (Tambo-ne et al., 2019) o partículas grandes (Moller et al., 2002) presentes en este producto y no puede evitar la obstrucción del sistema de riego durante los eventos de fertirriego.

Otros equipos, que puede utilizarse para eliminar las partículas sólidas del purín y del digerido son la centrífuga decantadora y los filtros de membrana. La centrífuga decantadora es más eficiente que el tornillo para separar sólidos y nutrientes, y retiene de manera efectiva partículas mayores de 20-25 μm en la fracción sólida (Hjorth et al., 2010; Moller et al., 2002). Sin embargo, el principal inconveniente de la centrífuga es su alto coste operativo (Moller et al., 2000). La técnica avanzada de filtración por membranas permite una división adecuada de nutrientes y sólidos, pero su uso se limita a grandes instalaciones y requiere economías de escala (Guilayn et al., 2020).



Imagen 3.2. Separador de rampa-tamiz con tornillo prensa.

Otras técnicas de separación mecánica, como los separadores de malla y los microfiltros, retienen partículas de pequeño tamaño de manera eficiente, pero necesitan una etapa de filtración previa para eliminar los sólidos gruesos. Un microfiltro utiliza la presión para filtrar partículas de hasta 25 µm de diámetro. Un tamiz vibrador utiliza la vibración mecánica para el filtrado y permite usar tamices con pasos tan pequeños como 100 µm (Pieters et al., 1999; Zhang y Westerman, 1997) (Imagen 3.3). Estos equipos son adecuados para la filtración del digerido con una etapa de separación previa, por ejemplo con un tornillo-prensa.



Imagen 3.3. Separadores de tamiz vibratorio para purín (izda.) y para digerido (dcha.) trabajando.

El caudal de separación varía mucho entre equipos. Un tornillo-prensa puede proporcionar 15 m³ / h de fracción filtrada mientras que el tamiz vibrador y los microfiltros proporcionan un caudal de 3-4 m³ / h. Los parámetros operacionales de los separadores y el caudal que proporcionan dependen mucho del tipo de purín o digerido a filtrar; el rendimiento puede disminuir si el contenido de sólidos totales es alto. Debido a que la variabilidad en la composición de estos productos es alta, y a que las partículas sólidas se estratifican durante su almacenamiento por decantación o flotación, se recomienda instalar un agitador en las balsas o depósitos de purín o digerido para obtener un producto homogéneo para la filtración (Imagen 3.4). Además, los parámetros funcionales del separador deben revisarse y ajustarse cuando pueda existir un cambio en la composición del producto de entrada. La instalación de sistemas de seguimiento también es muy recomendable



Imagen 3.4. Agitador funcionando en una balsa de almacenamiento.

para el control remoto de su funcionamiento, y es imprescindible en fincas sin una vigilancia periódica de los separadores.

Por lo general, los separadores se quedan fijos en las fincas, pero los separadores portátiles también pueden ser una opción para empresas u organizaciones dedicadas a la gestión centralizada de fertilizantes orgánicos. Cuando el separador se traslada a una nueva granja, las características del producto a filtrar cambian y necesitan de una exhaustiva puesta a punto de sus parámetros operativos. También es muy común encontrar en las balsas purín o digerido muy degradado, lo que dificulta su separación, o elementos extraños que pueden obstruir las máquinas. Por ello, es muy recomendable adoptar medidas en la explotación para reducir los riesgos operativos en el proceso de separación. Es importante tener purín o digerido fresco, si el producto tiene más de seis meses se recomienda evitar el tratamiento del mismo.

Es recomendable que los separadores mecánicos que utilizan tamices tengan un sistema de limpieza automático ya sea con agua o con una solución ácida (Imagen 3.5). La limpieza periódica del tamiz mientras se trabaja mejora el rendimiento de separación. También se recomienda limpiar el separador con una manguera de agua a presión después de cada período de trabajo, si el proceso no se realiza automáticamente, de lo contrario, el purín o digerido se secará y se pegará al tamiz, obstruyendo fácilmente los poros de la malla. Para obtener una limpieza más eficaz también se puede utilizar una solución ácida.



Imagen 3.5. Tamiz vibrador con tubos de limpieza automática.

El volumen de purín o digerido que se necesita filtrar y la duración del período de aplicación de la fracción líquida es otra variable importante a considerar en el diseño de los separadores. El caudal de trabajo del equipo (volumen/tiempo) debe garantizar el suministro del volumen de fracción líquida requerido para el fertirriego (en volumen y tiempo). La necesidad de fracción líquida se puede calcular multiplicando la dosis de N que se aplicará por fertirriego (kg N/ha) por la superficie de la parcela y dividiendo por la concentración de N de la fracción líquida.

$$FL (m^3) = (\text{dosis de N fertirriego (kg N/ha)} \cdot \text{superficie (ha)}) / \text{concentración de N en FL (kg/m}^3\text{)}.$$

Así, para aplicar 250 kg N/ha mediante fertirriego a un pívot de 30 ha con una fracción líquida de 2,5 kg N/m³, se necesitan 3000 m³ de fracción líquida [250 kg N/ha · 30 ha / 2,5 kg N/m³]. Si el período de aplicación del N es de 50 días y el sistema de separación funciona 12 horas/día, se necesitará un sistema de separación con un caudal mínimo de 5 m³ /hora [3000 m³ / (50 días · 12 horas)].

$$\text{Caudal requerido (m}^3\text{/h)} = \text{Volumen FL (m}^3\text{)} / \text{tiempo de separación disponible (h)}$$

La fracción líquida obtenida después de la separación debe almacenarse en balsas o depósitos en la granja o planta de digestión anaerobia (Imagen 3.6). Las balsas y tanques de almacenamiento de en la granja se pueden comenzar a llenar antes del inicio de la temporada de fertirriego y así ayudar a mitigar los picos de demanda de operación del equipo durante la campaña.



Imagen 3.6. Balsa de almacenamiento de la fracción líquida.

Se pueden utilizar balsas existentes, pero deben limpiarse a fondo antes de almacenar la fracción líquida. La fracción líquida separada emite más amoníaco que el producto bruto (Balsari et al., 2013), las pérdidas se pueden reducir significativamente con costra natural, con paja o con la cobertura de las balsas (Giner Santonja et al. 2017). Por ello, si es posible, el almacenamiento debe cubrirse para reducir las emisiones de amoníaco previniendo también la entrada de pequeños objetos que podrían afectar la limpieza del proceso. En cualquier caso, el almacenamiento de la FL debe mantenerse limpio para evitar que algún objeto extraño produzca un mal funcionamiento, la rotura de la bomba de inyección o la obstrucción de los componentes del sistema de riego.

3.2.2 TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO EN EL CAMPO E INYECCIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO



Imagen 3.7. Inyección directa de fracción líquida de digerido en el sistema de riego de una parcela desde el depósito de almacenamiento.

La fracción líquida almacenada en las granjas se puede inyectar directamente en el sistema de riego. Ésta es la mejor opción si los campos están a una distancia razonable del almacenamiento de la FL y si es posible conectar este almacenamiento con el sistema de riego a través de una tubería (Imagen 3.7). Esta opción evita el transporte por carretera a los campos agrícolas y la necesidad de almacenamiento de FL adicional junto a la parcela fertirrigada.

Cuando el almacenamiento de la granja no se pueda conectar directamente al sistema de riego, se debe instalar un sistema de almacenamiento cubierto al lado de la parcela para la FL antes de ser inyectada en el sistema de riego (Imagen 3.8). Además, el transporte de la fracción líquida desde la granja o planta de digestión anaerobia hasta el campo debe ser cuidadosamente planificado. Se recomienda analizar en detalle las distancias, la concentración de nitrógeno del purín o del digerido en cada granja y la cantidad de

producto que necesita ser transportado para optimizar las operaciones. Las necesidades de transporte y el coste asociado disminuyen cuando se utiliza una fracción líquida con mayor concentración de N.

Las cisternas o camiones utilizados para transportar la fracción líquida deben mantenerse completamente limpios para evitar un mal funcionamiento o rotura del sistema de fertirriego. Se recomienda tener cisternas o camiones dedicados únicamente al transporte de la fracción líquida, y utilizar una malla de protección en la entrada del tubo de absorción. En el caso del riego por goteo, una fracción líquida limpia es imprescindible para un fertirriego exitoso.



Imagen 3.8. Depósitos de almacenamiento en el campo y camión cargando FL en la balsa de almacenamiento de una granja.

El depósito de almacenamiento de la FL en la parcela debe dimensionarse de acuerdo con el volumen de fracción líquida a inyectar. Este volumen debe sobrestimarse ligeramente para poder evitar la inyección desde la parte más baja del depósito donde pueden depositarse partículas sólidas a lo largo de la campaña.

El tubo de conexión del tanque a la bomba de inyección debe estar a una cierta altura (20 cm) por encima del fondo del depósito para evitar que la materia sólida que puede flocular dentro del depósito entre en la bomba de inyección y desde allí al sistema de riego. En caso de que se observe una gran decantación de sólidos, el depósito de almacenamiento debe limpiarse; para este propósito, se debe incorporar un tubo de salida adicional en la parte inferior del depósito de almacenamiento.

El tamaño de la bomba de inyección debe elegirse en base al volumen de la fracción líquida a inyectar, que depende de las necesidades del cultivo y del contenido de nitrógeno de la fracción líquida. Al seleccionar la bomba, es importante considerar la presión del sistema de riego, porque la bomba de inyección tendrá que superar esta presión durante la inyección. En general, los sistemas de riego por goteo y por pívot funcionan con una presión relativamente baja, por lo que los requisitos no deberían ser muy exigentes. Además, es importante seleccionar una bomba robusta frente a las pequeñas partículas que normalmente existen en la fracción líquida. Las bombas eléctricas y de gasoil son adecuadas y pueden inyectar la fracción líquida en el sistema de riego sin problemas (Imagen 3.9).

Las bombas de inyección tienden a reducir su rendimiento con las horas de trabajo, incluso con un buen mantenimiento, por lo que una buena recomendación es verificar la relación rendimiento-precio y si es razonable sobredimensionar su caudal.

La bomba de inyección debe instalarse con un sistema que permita la recirculación del agua en la bomba para su limpieza. Además, es importante considerar la instalación de una válvula anti retorno para evitar el paso de la fracción líquida al sistema general de suministro de agua. El mantenimiento de la bomba incluirá la limpieza al final de cada evento de riego, el cambio de la junta de goma periódicamente en las bombas eléctricas y la limpieza completa al inicio y final de la temporada o en cualquier momento si se detecta un mal funcionamiento.



Imagen 3.9. Llenado del tanque de almacenamiento de fracción líquida en campo e inyección al sistema de goteo.

Es también necesario calibrar la bomba de inyección o instalar un caudalímetro para conocer con precisión la cantidad de fracción líquida (y en consecuencia de nitrógeno) inyectado en el sistema de riego. Otra opción es instalar medidores de nivel en los depósitos de almacenamiento en el campo y registrar los niveles al inicio y al final de cada evento de fertirriego.

Los depósitos de almacenamiento en la parcela deben dimensionarse de acuerdo con el volumen de fracción líquida a inyectar, que dependerá de la composición de la fracción líquida, las necesidades del cultivo y la superficie de la parcela, pero también de la logística del transporte, principalmente en el caso del pívot, que generalmente tiene una gran superficie (Imagen 3.9). Los caudales de inyección típicos por evento de riego pueden oscilar entre 15 y 30 kg N/ha. Por ejemplo, para aplicar en un riego 25 kg N/ha en un pívot con una superficie de 30 ha utilizando una fracción líquida de 2,5 kg N/m³, se necesitan

300 m³ de fracción líquida. Para un riego del pívot (una vuelta) de 24 horas, si el transporte es posible durante las 24 horas, se podría instalar un depósito de 60 m³ y rellenarlo 6 veces en cada fertirriego de 24 horas, es decir, el depósito debería rellenarse cada 4 horas incluso durante la noche. Si eso no es posible hay dos soluciones: utilizar depósitos de almacenamiento mayores, por ejemplo, de 120 m³, que reducirá a 3 veces el llenado del depósito (1 vez cada 8 horas) o reducir el caudal de inyección de la bomba. Para bombear 300 m³ de FL en un período de 24 horas, la bomba debe inyectar 1,2 m³/h, pero el caudal se puede reducir a por ejemplo 0,6 m³ /h, reduciendo el volumen de FL inyectada a 150 m³ y la dosis aplicada a 13 kg N/ha. Si el caudal de inyección se reduce, se reducen paralelamente las necesidades de almacenamiento y la frecuencia del transporte en cada evento de fertirriego, aunque como contrapartida se incrementa el número de eventos de fertirriego para completar la fertilización total. En riego por goteo las parcelas tienen una

menor superficie y las necesidades de almacenamiento son más pequeñas. Para una parcela típica de 2 ha con riego por goteo y para inyectar 25 kg N/ha con una FL de 2,5 kg N/m³, es necesario inyectar 20 m³ de FL en cada aplicación. Sin embargo, considerando que el tiempo de riego suele ser menor y que la dilución podría ser menor, el caudal de la bomba de inyección podría ser similar al del pívot, entre 0,7 y 1,0 m³ / h.

3.2.3 COMPOSICIÓN DE LA FRACCIÓN LÍQUIDA

La fracción líquida obtenida después de la filtración debe ser analizada para determinar su contenido de nutrientes: concentración de N amoniacal total (NAT), concentración de N Kjeldhal total (NKT) y concentraciones de fósforo y potasio. NAT y NKT deben analizarse por separado, ya que el N amoniacal está disponible para los cultivos después de la aplicación, mientras que el N orgánico (obtenido como NKT-NAT) tiene que pasar por un proceso de mineralización antes de poder ser utilizado y está menos disponible en el momento de la aplicación, aunque crea un efecto residual que debe considerarse en los años siguientes. El NAT es la forma principal de nitrógeno en la fracción líquida, mientras que el N orgánico permanece en la fracción sólida después de la separación.

La composición del purín y el digerido es muy variable entre granjas e incluso en la misma granja o planta de digestión anaerobia y, por lo tanto, la composición de la fracción líquida puede presentar también una alta variabilidad. Esto lleva a la necesidad de analizar la FL en diferentes momentos del periodo de fertirriego. El contenido de N amoniacal de la fracción líquida se puede analizar en campo utilizando méto-

dos rápidos in situ como Quantofix o conductividad eléctrica (Martínez-Suller et al., 2008; Suresh et al., 2009, Yagüe et al., 2008). El uso de estos métodos permite reducir el número de análisis de laboratorio para los momentos críticos cuando puede existir un cambio relevante en la composición del producto, por ejemplo, con entrada de nuevas capas en una granja, el cambio de los productos de entrada en una planta de digestión anaerobia (Imagen 3.10), adición de agua al almacenamiento (lluvia o agua de limpieza de las naves), etc.

Las muestras de FL para su caracterización deben tomarse de los depósitos de almacenamiento en las parcelas o del sistema de inyección, hay que evitar tomar muestras del almacenamiento en las granjas ya que la fracción líquida puede permanecer allí largos periodos antes de ser inyectada. Sin embargo, se pueden tomar muestras en el almacenamiento de la granja o la planta de digestión anaerobia si la FL se inyecta directamente desde el almacenamiento. Para obtener una muestra representativa, se debe agitar completamente el almacenamiento antes de la toma de la muestra.



Imagen 3.10. Planta de digestión anaerobia en Lombardía.

3.2.4 DOSIS DE APLICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN

La cantidad de FL que se inyectará debe calcularse en función de la dosis óptima de fertilizante calculada para el cultivo en la parcela y el contenido de nutrientes de la fracción líquida.

La dosis óptima de fertilizante (NPK) debe establecerse en función del rendimiento potencial real del cultivo en la parcela, que el agricultor suele conocer de años anteriores, y la extracción unitaria de nutrientes. Para la fertilización con P y K se deben considerar los niveles de P (en general P Olsen es el recomendado para suelos neutros y alcalinos y P Mehlich para suelos ácidos) y K (acetato de amonio) junto con la textura del suelo para ajustar la dosis a aplicar.

En el caso de nitrógeno se deberá tener en cuenta la contribución de otras fuentes; en particular son relevantes el contenido de N mineral de la capa superior del suelo, la mineralización de la materia orgánica del suelo (para cultivos de verano puede aportar más de 100 kg N/ha), la cantidad de N aplicado con el riego (1.000 m³/ha de agua de riego con 50 mg nitrato/L proporcionan 15 kg N/ha), la contribución de cultivos precedentes de leguminosas (una alfalfa terminada el año anterior puede contribuir con 100 kg N/ha) o la deposición atmosférica.

El fertirriego permite la aplicación de la fracción líquida a medida que el cultivo se va desarrollando. Dado que el fósforo y el potasio también están presentes en la fracción líquida en general no se necesita aplicar fertilización PK sintética en fondo. Sin embargo, dado que la mayoría del fósforo se encuentra asociado a la fase sólida del purín y del digerido, la concentración de P en la fracción líquida debe evaluarse cuidadosamente para comprobar que se proporciona la cantidad necesaria para un desarrollo correcto del cultivo.

Si la normativa o la reglamentación existentes limitan la aplicación de purín o digerido, como es el caso de las zonas vulnerables en las que la aplicación de

deyecciones ganaderas está limitada a un máximo a 170 kg N/ha, el exceso sobre el límite normativo debe aplicarse con fertilizantes sintéticos siguiendo las recomendaciones locales.

En los cereales de invierno la fertirrigación debe comenzar en la etapa de ahijado, continuar en el alargamiento del tallo y terminar en la floración, con una distribución aproximada de 50% -30% -20%. En el caso del maíz la aplicación debe comenzar a las 4 hojas y continuar hasta la aparición de las sedas, con una distribución similar a la del agua de riego (cuando el cultivo necesita más agua necesita también más nutrientes): aproximadamente el 25% en 4- 6 hojas, el 30% a las 6-8 hojas, 30% entre 8 hojas y penacho y 15% entre penacho y aparición de las sedas. En el caso de aplicación de digerido o purín en fondo, como es habitual en Lombardía, el inicio del fertirriego puede retrasarse al estado de 6 hojas, con una distribución de 35% entre 6 y 8 hojas, 45 % entre 8 hojas y penacho y 20 % entre penacho y sedas. El número de eventos de fertirriego dependerá de la cantidad de N que es necesario aplicar, la concentración de nitrógeno de la fracción líquida y el flujo de inyección y pueden variar de 1 a más de 20.

La herramienta ARIMEDA* ayuda a establecer las dosis óptimas de NPK para una parcela, la cantidad que se puede aplicar con digerido o purín con fertirrigación teniendo en cuenta la normativa existente, y su distribución en las diferentes etapas del cultivo.

* Disponible en www.lifearimeda.eu

3.2.5 GESTIÓN DE LA FERTIRRIGACIÓN

En el proceso de fertirrigación se aplica el fertilizante con el sistema de riego y la adecuada distribución de los nutrientes depende de la calidad y uniformidad del sistema de riego. Por ello, para una aplicación óptima, los sistemas de riego deben ser diseñados para obtener una alta uniformidad y eficiencia, evitando también la aplicación de agua fuera de los límites de la parcela. El manejo del riego tiene que estar centrado en obtener unas altas eficiencias de riego y evitar la escorrentía, la percolación profunda y las pérdidas por evaporación y arrastre por el viento.

Los puntos claves para un buen funcionamiento de la fertirrigación incluyen:

1. Revisión del buen funcionamiento del sistema de riego al inicio de la temporada, que debe incluir también la revisión del equipamiento adicional del fertirriego.
2. Planificación de las dosis de riego semanal utilizando los servicios de asesoramiento de riego o herramientas de apoyo a la decisión disponibles y programación del número de riegos considerando las características del suelo. En suelos con baja capacidad de retención de agua (suelos de textura gruesa, o escasa profundidad) es necesario distribuir la dosis semanal en eventos frecuentes; si el riego es excesivo, parte de los nutrientes aplicados con el fertirriego se pueden perder por escorrentía o por percolación.
3. La mezcla de fracción líquida de digerido o purín y agua de riego debe alcanzar una proporción de dilución adecuada, no debe ser demasiado alta para evitar la obstrucción de las boquillas o goteros, ni demasiado baja para maximizar la contribución de la fertirrigación a la fertilización general del cultivo. En el caso de digerido se recomienda que el factor de dilución (definido como la relación entre el volumen de FL y el volumen de agua de riego) esté entre el 3% y el 10% (Finzi et al, 2021; Mantovi et al 2018), pero podría aumentarse hasta un 20% sin aumentar el riesgo de obstrucción tanto para sistemas de riego por pivot como por goteo (Guido et al., 2020). En el caso del purín porcino la cantidad de FL se puede aumentar y se recomiendan valores de dilución de entre 4 y 25 % para ambos sistemas de riego.



Imagen 3.11. Boquillas de riego instaladas en las parcelas demostrativas con riego con pivots del proyecto LIFE ARIMEDA en Aragón (izda.) y en Lombardía (dcha.).

En sistemas de riego con pívot

En pívot, la pluviometría debe ser menor que la velocidad de infiltración del agua del suelo para evitar pérdidas por escorrentía y la erosión del suelo. Se recomienda el uso de boquillas de baja presión (LEPA) que producen gotas de agua de gran tamaño para evitar las pérdidas por evaporación y arrastre tanto del agua como de los nutrientes (imagen 3.11). Con este tipo de boquillas puede aparecer escorrentía en la parte exterior del pívot donde los diámetros de las boquillas son mayores y la pluviometría más alta, en este caso es importante pasar un cultivador estanqueador para hacer pocetas (Imagen 3.12).

Es importante instalar un alero en el tramo final del pívot en lugar de un cañón, ya que el cañón funciona con presiones más altas, proporciona una pluviometría elevada y no uniformemente distribuida y unas elevadas pérdidas por evaporación y arrastre.

Se recomienda detener (o no iniciar) el riego cuando la velocidad del viento supere los 2,5 m/s, de-

bido a la mala distribución del agua y a las grandes pérdidas por evaporación y arrastre en esas condiciones. Esta recomendación es más importante cuando se aplica la fertirrigación, ya que la falta de uniformidad y las pérdidas no solo afectan al agua sino también a los nutrientes. En regiones ventosas, como es el caso de Aragón, siempre que sea posible se recomienda aplicar la fertirrigación por la noche, cuando la velocidad del viento y la temperatura son más bajas y las pérdidas por evaporación y arrastre, así como el riesgo de volatilización del amoníaco, se reducen. La duración de los eventos de riego en los pívots puede ser larga, más de 24 horas, por lo que en los momentos de máxima demanda de agua y nutrientes no siempre es posible seleccionar el período de fertirrigación. Una posibilidad alternativa es bajar las boquillas por debajo de la cubierta vegetal (≈ 30 cm por encima de la superficie del suelo), esta configuración mitiga el efecto del viento, y puede ayudar a reducir las pérdidas por evaporación y arrastre y las emisiones de amoníaco. La siembra en círculos puede ser beneficiosa pero no esencial para esta configuración.

Cerca del final del período de riego, se debe detener la inyección de FL y limpiar la bomba y el sistema de inyección con el agua de riego (tuberías y boquillas) de restos de FL de purín o digerido. Hay que intentar evitar la aplicación del fertirriego en vueltas completas, para impedir que sistemáticamente la misma parte de la parcela se quede sin la aplicación de fertilizantes durante el proceso de limpieza. Si no es posible evitar los giros completos, será necesario aplicar fertilizante sintético en la parte final de la parcela donde no se aplica fertirrigación con la fracción líquida.



Imagen 3.12. Pocetas para evitar escorrentías.

En sistemas de riego con goteo

En general el riego por goteo enterrado no está muy extendido para el riego de cultivos extensivos. Si es necesario realizar la instalación del mismo para aplicar el fertirriego, los materiales y los goteros deben seleccionarse cuidadosamente (Imagen 3.13). Es importante seleccionar emisores con una amplia área de filtración y resistentes a la obstrucción, es decir, con laberintos largos y una amplia sección transversal. Los goteros pueden ser turbulentos o autocompensantes. En general los goteros autocompensantes tienen un área de filtración más pequeña, aunque aseguran una pluviometría uniforme. Si la parcela está bien nivelada y se hace un buen diseño de la instalación, se recomienda seleccionar goteros turbulentos por tener una mayor resistencia a la obturación. En las parcelas de demostración del proyecto ARIMEDA se probaron goteros turbulentos (Netafim Aries) y autocompensantes (Netafim Dripnet) sin signos de obstrucción después de tres campañas de inyección de digerido y purín.

Es importante controlar que el sistema de riego esté funcionando correctamente, para lo que es nece-

sario instalar contadores volumétricos y controlarlos antes y después de cada evento de fertirrigación para monitorizar la cantidad de agua aplicada y detectar un mal funcionamiento del sistema o posibles obstrucciones. Los filtros ubicados después del punto de inyección deben desmontarse y limpiarse periódicamente, con mayor frecuencia durante los períodos de inyección (si se instalan filtros autolimpiantes esta operación no es necesaria). La presión del agua después de los filtros debe controlarse durante los eventos de fertirrigación para garantizar que los filtros no estén obstruidos con suciedad. La falta de presión en el sistema para ambos tipos de goteros producirá una mala distribución del agua y del fertilizante.

El mantenimiento debe incluir la limpieza con agua al final de cada episodio de fertirrigación, y la limpieza de las líneas de goteo y los emisores con un producto adecuado (por ejemplo H_2O_2), cuando sea necesario, y al menos una vez durante la temporada de riego.



Imagen 3.13. Instalación de riego por goteo para fertirriego con fracción líquida de digerido en Lombardía (Italia).

3.3 BENEFICIOS

El fertirriego con la fracción líquida de digerido y purín en cultivos extensivos tiene beneficios agronómicos, ambientales, económicos y sociales:

- Reduce las pérdidas de amoníaco a la atmósfera, en línea con la estrategia europea de la granja a la mesa, que busca una reducción del 50% en las pérdidas de nutrientes para el año 2030.
- Permite el uso de deyecciones animales en los períodos de desarrollo del cultivo, cuando no podrían ser utilizados con los sistemas de aplicación tradicional (abanico, bandas, inyección, incorporación); en este sentido la fertirrigación expande el período en el que el digerido y el purín se pueden sacar de la granja o de la planta de digestión anaerobia y aplicarse a los cultivos (Imagen 3.14).
- Reduce la necesidad de transporte del digerido o purín desde la planta de digestión anaerobia o la granja en los casos en los que las parcelas se localicen en las proximidades de éstas, ya que el producto puede ser inyectado directamente desde las balsas o depósitos de almacenamiento a través de tuberías.
- Permite la distribución del purín y del digerido a lo largo del ciclo del cultivo de acuerdo a sus necesidades de nutrientes. El fraccionamiento aumenta la eficiencia en el uso del nitrógeno y disminuye el riesgo de lavado de nitrato y de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (en particular N_2O , gas de potente efecto invernadero).
- Permite la sustitución de fertilizantes sintéticos por productos orgánicos, reduciendo las entradas de nitrógeno en los sistemas. Este aspecto es más relevante en áreas con exceso de nitrógeno. In-



© Life Arimeda

Imagen 3.14. Fertirriego con fracción líquida de purín porcino en un sistema de riego con pivot en Cinco Villas (Aragón, España).

cluso si en una zona específica todas las necesidades de los cultivos pueden satisfacerse con los estiércoles y purín que se generan, si éstos no se pueden aplicar cuando el cultivo necesita el nutriente, hay que aplicar fertilizante sintético para cubrir esas necesidades, lo que conduce a un excedente de nitrógeno en el balance de nutrientes de la zona. Por lo tanto, la fertirrigación con productos orgánicos reduce las entradas externas de N en las zonas donde hay fuentes orgánicas disponibles y permite la reducción del consumo de fertilizantes sintéticos, en línea con el Pacto Verde Europeo y la estrategia de la granja a la mesa que busca una reducción del 20% en el consumo de fertilizantes químicos para 2030.

- La aplicación del purín y digerido con el riego reduce el coste de la fertilización ya que la fertilización con productos sintéticos es más cara que con deyecciones ganaderas. Este beneficio económico es más alto para las parcelas situadas cerca de las granjas o de las plantas de digestión anaerobia, por la eliminación del transporte y el almacenamiento en parcela.

3.4 LIMITACIONES

El fertirriego con purín y digerido presenta algunos problemas y limitaciones que pueden dificultar la adopción de esta técnica en algunos casos:

- Necesita adquirir equipos con un coste asociado: separadores sólido/líquido, depósitos de almacenamiento en la granja o en la parcela, bombas de inyección, filtros, etc. y otros elementos para la configuración de los sistemas de fertirrigación.
- Necesita un mayor control de las operaciones de la finca y mantenimiento, en particular de las actividades de separación sólido/líquido del purín o digerido y sistemas de inyección y de riego.
- La existencia de normativa que discrimina negativamente las deyecciones ganaderas frente a la fertilización sintética limita la cantidad de las mismas que se pueden aplicar a los cultivos. Por ejemplo, la Directiva de nitratos establece un límite máximo de 170 kg N/ha y año en la aplicación de deyecciones animales, que no afecta a la fertilización con productos químicos.
- La variabilidad y el desconocimiento del contenido de nutrientes del purín y del digerido (en comparación con el de los fertilizantes sintéticos), y las dificultades para establecer correctamente el manejo de la fertirrigación dificultan una buena aplicación del fertirriego, si no hay un buen conocimiento técnico o un servicio de asesoramiento disponible.
- La experiencia obtenida en las parcelas demostrativas del proyecto LIFE ARIMEDA en España ha puesto de manifiesto que el transporte de la fracción líquida desde la granja a la parcela agrícola tiene una gestión complicada y puede ser un cuello de botella para la fertirrigación por problemas de diferente tipo. Las parcelas con pivots tienen una gran superficie y turnos de riego largos por lo que son muy exigentes en las necesidades de transporte durante los eventos de fertirriego, que pueden durar más de 24 horas. Existe un alto riesgo de introducción de pequeños objetos en los depósitos de almacenamiento en las parcelas (procedente ya sea de las cisternas de transporte o del almacenamiento en las balsas) que pueden bloquear la bomba de inyección e impedir el fertirriego. Además, la logística del transporte no es fácil, ya que puede existir en algunos momentos una competencia en el uso de la maquinaria con otras actividades agrícolas durante la campaña de fertilización de los cultivos.

REFERENCIAS

- Akhtar, A., Battimelli, A., Torrijos, M., Carrere, H., 2017. Comprehensive characterization of the liquid fraction of digestates from full-scale anaerobic co-digestion. *Waste Manage*, 59, 118–128.
- Balsari, P., Dinuccio, E., Gioelli, F., 2013. A floating coverage system for digestate liquid fraction storage. *Bioresour Technol.* 134:285-289.
- Finzi, A., Guido, V., Riva, E., Ferrari, O., Quílez, D., Herrero, E., Provolò, G., 2021. Performance and sizing of filtration equipment to replace mineral fertilizer with digestate in drip and sprinkler fertigation. *Journal of Cleaner Production*, 317, 128431.
- Giner Santonja, G., Georgitzikis K., Scalet B., Montobbio P., Roudier S., Delgado Sancho L., 2017. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). EUR 28674 EN. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union. JRC107189
- Guido, V., Finzi, A., Ferrari, O., Riva, E., Quílez, D., Herrero, E., Provolò, G., 2020. Fertigation of maize with digestate using drip irrigation and pivot systems. *Agronomy*, 10(10).
- Guilayn, F., Jimenez, J., Rouez, M., Crest, M., Patureau, D., 2019. Digestate mechanical separation: Efficiency profiles based on anaerobic digestion feedstock and equipment choice. *Bioresour. Technol.* 274, 180–189.
- Guilayn, F., Rouez, M., Crest, M., Patureau, D., Jimenez, J., 2020. Valorization of digestates from urban or centralized biogas plants: a critical review. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, 19, 419–462.
- Mantovi, P., Moscatelli, G., Piccinini, S., Bozzetto, S., Rossi, L., 2018. Microfiltered digestate to fertigation: a best practice to improve water and energy efficiency in the context of Biogasdoneright™. In: Naddeo, V., Balakrishnan, M., Choo, K.H. (Eds.), *Frontiers in Water-Energy-Nexus—Nature-Based Solutions, Advanced Technologies and Best Practices for Environmental Sustainability. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development)*. Springer, Cham.
- Hjorth, M., Christensen, K.V., Christensen, M.L., Sommer, S.G., 2010. Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 30(30), 153–180.

- Marcato, C.E., Pinelli, E., Pouech, P., Winterton, P., Guisresse, M., 2008. Particle size and metal distributions in anaerobically digested pig slurry. *Bioresour. Technol.*, 99(7), 2340–2348.
- Martínez-Suller, L., Azzellino, A., Provolò, G. 2008. Analysis of livestock slurries from farms across Northern Italy: Relationship between indicators and nutrient content. *Biosystems Engineering*, vol. 99, no. 4, pp. 540-552
- Moller, H.B., Lund, I., Sommer, S.G., 2000. Solid-liquid separation of livestock slurry: Efficiency and cost. *Bioresour. Technol.*, 74(3), 223–229.
- Moller, H.B., Sommer, S.G., Ahring, B.K., 2002. Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions. *Bioresour. Technol.*, 85(2), 189–196.
- Moller, H.B., Lund, I., Sommer, S.G., 2000. Solid-liquid separation of livestock slurry: Efficiency and cost. *Bioresour. Technol.* 74(3), 223–229.
- Netafim, 2020. Technical report. Accessed 5 November 2020.
- Pieters, J.G., Neukermans, G.G. J., Colanbeen, M.B.A., 1999. Farm-scale membrane filtration of sow slurry. *J. Agric. Eng. Res.*, 73(4), 403–409.
- Senninger, 2020. Technical report. Accessed 5 November 2020.
- Suresh, A., Choi, H.L., Oh, D.I., Moon O.K. 2009. Prediction of the nutrients value and biochemical characteristics of swine slurry by measurement of EC - Electrical conductivity. *Bioresour. Technol.*, 100 (20), 4683-4689.
- Tambone, F., Orzi, V., Zilio, M., Adani, F., 2019. Measuring the organic amendment properties of the liquid fraction of digestate. *Waste Manage.*, 88, 21–27.
- Yagüe, M.R., Quílez D., Iguacel, F., Orús, F. 2008. Métodos rápidos de Análisis como herramienta de gestión en la fertilización con purín porcino: conductimetría. *Informaciones Técnicas* 195. Dirección General de Desarrollo Rural. Centro de Transferencia Agroalimentaria. Gobierno de Aragón. 16 pp.
- Zhang, R.H., Westerman, P.W., 1997. Solid-liquid separation of animal manure for odor control and nutrient management. *Appl. Eng. Agric.*, 13(5), 657–664.

4

PROTOCOLOS DE SEGUIMIENTO AGRONÓMICO Y MEDIOAMBIENTAL EN LAS PARCELAS DEMOSTRATIVAS

EVA HERRERO
DOLORES QUÍLEZ
ARTURO DAUDÉN
VIVIANA GUIDO
GIORGIO PROVOLO



Imagen 4.1. Parcela de riego por goteo enterrado donde se realizó fertirriego con la fracción líquida de purín porcino en las Cinco Villas (Aragón, España).

4.1 INTRODUCCIÓN

Los beneficios medioambientales y agronómicos de la fertirrigación con la fracción líquida de purín o digerido deben evaluarse cualitativa y cuantitativamente utilizando metodologías fiables y científicamente probadas. Los protocolos de seguimiento y métodos de medición desarrollados en el proyecto LIFE ARIMEDA han permitido comparar esta técnica con las prácticas habituales de fertilización en cinco regiones diferentes, Cinco Villas y La Litera en Aragón (España) y Brescia, Cremona y Mantua en Lombardía (Italia).

Las técnicas de fertirrigación orgánica demostradas en este proyecto se han implementado durante tres campañas consecutivas, de 2018 a 2020, en parcelas de maíz a gran escala (Imagen 4.1). El análisis del potencial de transferencia a otras zonas mediterráneas de estas técnicas, de acuerdo a sus beneficios y limitaciones, se ha basado en los resultados obtenidos al implementar unos protocolos comunes de seguimiento y evaluación que han permitido obtener datos comparables e información fiable.

Los métodos de evaluación utilizados se diseñaron aplicando un enfoque de caso/control que permite comparar los resultados del seguimiento medioambiental y agronómico, medidos en las parcelas demostrativas con fertirriego con los obtenidos en parcelas de referencia donde los agricultores utilizaron prácticas tradicionales de fertilización. La selección de los campos demostrativos y el diseño de las metodologías de seguimiento se planificó minuciosamente en cada sitio. El proyecto buscó campos representativos, alejados de explotaciones ganaderas, para evitar o reducir posibles interferencias, en particular en la medida de las emisiones de amoníaco. A pesar de ello, el trabajo se llevó a cabo en áreas con una gran actividad agrícola y este objetivo no siempre se pudo lograr fácilmente.

4.2 SEGUIMIENTO MEDIOAMBIENTAL

4.2.1 EMISIONES DE AMONÍACO (NH₃)

La aplicación de fertilizantes orgánicos o sintéticos a los campos agrícolas lleva implícito pérdidas de nitrógeno que se emiten a la atmósfera en forma de amoníaco. La bibliografía científica y técnica recoge numerosos estudios y metodologías para medir este tipo de emisiones, sin embargo, la información sobre las emisiones de amoníaco derivadas de la fertilización en sistemas agrícolas mediterráneos es escasa. Por otro lado, la mayoría de los estudios disponibles se han realizado en parcelas pequeñas, con dimensiones y formas específicas que responden a las necesidades de la metodología de medición utilizada. Hay pocos estudios en los que se midan las emisiones de amoníaco en condiciones reales de campo ya que, aunque el trabajo en parcelas productivas a gran escala aporta valiosa información, también implica afrontar importantes retos:

1. Se trabaja con grandes superficies de emisión con formas irregulares.
2. Las parcelas se encuentran en áreas de intensa actividad agrícola durante los periodos de medida, lo que puede interferir en las medidas.
3. Las medidas se realizan sobre cultivos altos como el maíz que implican una superficie irregular como fuente de emisiones.
4. Es posible medir un amplio rango de emisiones en una misma campaña debido al uso de una gran variedad de fertilizantes tanto sintéticos como orgánicos: purín porcino, digerido y sus fracciones líquidas, inyectadas en sistemas de riego en múltiples eventos, con diferentes diluciones y en condiciones meteorológicas muy diversas.

Además, el extenso periodo de aplicación de los fertilizantes y las diversas características edafoclimáticas de las parcelas evaluadas, añaden complejidad a las medidas. Todo esto requiere el uso de una metodología de medición de emisiones que responda de forma adecuada en todas las circunstancias.

Las actividades de seguimiento se llevaron a cabo de forma continua en cada campaña desde principios de primavera (abril-mayo) hasta finales de noviembre con condiciones de temperatura suaves en primavera, pasando por los cálidos veranos mediterráneos. Dependiendo de las prácticas evaluadas en cada momento, las concentraciones de amoníaco medidas en el aire oscilaron desde los escasos 10 µg/m³ de concentración en las medidas de fondo en zonas de baja concentración hasta 4.000 µg/m³ después de la aplicación de purín porcino en superficie antes de sembrar y en periodos cálidos.

El proyecto LIFE ARIMEDA se enfrentó al desafío de diseñar un método robusto y versátil aplicable en campos productivos. En las primeras etapas, se valoraron distintos métodos como el balance de masas de flujo horizontal integrado (IHF- Integrated Horizontal Flux) con muestreadores pasivos de flujo o las cámaras semiabiertas basadas en la metodología desarrollada por Jantalia et al. (2012). El método IHF (Denmead, 1983), es el considerado habitualmente como referencia por la comunidad científica y su aplicación utilizando muestreadores de flujo pasivos (Leuning et al., 1985) ha sido validada por numerosos grupos de investigación en todo el mundo (Laubach et al., 2012; Misselbrook et al., 2005; Sanz-Cobena et al., 2008; Sintermann et al., 2012; Sommer et al., 2005; Yang et al., 2019). Alternativamente, las cámaras semiabiertas se utilizan con frecuencia en ensayos en parcelas pequeñas con el objetivo de comparar emisiones entre distintos tratamientos. Sin embargo, el uso de estas técnicas científicamente probadas presenta ciertas limitaciones en grandes parcelas con formas irregulares y la representatividad espacial de las medidas puede verse afectada, especialmente en el caso de las cámaras.

Los investigadores del Centro de la Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón y de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la Universidad de Milán, en estrecha colaboración con el Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales (CEI-GRAM -Universidad Politécnica de Madrid), trabajaron durante los primeros meses de proyecto en busca de las mejores técnicas para la medida de las emisiones que cumplieran con las siguientes características:

1. Un buen equilibrio entre la complejidad del método y la precisión de las medidas obtenidas.
2. Facilidad para replicar y aplicar las técnicas en distintos escenarios.
3. Procedimientos de muestreo y análisis de las muestras sencillos que no consuman mucho tiempo en el campo y en el laboratorio.
4. Dispositivos de muestreo fáciles de manejar y robustos para minimizar los riesgos de contaminación de las muestras y facilitar su manipulación en el campo y en el laboratorio.



Imagen 4.2. Ensayo de comparación de métodos de medición de emisiones de amoníaco en las instalaciones experimentales del CITA (Zaragoza, España).

La elección de la metodología y el diseño del protocolo de seguimiento utilizado en el proyecto LIFE ARI-MEDA se basó en los resultados obtenidos en los siguientes trabajos:

1. Una revisión bibliográfica exhaustiva de las metodologías existentes considerando todos los aspectos técnicos y las principales fortalezas y debilidades o limitaciones de los diferentes métodos desarrollados hasta el momento.
2. Un ensayo experimental en campo donde se utilizaron simultáneamente 4 metodologías de medición diferentes (Herrero et al, 2021): Cámaras semiabiertas, IHF con muestreadores pasivos de flujo y un modelo de dispersión inversa combinado con las medidas de concentraciones de amoníaco en el aire obtenidas a partir de trampas ácidas (soluciones absorbentes en impingers con borboteador y flujo forzado de aire) y de captadores ALPHA® (Adapted Low-cost Passive High Absorption, Centre for Ecology and Hydrology, UK) (Imagen 4.2).
3. Pruebas iniciales realizadas en las parcelas demostrativas del proyecto durante la primera campaña en las que se compararon los resultados obtenidos con diferentes métodos, por ejemplo captadores ALPHA® y cámaras semiabiertas, simultáneamente.

Como resultado de este trabajo de colaboración entre centros de investigación, se definió un protocolo común basado en el uso de captadores ALPHA® para la medida de la concentración de amoníaco en el aire y la aplicación de un modelo de dispersión inversa utilizando el software gratuito WindTrax v.2.0.8.9 (Thunder Beach Scientific, Halifax, Nueva Escocia, Canadá) para la medida de las emisiones de amoníaco.

Los resultados obtenidos y el conocimiento y experiencia adquiridos a lo largo de las mismas permitieron mejorar y optimizar su diseño e implementación.

De acuerdo con este protocolo, los pasos seguidos en cada una de las parcelas fueron los siguientes:

Imagen 4.3. Seguimiento de las emisiones de amoníaco en Lombardía (izda.) y en Aragón (dcha.).



Paso I. Diseño del procedimiento de muestreo para la determinación de la concentración media de amoníaco en el aire.

En cada parcela se instalaron varios puntos de muestreo distribuidos uniformemente sobre su superficie. Cada punto de muestreo constaba de un mástil con un plato donde se sujetaron 3 captadores ALPHA® a una altura comprendida entre 1,2 y 1,5 m por encima de la superficie emisora (suelo desnudo o cubierta del cultivo) (Imagen 4.3). El número de mástiles varió de 1 a 5 en cada parcela en función del tamaño y forma de su superficie (Imagen 4.4 c). Además, se colocaron entre 1 y 3 mástiles fuera de la parcela alineados con la dirección del viento predominante con el propósito de muestrear la concentración de amoníaco de fondo en el área de estudio (background).

entre 24 horas (durante las épocas de fertirrigación) y 7 días a lo largo del resto de la campaña.

La concentración de amoníaco (C_{N-NH_3}) en el aire se calculó considerando la masa de nitrógeno captada en los ALPHA® (en forma de N amoniacal, $N-NH_4^+$) y el volumen de aire muestreado $C_{N-NH_3} = M_{N-NH_4^+} / V$; donde $M_{N-NH_4^+}$ es la cantidad media de $N-NH_4^+$ (μg) capturada en el filtro de los tres ALPHA® en cada tiempo de exposición. Los filtros se extrajeron en el laboratorio utilizando 3 ml de agua desionizada y la masa de N amoniacal ($M_{N-NH_4^+}$) captada en el filtro se obtuvo multiplicando la concentración de $N-NH_4^+$ medida en el extracto (mg/L) por el volumen de extracción (3 ml). La concentración de amonio en el extracto se analizó en Aragón por colorimetría siguiendo el método de salicilato con nitroprusiato (Searle, 1984) en un analizador de flujo segmentado (AutoAnalyser3, Bran + Luebbe, Nordersted, Alemania) en los laboratorios del CITA. En Italia se llevó a cabo un análisis basado en una diálisis selectiva del amonio a través de una membrana a un pH elevado con su posterior determinación por espectrofotometría ($\lambda = 590 \text{ nm}$) utilizando un equipo FIAS (Flow Injection Analysis System).

Los datos meteorológicos que se registraron durante los tiempos de exposición de los captadores fueron velocidad de viento (m/s), dirección del viento ($^\circ$; en la dirección de las agujas del reloj, Norte = 0°), temperatura ($^\circ C$), humedad relativa (%) y precipitación (mm). Se obtuvieron valores medios en periodos de 30 minutos. En España se recogieron a través de estaciones meteorológicas instaladas al lado de las parcelas experimentales o de estaciones cercanas de la red SIAR (Sistema de información agroclimática para el regadío). En Italia los registros se obtuvieron con una estación meteorológica (Vantage pro2, Davis Instruments Corporation, Hayward, CA, USA) instalada cerca de las parcelas demostrativas (Imagen 4.4 d).

Cada captador ALPHA® contenía un filtro impregnado con una solución de ácido cítrico y metanol y se expuso al aire protegido por una membrana de politetrafluoroetileno que garantizaba un flujo de aire laminar dentro del captador (Imagen 4.4 a y b). El funcionamiento de los captadores ALPHA® se basa en el principio de difusión de los gases de la atmósfera, siguiendo las leyes de Fick. El volumen efectivo de aire muestreado (V, m^3) depende del coeficiente de difusión del gas que se quiere medir ($D, m^2 s^{-1}$), de la superficie de la sección transversal del captador (A, m^2), del tiempo de exposición (t, s) y de la longitud de difusión (L, m), $V (m^3) = D \cdot A \cdot t / L$. El tiempo de exposición (tiempo de muestreo) varió

Paso 2. Determinación de los flujos de emisión de amoníaco

Los flujos de emisión se calcularon con el programa WindTrax (Imagen 4.4 e) que utiliza un modelo lagrangiano de dispersión inversa de partículas (bLs IDM – backward Lagrangian stochastic inverse dispersion model). Este modelo infiere el flujo de emisión desde una superficie de emisión conocida a partir de los valores de concentración de amoníaco medidos en las parcelas y en fondo (background) en puntos referenciados respecto a la fuente de emisión, de los registros de velocidad y dirección del viento, de la rugosidad de la superficie (z_0 , cm) y de las condiciones de estabilidad atmosférica (Flesch et al. 2004, Loubet et al., 2010). El gran tamaño de las parcelas demostrativas evaluadas garantiza la homogeneidad espacial de la superficie emisora (Carozzi et al., 2013; Loubet et al., 2010). Con el fin de simplificar el método, z_0 se consideró igual a 1 cm, asumiendo que la superficie emisora a la atmósfera

era la parte superior de la cubierta del maíz. Los captadores ALPHA[®] se colocaron entre 1,2 y 1,5 m por encima de esta cubierta alzando su posición a medida que el cultivo crecía para mantener siempre la misma altura respecto a esta superficie de emisión. Uno de los principales factores limitantes del modelo de dispersión inversa utilizado es la necesidad de trabajar con períodos de muestreo cortos que aseguren una estabilidad atmosférica homogénea. Para solucionar esta limitación, la metodología aplicada se definió asumiendo las recomendaciones de Sommer et al. (2005), que también fueron discutidas y adoptadas en otros trabajos de investigación con anterioridad (Carozzi et al., 2013; Ni et al., 2015; Sanz et al., 2010), y se utilizaron periodos de exposición más largos (de entre 24 horas hasta 1 semana) asumiendo condiciones de estabilidad atmosférica neutral constantes.

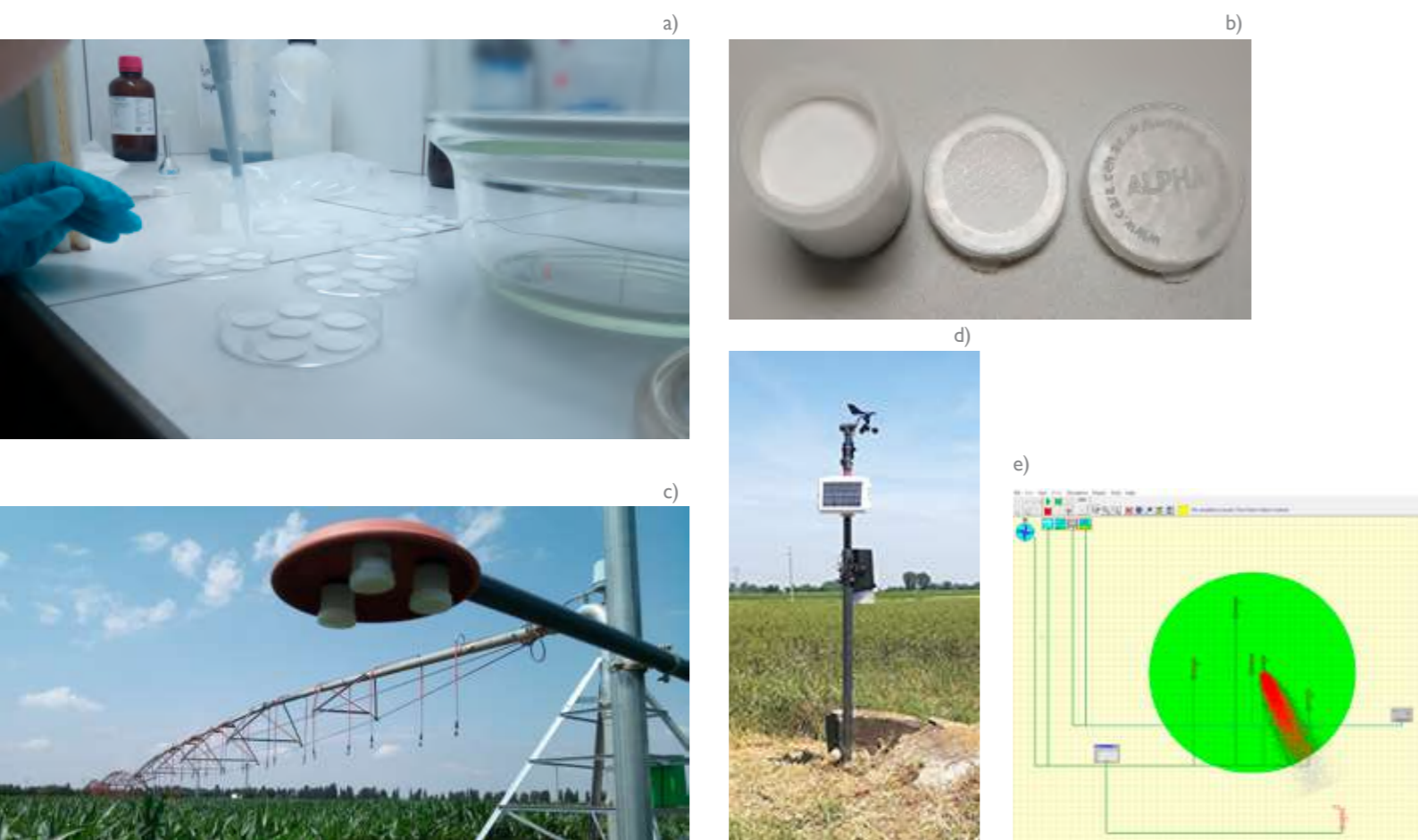


Imagen 4.4. a) Preparación en laboratorio de los filtros para los captadores ALPHA[®]; b) Captadores ALPHA[®]; c) Captadores ALPHA[®] colocados en las parcelas; d) Estación meteorológica y e) Software de simulación WindTrax.

Durante el seguimiento realizado en las tres campañas, se afrontaron dificultades adicionales, inherentes al trabajo de campo a escala demostrativa. A modo de ejemplo, en el caso de los pivots, cuando el cultivo de maíz crecía por encima de los 2 metros resultaba imposible poder colocar los captadores ALPHA[®] a la altura correcta. Los mástiles impactaban con el brazo del pivó al girar y se caían. En otros casos, se detectaron concentraciones muy altas de

amoníaco en las medidas de fondo (background), lo que dificultaba la evaluación de las emisiones originadas en una sola parcela ubicada en un área de alta intensidad de actividad agrícola. Casos como los anteriormente expuestos requirieron un esfuerzo adicional en la planificación de las medidas, así como en las actividades de seguimiento y discusión de los resultados.

4.2.2 RIESGO DE LAVADO DE NITRATO

Es fundamental comprobar que los beneficios alcanzados con la fertirrigación reduciendo las emisiones de amoníaco a la atmósfera, no conllevan unas mayores pérdidas de nitrógeno por lavado de nitrato hacia los cauces de agua.

La concentración de nitrato en la solución del suelo por debajo de la zona de raíz del cultivo se usó como un indicador cualitativo del riesgo de lavado de nitrato. Se realizó un análisis comparativo entre las concentraciones de nitrato medidas en las parcelas donde se utilizó el fertirriego y en las parcelas de referencia donde se utilizaron las técnicas de fertilización tradicionales con purín o digerido. Es importante señalar que no se cuantificó la masa de nitrato perdida por lavado, ya que esto requiere una estimación adicional del drenaje de agua por debajo de la zona de las raíces del cultivo, aspecto fuera del alcance del proyecto.

La solución del suelo se muestreó con cápsulas de cerámica porosa (sondas de succión) enterradas por

debajo de las raíces del cultivo. Dependiendo de la superficie de cada parcela, se instalaron entre 5 y 7 sondas, distribuidas uniformemente siguiendo una configuración en W tal y como propone el ERSAF (Ente Regionale per I Servizi dell'Agricoltura e delle Foreste de Lombardia), a una profundidad que varió entre 45 y 120 cm según el perfil del suelo (Imagen 4.5). Las sondas de succión permitieron recoger fácilmente muestras de la solución del suelo en un mismo punto con la frecuencia requerida.



Imagen 4.5. Sondas de succión instaladas en las parcelas demostrativas del proyecto LIFE ARIMEDA.



Durante la campaña de riego, se tomaron muestras una vez a la semana, 24 horas después de la creación de un vacío ($\approx -0,7$ bares) en el interior de las sondas de succión y habitualmente después de eventos de riego o de precipitación. La extracción se realizó con jeringas o bombas de vacío automáticas y en las muestras recogidas se determinó la concentración

de nitrato y amonio. En Aragón se analizó por colorimetría utilizando un analizador de flujo segmentado y en Lombardía se utilizó un equipo FIAS (Flow Injection Analysis System) para realizar un análisis basado en la reducción de nitrato a nitrito a través de una columna de cobre y cadmio y una determinación espectroscópica posterior ($\lambda = 525$ nm).

4.3 SEGUIMIENTO AGRONÓMICO

Para un buen manejo de las técnicas de fertirrigación es necesario tener en cuenta las características específicas de cada parcela y cultivo. Uno de los aspectos más importantes es la necesidad de nitrógeno del cultivo y los aportes del suelo o de otras fuentes, como los cultivos precedentes de leguminosa o el nitrógeno incorporado con el riego, para satisfacer esas necesidades. Una vez establecidas las necesidades totales de nitrógeno, su aplicación se fracciona a lo largo del ciclo del cultivo ajustando las dosis en tiempo (momento de aplicación) y cantidad. El proyecto LIFE ARIMEDA propone técnicas de fertirrigación que permiten aportar de forma fraccionada la cantidad total de nitrógeno que el cultivo necesita con la fracción líquida de purines y digerido inyectados en sistemas de riego de pivot y de goteo, pudiendo sustituir totalmente a los fertilizantes sintéticos.

Los agricultores realizaron las actividades agronómicas en las parcelas demostrativas siguiendo las prácticas locales habituales: siembra, tratamientos pesticidas y herbicidas, fertilización en parcelas de referencia, cosecha, etc. Todas estas actividades se registraron y se utilizaron como base para la definición de escenarios estandarizados en el Análisis del Ciclo de Vida (Capítulo 7) y en los estudios socioeconómicos (Capítulos 8 y 9) relacionados con la implementación de las técnicas de fertirriego en el proyecto LIFE ARIMEDA. Los registros incluyeron:

Información del cultivo: fecha de siembra, variedad, fecha de cosecha y rendimiento.

Tratamientos fitosanitarios: fecha, producto aplicado, dosis y técnica (maquinaria).

Labores: fecha, maquinaria, tipo de mano de obra, profundidad de los trabajos de labor, manejo del residuo de maíz, etc.

Se estableció un protocolo común de seguimiento, donde se definieron los parámetros y procedimientos de muestreo clave para la evaluación agronómica de las parcelas demostrativas, con el objetivo de obtener información comparable entre ellas. Las actividades de muestreo en campo realizadas tanto en las parcelas con fertirriego como en las de referencia incluyeron:

Caracterización del suelo

El suelo de las parcelas se caracterizó al inicio de la implantación de las parcelas demostrativas. El suelo se muestreó hasta su mayor profundidad (como máximo hasta 1,20 m) de forma manual con una barrena a intervalos de 30 cm. Las muestras de suelo se secaron y tamizaron a 2 mm y en el laboratorio se determinó su textura, pH (en extracto 1:2,5), contenido de materia orgánica, salinidad (conductividad eléctrica



Imagen 4.6. Muestreo de suelo en las parcelas demostrativas del proyecto LIFE ARIMEDA.

en extracto 1:5), nitrógeno total, fósforo disponible, potasio y magnesio, así como carbonatos.

Contenido de nitrógeno mineral del suelo

El suelo se muestreó antes de sembrar, en el estadio de 4 hojas y después de la cosecha a intervalos de 30 cm hasta la máxima profundidad de suelo (Imagen 4.6). En el estadio de 4 hojas se muestreó solo de 0-30 cm. En Aragón, en cada parcela se tomaron muestras en cinco puntos coincidiendo con las posiciones de las sondas de succión y con alguno de los mástiles para la medición de emisiones de amoníaco. En cada punto y para cada profundidad se preparó una muestra compuesta por al menos 3 submuestras con una barrena manual. Las muestras se tamizaron en fresco y se analizaron las concentraciones de amonio y nitrato en extractos de suelo (10 g suelo fresco: 30 ml 2N KCl) por colorimetría.

En Lombardía, el muestreo del suelo en cada parcela también siguió la misma disposición en W que las ubicaciones de las sondas de succión, con 5 muestras tomadas junto a la posición de las mismas a las que se añadieron otros puntos cuando se

consideró necesario; así el número de puntos varió en cada campaña de muestreo (entre 5 y 10) en función de los resultados de la campaña anterior. Las concentraciones de nitrato y amonio se determinaron en extractos de suelo (10 g de suelo fresco: 100 ml 2N KCl) mediante FIAS.

La cantidad de nitrógeno a aplicar con el fertirriego se estimó sobre la base del rendimiento potencial del cultivo, la absorción unitaria de nitrógeno del maíz y el nitrógeno proporcionado por el suelo y otras fuentes. A partir de esta información y de acuerdo con los agricultores se establecieron las dosis de nitrógeno recomendadas y un calendario de fertilización óptimo para cada parcela.

Programación del riego

El riego se gestionó, en estrecha colaboración con los agricultores, estableciendo recomendaciones semanales de dosis, considerando los turnos de riego en cada parcela y teniendo en cuenta las características específicas de cada sistema. Las necesidades de riego se calcularon semanalmente utilizando la evapotranspiración de referencia media diaria (FAO, Penman Monteith) y precipitación dia-

ria proporcionada por la red SIAR (Sistema de información agroclimática del regadío) (MAGRAMA) en España y por ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente) y ERSAF (Ente Regionale per lo Sviluppo Agricolo e Forestale) en Italia. Estas redes recogen información media diaria de temperatura, humedad relativa, precipitación, evapotranspiración de referencia y velocidad y dirección del viento.

En España, los coeficientes de cultivo se establecieron utilizando unidades térmicas y las ecuaciones obtenidas por Martínez-Cob (2008) para el maíz. Se elaboró una hoja de cálculo para cada parcela para calcular los requerimientos hídricos semanales, ajustando las necesidades a cada ciclo de maíz en tiempo real de acuerdo con el desarrollo del cultivo en cada momento (fenología) (Imagen 4.7).

En Italia el riego fue gestionado por los agricultores de acuerdo a su experiencia y en base a la disponibilidad de agua en cada parcela.

El volumen de agua de riego aplicado a cada parcela se midió con contadores, siempre que fue posible, y alternativamente con el registro de los días de riego, duración del mismo y la pluviometría del sistema (mm/h).



Imagen 4.7. Riego con pivote en una parcela demostrativa del proyecto LIFE ARIMEDA.

Composición de la fracción líquida

Se analizó la composición de la fracción líquida de purín y digerido en cada ubicación antes de iniciar el período de fertirrigación, con el fin de estimar el volumen necesario para proporcionar las necesidades de nitrógeno del cultivo establecidas anteriormente durante toda la campaña. La eficiencia de esta fracción líquida se calculó sobre la base de su contenido de nitrógeno amoniacal, que es la fracción fácilmente disponible para el cultivo en el año de aplicación.

Una vez iniciada la campaña y con el fin de controlar las dosis de nutrientes aplicadas a los cultivos en cada fertirriego, se muestreó y analizó periódicamente la fracción líquida del purín utilizada. La concentración de nitrógeno amoniacal se determinó in-situ en tiempo real, utilizando métodos rápidos como Quantofix® (Imagen 4.8) o conductimetría. A lo largo del proyecto se realizó un estudio específico sobre métodos rápidos y poco costosos para medir "in situ" la concentración de nitrógeno en purín y digerido que se fue optimizando a lo largo de las tres campañas de seguimiento.

Periódicamente también se recogieron muestras de la fracción líquida que se estaba inyectando en



Imagen 4.8. Análisis de nitrógeno amoniacal de la fracción líquida de purín utilizando un equipo Quantofix® en La Melusa (Aragón, España).

la red de riego de las parcelas y se transportaron refrigeradas en botes de 500 ml al laboratorio. En las muestras se analizó siguiendo métodos estándar (APHA, AWWA y WEF, 2012) pH, salinidad (conductividad eléctrica), materia orgánica, materia seca, nitrógeno Kjeldahl total, nitrógeno amoniacal, fósforo y potasio.

Nitrógeno aplicado en cada evento de fertilización

El número y la duración de los eventos de fertirriego dependió de la concentración de nitrógeno en la fracción líquida, las necesidades de riego del cultivo y el caudal del sistema de inyección. El volumen de agua de riego y de fracción líquida inyectada en la red se muestrearon cuidadosamente para conocer tanto la cantidad de nitrógeno aplicada como la proporción de cada una de ellas (tasa de dilución).

En Aragón, los depósitos de 50 m³ para el almacenamiento de fracción líquida instalados al lado de las parcelas demostrativas se graduaron y en cada evento de fertirriego se anotó el volumen de fracción líquida en su interior al inicio y al final (Imagen 4.9). En Italia se utilizaron sensores de nivel y caudalímetros para el control de estas variables.

Se preparó una hoja de cálculo específica para distribuir la aplicación de nitrógeno a lo largo del ciclo del cultivo, considerando la cantidad total



Imagen 4.9. Equipos e instrumentación para el control de los volúmenes de agua y fracción líquida de purín inyectados en la red de riego por goteo de una parcela demostrativa en las Cinco Villas (Aragón, España).

de fracción líquida de purín/digerido necesaria. En cada parcela se registraron durante cada una de las campañas todas las fechas de aplicación, tiempos de inyección, cantidad y tipo de fertilizante (purín porcino, digerido, fracción líquida y fertilizante sintético), así como su concentración de nitrógeno.

Rendimiento del cultivo y eficiencia de uso del nitrógeno (NUE – Nitrogen Use Efficiency)

Los rendimientos del cultivo y el contenido de nitrógeno en la biomasa aérea se utilizaron como indicadores para calcular la NUE en cada una de las parcelas. Los resultados permitieron comparar el potencial de reciclaje de nutrientes de los diferentes sistemas de fertirrigación.

Las parcelas se cosecharon con cosechadora y en España se realizó un control manual de biomasa previo a la cosecha en entre 3 y 5 puntos distribuidos uniformemente en cada parcela con una superficie de 2,4 m² cada uno (Imagen 4.10) del que se obtuvo el índice de cosecha con la que se calculó la biomasa aérea total del maíz. Los resultados de producción en el control manual se compararon con los obtenidos en la cosecha de toda la parcela y se corrigieron cuando fue necesario.

En Italia, donde se cultivó maíz forrajero, se determinó el contenido de nitrógeno en las muestras de forraje cosechado. En Aragón, donde se cultivó maíz grano, el contenido de nitrógeno se determinó por separado en el grano y en la biomasa aérea restante (hojas + tallos + mazorcas).

La NUE se calculó como la relación entre la absorción de nitrógeno por la planta en la biomasa aérea y el nitrógeno aplicado con los fertilizantes

$$\text{NUE} = \text{Absorción de N por planta} / \text{N aplicado}$$

Alternativamente, la NUE también se cuantificó incluyendo como fuente adicional el nitrógeno mineral (N_{min}) del suelo al comienzo del ciclo del cultivo (4 hojas). Este índice permite la comparación de parcelas de demostración y de referencia con diferente disponibilidad inicial de nitrógeno, y la comparación entre parcelas de demostración en diferentes localizaciones.

$$\text{NUE (suelo)} = (\text{absorción de N por planta}) / (\text{N aplicado} + \text{N}_{\text{min}})$$

El trabajo de seguimiento en campo durante las tres campañas fue extremadamente exigente y requirió un gran esfuerzo para obtener los datos necesarios para una evaluación adecuada de las técnicas de fertirrigación demostradas.

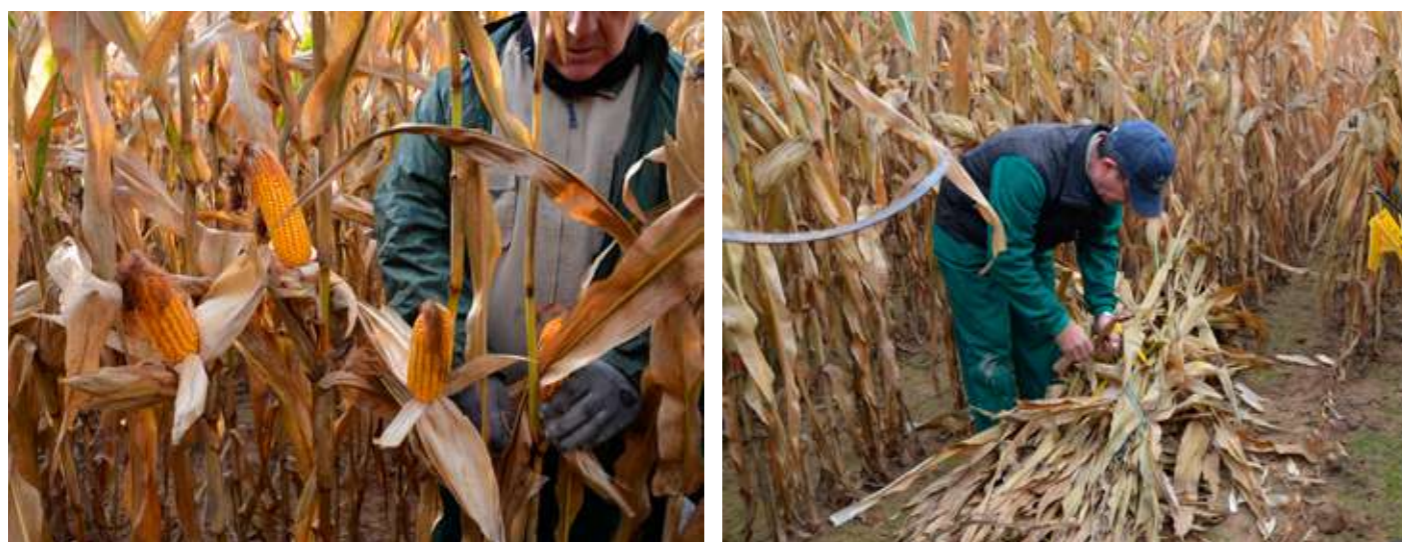


Imagen 4.10. Seguimiento agronómico realizado por técnicos del CITA en las parcelas demostrativas (campaña 2018).

REFERENCIAS

- Carozzi, M., Ferrara, R.M., Rana, G., Acutis, M., 2013. Evaluation of mitigation strategies to reduce ammonia losses from slurry fertilisation on arable lands. *Sci. Total Environ.* 449, 126–133.
- Denmead, O.T., 1983. Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems. *Development in Plant and Soil Sciences.* Springer-Science+Business Media, B.V.
- Flesch, T.K., Wilson, J.D., Harper, L.A., Crenna, B.P., Sharpe, R.R., 2004. Deducing ground-to-air emissions from observed trace gas concentrations: a field trial. *J. Appl. Meteorol.* 43, 487–502.
- Herrero, E., Sanz-Cobena, A., Guido, V., Guillén, M., Daudén, A., Rodríguez, R., Provoló, G., Quílez, D., 2021. Towards robust on-site ammonia emission measuring techniques based on inverse dispersion modelling. *Agric. For. Meteorol.* 307, 108517.
- Jantalia, C.P., Halvorson, A.D., Follett, R.F., Alves, B.J.R., Polidoro, J.C., Urquiaga, S., 2012. Nitrogen source effects on ammonia volatilization as measured with semi-static chambers. *Agron. J.* 104, 1595-1603.
- Laubach, J., Taghizadeh-Toosi, A., Sherlock, R.R., Kelliher, F.M., 2012. Measuring and modelling ammonia emissions from a regular pattern of cattle urine patches. *Agric. For. Meteorol.* 156, 1–17.
- Leuning, R., Freney, J.R., Denmead, O.T., Simpson, J.R., 1985. A sampler for measuring atmospheric ammonia flux. *Atmos. Environ.* 19, 1117–1124.
- Loubet, B., G'enermont, S., Ferrara, R., Bedos, C., Decuq, C., Personne, E., Fanucci, O., Durand, B., Rana, G., Cellier, P., 2010. An inverse model to estimate ammonia emissions from fields. *Eur. J. Soil Sci.* 61, 793–805.
- Martinez-Cob, A., 2008. Use of thermal units to estimate corn crop coefficients under semiarid climatic conditions. *Irrig. Sci.* 26, 335-345.
- Misselbrook, T.H., Nicholson, F.A., Chambers, B.J., Johnson, R.A., 2005. Measuring ammonia emissions from land applied manure: an intercomparison of commonly used samplers and techniques. *Environ. Pollut.* 135, 389–397.
- Ni, K., Köster, J.R., Seidel, A., Pacholski, A., 2015. Field measurement of ammonia emissions after nitrogen fertilization-A comparison between micrometeorological and chamber methods. *Eur. J. Agron.* 71, 115–122.
- Sanz, A., Misselbrook, T., Sanz, M.J., Vallejo, A., 2010. Use of an inverse dispersion technique for estimating ammonia emission from surface-applied slurry. *Atmos. Environ.* 44, 999–1002.
- Sanz-Cobena, A., Misselbrook, T.H., Arce, A., Mingot, J.I., Diez, J.A., Vallejo, A., 2008. An inhibitor of urease activity effectively reduces ammonia emissions from soil treated with urea under Mediterranean conditions. *Agric. Ecosyst. Environ.* 126, 243–249.
- Searle, P.L., 1984. The berthelot or indophenol reaction and its use in the analytical chemistry of nitrogen: a review. *Analyst* 109, 549-568.
- Sintermann, J., Neftel, A., Ammann, C., Häni, C., Hensen, A., Loubet, B., Flechard, C.R., 2012. Are ammonia emissions from field-applied slurry substantially over-estimated in European emission inventories? *Biogeosciences* 9, 1611–1632.
- Sommer, S.G., McGinn, S.M., Flesch, T.K., 2005. Simple use of the backwards Lagrangian stochastic dispersion technique for measuring ammonia emission from small field-plots. *Eur. J. Agron.* 23, 1–7.
- Yang, W., Que, H., Wang, S., Zhu, A., Zhang, Y., He, Y., Xin, X., Zhang, X., 2019. Comparison of backward Lagrangian stochastic model with micrometeorological mass balance method for measuring ammonia emissions from rice field. *Atmos. Environ.* 211, 268–273.

5

FERTIRRIEGO CON PURÍN PORCINO EN PARCELAS DEMOSTRATIVAS EN ARAGÓN (ESPAÑA)



© Life Arimeda

EVA HERRERO
DOLORES QUÍLEZ
ARTURO DAUDÉN
RAQUEL SALVADOR
MÓNICA GUILLÉN
DAVID ABIÓ
AZUCENA CRESPO
RAMÓN GEA

5.1 INTRODUCCIÓN

La ganadería de porcino en Aragón ha seguido una tendencia al alza durante los últimos 20 años, alcanzando cerca de los 9 millones de plazas en 2020. Algunos municipios de la región se han declarado con sobrecarga ganadera (ORDEN DRS/333/2019, BOA 8/04/2019) debido a una concentración media de nitrógeno (N) superior a los 220 kg N/ha procedente de la producción de estiércol y purín en sus explotaciones ganaderas. El purín de cerdo se usa habitualmente en las parcelas agrarias como fertilizante aplicado en presiembra. Aunque la prohibición de la aplicación del purín con abanico en 2020 ha favorecido una reducción en las emisiones de amoníaco, los métodos utilizados actualmente (tubos colgantes) siguen distribuyendo el purín sobre la superficie del suelo. La exposición al aire del purín aplicado sobre la superficie de la parcela provoca la pérdida de parte del nitrógeno en forma de amoníaco, las emisiones pueden alcanzar el 20-40% del nitrógeno amoniacal durante los días posteriores a su aplicación. La aplicación del purín y el estiércol al campo es responsable del 35% de las emisiones de amoníaco, siendo la gestión de las deyecciones ganaderas en su conjunto (gestión en granja + aplicación en campo) responsable de más del 70% de las emisiones totales de amoníaco en Europa (UNECE, 2021). Por este motivo, el uso de técnicas que permitan reducir estas emisiones a la atmósfera en la fertilización con purines puede proporcionar mejoras medioambientales y una mayor eficiencia en el uso de los recursos disponibles a escala local mejorando el rendimiento de las explotaciones agrícolas, minimizando las pérdidas de nutrientes y fomentando la circularidad de los nutrientes.

En el proyecto LIFE ARIMEDA se han desarrollado y evaluado técnicas de fertirrigación con purín porcino y digerido, analizando su comportamiento desde el punto de vista agronómico y medioambiental. El uso de esta técnica requiere varias etapas:

1. Separación sólido/líquido del purín
2. Transporte de la fracción líquida hasta los campos de cultivo con camión, cuba o por tubería.
3. Inyección en el sistema de riego de la parcela.

En este capítulo se presentan los principales resultados obtenidos en las parcelas de demostración instaladas en Aragón (España), donde se ha fertirrigado utilizando la fracción líquida de purín porcino. La técnica se ha implementado en pivots (P) y en riego por goteo enterrado (G) y los resultados se han comparado con los obtenidos en parcelas de referencia (R) gestionadas por los agricultores utilizando las prácticas agrícolas convencionales de fertilización con purín.

5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

Las parcelas demostrativas se ubicaron en dos comarcas de Aragón, Cinco Villas y La Litera, en dos tipos muy diferentes de suelo (Figura 5.1, Tabla 5.1). En Cinco Villas (ES-S1) en suelos poco profundos (aprox. 45 cm) y pedregosos y en La Litera (ES-S2) en suelos profundos (aprox. 100 cm) y arcillosos.

En cada una de las zonas se equiparon dos parcelas demostrativas con cultivo de maíz de grano de primera cosecha, una parcela con pívot y una con riego por goteo enterrado, instalando en ellas los sistemas de almacenamiento y equipos de inyección necesarios para el fertirriego. Simultáneamente, se realizó el seguimiento de una parcela de referencia.

Zona I Cinco Villas

Pívot (ES-S1-P) La parcela pertenece a la comunidad de regantes de Montesaso en Biota (Zaragoza) y tiene una superficie de 10,4 ha. Cuenta con 4 torres de 42 m de longitud y un brazo en voladizo de 14 m. Las boquillas de spray utilizadas habitualmente en la zona se sustituyeron por otras que proporcionan un mayor tamaño de gota y unas menores pérdidas por evaporación y arrastre con el viento (Nelson D3000). Estas boquillas se colocaron manteniendo la configuración ya existente en la instalación, a 2,8 m por encima del suelo y con una separación entre sí de 3 metros. El riego se realizó a baja presión (0,4 bar) instalando reguladores en las bajantes. La pluviometría del pívot es de 11 mm en 20 horas de riego (0,55 mm/h).

Goteo enterrado (ES-S1-G) La parcela se encuentra dentro de finca experimental Torremira, gestionada por la comunidad de regantes Acequia de Sora. Se encuentra cerca del municipio de Tauste y tiene una superficie de 2,1 ha. Riegos Iberia REGABER S.A. equipó en el marco del proyecto dos sectores de riego con tubos Netafim Dripnet autocompensante a 30 cm de profundidad. La pluviometría del sistema de riego es de 4,7 mm/h.

Referencia (ES-S1-R) La parcela de referencia se ubicó en un emplazamiento distinto cada campaña en función de la disponibilidad de parcelas e intentando reducir las distancias de desplazamiento y el número de viajes en los trabajos de seguimiento. La superficie de las parcelas monitorizada osciló entre las 0,7 y las 4,3 ha. En 2018 y 2019 los ensayos se realizaron en parcelas con riego por inundación y en 2020 en riego por aspersión.

Zona 2 La Litera

Las tres parcelas demostrativas de La Litera, se instalaron en la finca experimental de La Melusa, gestionada por la Confederación Hidrográfica del Ebro.

Pívot (ES-S2-P) La parcela tiene una superficie de 6,4 ha. Está equipada con tres torres, una de ellas de 50 m y las otras dos de 43 m. Al igual que en el pívot de las Cinco Villas, las boquillas instaladas fueron Nelson D3000, pero en esta ocasión se colocaron a 0,4 m por encima de la superficie del suelo, cada 1,4 metros para poder regar cada dos líneas de maíz. Al bajar la posición de las boquillas por debajo de la cubierta vegetal durante la mayor parte del ciclo del cultivo, fue necesario realizar una siembra en círculo de la parcela. El pívot regó a baja presión (0,4 bar) con una pluviometría de 3,8 mm en 5 horas (0,76 mm/h).

Goteo enterrado (ES-S2-G) Riegos Iberia REGABER S.A. instaló también en esta ocasión 2 sectores de riego en una parcela de 2,0 ha. Las tuberías de riego se colocaron a 30 cm por debajo de la superficie del suelo. El tipo de gotero utilizado en esta parcela es Netafim Aries 16100 turbulento y la instalación proporciona una pluviometría de aproximadamente 5,3 mm/h.

Referencia (ES-S2-R) El riego en esta parcela, ubicada al lado de las otras dos parcelas demostrativas, es aspersión. En función de la campaña, la superficie de parcela en la que se llevó a cabo el seguimiento, una parte de una parcela más grande, varió entre 1,1 y 1,5 ha.

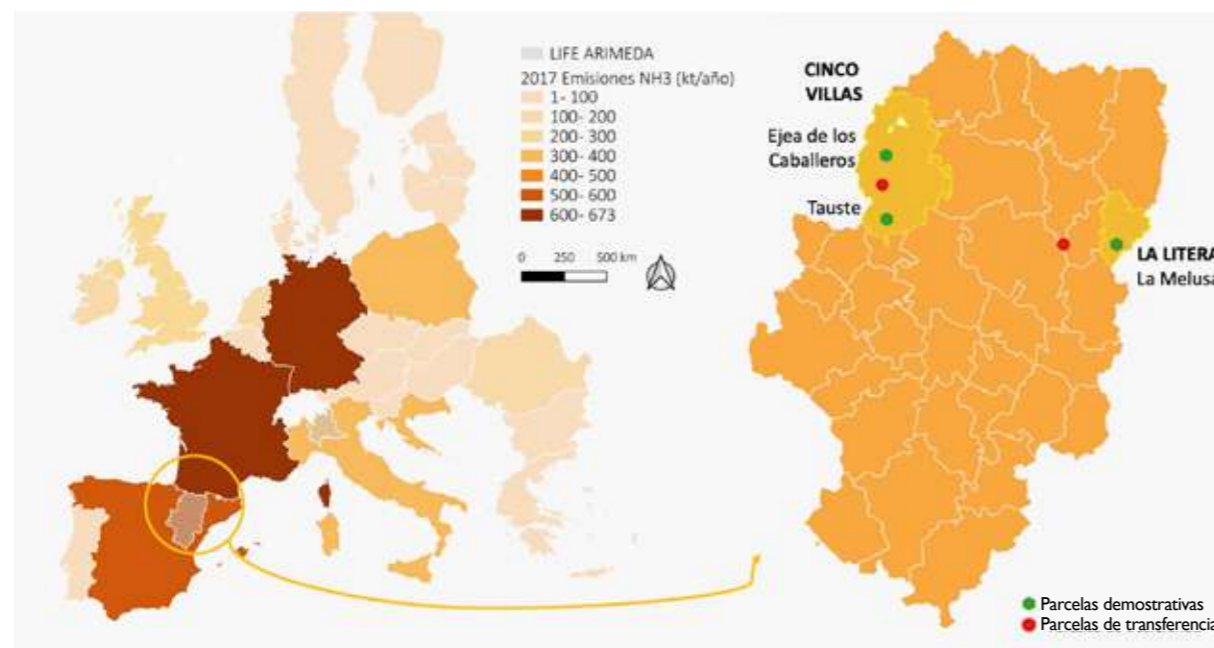


Figura 5.1. Ubicación de las parcelas demostrativas y de transferencia equipadas para fertirriego con purín porcino y evaluadas en Aragón (España).

Tabla 5.1. Características físico-químicas del suelo (0-30 cm) de las parcelas demostrativas.

Parcela	pH _{1:2,5}	CE _{1:5} dS/m, 25°C	MO %	P mg/kg	K mg/kg	Piedras (>2 mm) %	Textura
							USDA
ES-S1-P	8,20	0,20	2,60	25	458	20	Franco arcillosa
ES-S1-G	8,44	0,17	1,75	8	174	54	Arcillo arenosa
ES-S1-R ¹	8,44	0,16	3,08	29	281	-	Arcillo arenosa
ES-S1-R ²	-	0,16	1,93	17	251	57	Arcillo arenosa
ES-S2-P	8,30	0,20	2,60	25	458	0	Franco arenosa
ES-S2-G	8,26	0,23	2,39	24	204	0	Franco arenosa
ES-S2-R	8,25	0,25	2,15	21	177	0	Franco arenosa

CE_{1:5}: Conductividad eléctrica en extracto 1:5; MO: Materia orgánica; P: Fósforo; K: Potasio
¹2018-2019, ²2020

5.2.1 GESTIÓN AGRONÓMICA Y ESTRATEGIA DE FERTILIZACIÓN

El cultivo seleccionado para los ensayos fue maíz de grano debido a su uso extendido en los sistemas de regadío y a su alta demanda de nitrógeno. En todas las parcelas se cultivó maíz de ciclo largo salvo el primer año en el que las intensas lluvias de primavera de 2018 retrasaron la instalación de los equipos para el fertirriego y fue necesario cultivar variedades de ciclo corto (excepto en ES-S1-P). El maíz de ciclo largo (primera cosecha) se siembra normalmente en abril o principios de mayo y se cosecha en noviembre. En Cinco Villas el maíz se sembró un poco antes que en La Litera en las tres campañas evaluadas, lo que permitió planificar el calendario de fertirrigación en ambos sitios siguiendo una programación sin solapes pero muy ajustada y con escaso margen de error. Se utilizaron los mismos prototipos de separación sólido/líquido del purín para todas parcelas por lo que estos equipos se transportaron de una zona a otra en función de las necesidades de fracción líquida para el fertirriego en cada momento, de acuerdo al desarrollo del cultivo en cada parcela.

Todas las parcelas, tanto las demostrativas como las de referencia, se gestionaron por los agricultores realizando las labores agrícolas habituales de cada zona y de acuerdo a las necesidades de cada campaña.

En las parcelas de referencia se aplicó el purín porcino con abanico antes de la siembra, ajustando la dosis de N a 170 kg N/ha, la dosis máxima permitida en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos, y se completó con fertilizante sintético (N32 o Nitrablau, aproximadamente a 150 kg N/ha) en cobertera (Tabla 5.2).

En las parcelas demostrativas, todo el aporte de N, o su mayor parte, se suministró en cobertera de forma fraccionada inyectando la fracción líquida del purín en la red de riego en diferentes momentos. Excepcionalmente, se aplicó una pequeña dosis de N en el abonado de fondo con fertilizantes sintéticos al aportar el abonado de fósforo para las primeras etapas de crecimiento del cultivo (solo en ES-S1-P) (Tabla 5.2).

La época de riego del maíz suele comenzar a finales de mayo o principios de junio y dura habitualmente hasta septiembre. El fertirriego en los campos demostrativos se realizó en junio y julio, dependiendo de las condiciones meteorológicas y del desarrollo fenológico del cultivo. En 2018, debido al retraso del inicio de la campaña, en algunas de las parcelas la fertirrigación se extendió hasta finales de agosto (Tabla 5.3).

Tabla 5.2. Nitrógeno total (kg N/ha) aplicado en las parcelas con purín porcino (P), fracción líquida de purín porcino (FL) o fertilizante sintético (S). En el caso del P y de la FL también se indica la cantidad de nitrógeno amoniacal total (N-NH₄⁺) aplicada (kg NAT/ha).

Parcela	Año	PRESIEMBRA			COBERTERA			TOTAL		
		P	S	Total	FL	S	Total			
		kg N/ha	kg NAT/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg NAT/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha
ES-S1-R	2018	180,8	138,6	-	180,8	-	-	150,0	150,0	320,8
	2019	166,8	140,4	-	166,8	-	-	176,0	176,0	342,8
	2020	171,5	101,0	-	171,5	-	-	130,0	130,0	301,5
ES-S1-P	2018	-	-	29,0	29,0	212,5	164,5	77,9	290,4	319,4
	2019	-	-	-	-	206,2	155,5	136,3	342,5	342,5
	2020	-	-	-	-	83,1	68,5	186,3	254,8	254,8
ES-S1-G	2018	-	-	-	-	188,4	151,7	-	188,4	188,4
	2019	-	-	-	-	352,6	272,0	-	352,6	352,6
	2020	-	-	-	-	203,8	152,5	83,9	287,6	287,6
ES-S2-R	2018	267,1	168,2	-	267,1	-	-	148,2	148,2	415,3
	2019	217,7	179,5	-	217,7	-	-	148,2	148,2	356,9
	2020	232,0	137,2	-	232,0	-	-	156,0	156,0	388,2
ES-S2-P	2018	-	-	-	-	261,7	164,4	-	261,7	261,7
	2019	-	-	-	-	221,6	165,0	-	221,6	221,6
	2020	-	-	-	-	195,2	161,4	54,8	250,0	250,0
ES-S2-G	2018	-	-	-	-	163,9	103,0	26,8	190,7	190,7
	2019	-	-	-	-	299,2	224,3	-	299,2	299,2
	2020	-	-	-	-	241,5	201,6	-	241,5	241,5

En ocasiones, surgieron problemas de obstrucción en los sistemas de inyección por la presencia de suciedad en la fracción líquida o hubo falta de disponibilidad de medios de transporte adecuados en plena campaña de fertilización, problemas que no pudieron solucionarse a tiempo y obligaron a completar las necesidades de nitrógeno del cultivo con fertilizantes sintéticos en momentos puntuales. A pesar de ello, en 6 de los 12 ensayos el aporte total de N se realizó utilizando únicamente purín sin comprometer el rendimiento del cultivo (Tabla 5.2).

Tabla 5.3. Fertilización en las parcelas demostrativas de Aragón (España).

Parcela	Fecha de aplicación	Fertilizantes con FL	Dosis N / fertilizante	Dilución	N aplicado	N aplicado con FL	Rdto. del cultivo
			kg N/ha	FL:agua	kg/ha	%	t/ha
2018							
ES-S1-P	12/07-30/07	12	17,7	1:11	319,4	66,5	13,6
ES-S1-G	10/08-05/09	11	18,2	1:5	188,4	100,0	6,6
ES-S2-P	30/07-22/08	11	23,8	1:7	261,7	100,0	11,5
ES-S2-G	27/08-31/08	4	42,4	1:5	195,9	86,3	8,1
2019							
ES-S1-P	15/06-16/07	12	17,5	1:16	342,5	60,2	15,3
ES-S1-G	28/05-25/07	20	17,8	1:8	352,6	100,0	13,4
ES-S2-P	12/06-24/07	22	9,6	1:14	221,6	100,0	13,5
ES-S2-G	07/06-11/07	10	29,9	1:4	299,0	100,0	4,2
2020							
ES-S1-P	27/05-07/07	8	10,4	1:19	269,3	30,8	13,6
ES-S1-G	21/05-03/07	17	12,7	1:6	287,6	48,1	7,2
ES-S2-P	15/06-20/07	19	13,9	1:6	250,0	78,1	17,0
ES-S2-G	04/06-26/07	20	11,8	1:7	241,5	100,0	13,6

La tasa de dilución de la fracción líquida del purín al inyectarse en la red de riego (FL: agua de riego) fue mayor por lo general en los pivots, oscilando entre 1:6 y 1:19, mientras que en el riego por goteo la dilución se mantuvo entre 1:4 y 1:8. La relación entre el volumen de fracción líquida y el de agua en la mezcla final se vio condicionada fundamentalmente por la capacidad de los equipos de inyección, el tamaño de la parcela y la capacidad de almacenamiento de fracción líquida junto a las parcelas. Los menores caudales y presiones de riego en los sistemas de goteo enterrado permitieron mayores tasas de inyección de fracción líquida y en el caso de los pivots, al tratarse de parcelas de mayor tamaño, el almacenamiento en el campo fue el factor más restrictivo en la cantidad de fracción líquida inyectada en la red de riego en cada evento de fertilización (Tabla 5.4).

Tabla 5.4. Caudales medios de inyección de fracción líquida de purín (m³ FL/h) en los sistemas de riego de las parcelas demostrativas.

Parcela	Sistema de riego	2018	2019	2020
		m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
ES-S1-P	Pivot	6,4	4,7	4,3
ES-S1-G	Goteo enterrado	10,4	7,5	8,1
ES-S2-P	Pivot	11,2	5,4	8,3
ES-S2-G	Goteo enterrado	12,0	12,2	7,9

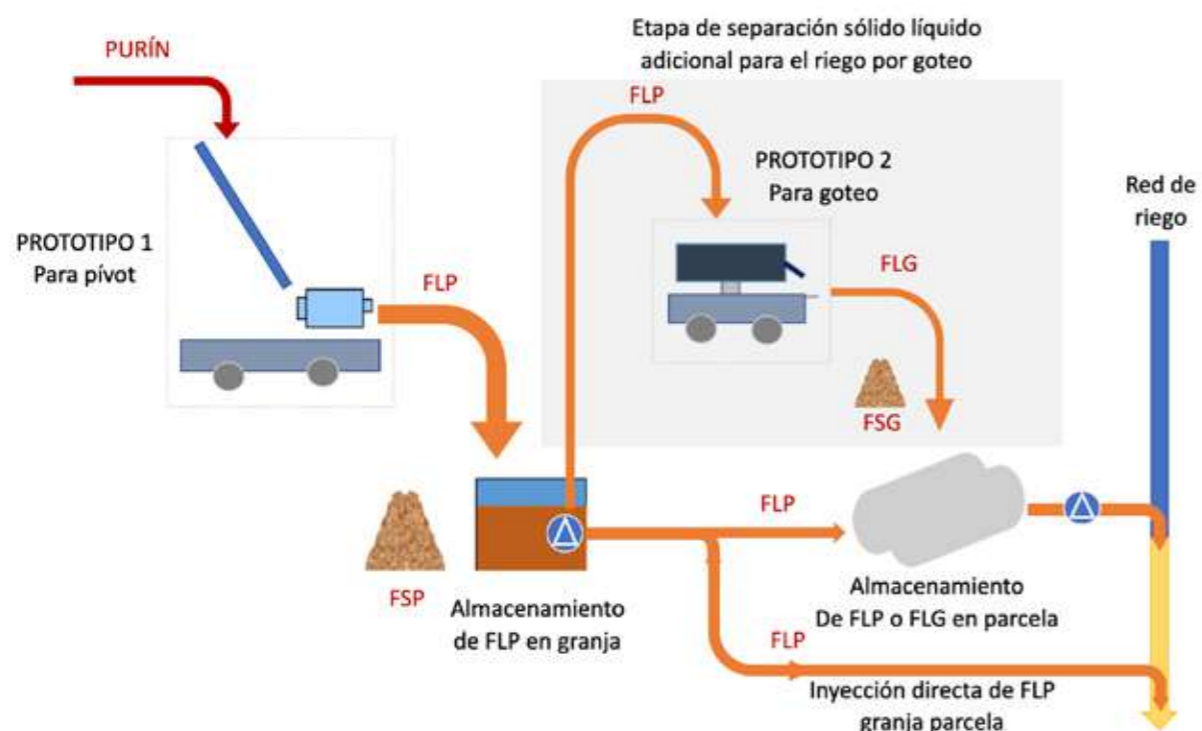
5.2.2 SEPARACIÓN SÓLIDO/LÍQUIDO DEL PURÍN

En España, la empresa Mecàniques Segalés S.L. diseñó y construyó dos prototipos portátiles para separar mecánicamente la fracción sólida del purín. El primer prototipo proporcionó fracción líquida apta para su inyección en sistemas de riego con pivot y el segundo prototipo se diseñó para que, trabajando en línea con el anterior, proporcionara fracción líquida apta para inyectarse en sistemas de riego por goteo. Cada equipo se instaló sobre una plataforma móvil independiente que permitía su transporte de una zona a otra.

Los sistemas de riego con pivots facilitan la fertilización con fracción líquida del purín ya que el diámetro de paso de las boquillas (>2 mm) admite un mayor tamaño de partículas sólidas en el agua (<500 µm). El riego por goteo requiere la eliminación de partículas mayores de 100 µm y es necesario llevar a cabo una segunda etapa de separación que es más eficiente separando los sólidos, pero que incrementa los costes y aumenta el tiempo de operación. Es necesario tener en cuenta estos aspectos a la hora de programar la temporada de fertilización. El uso de los mismos prototipos en todas las parcelas demostrativas obligó a realizar una programación muy ajustada en la que cualquier retraso afectaba a la gestión de todas las demás parcelas en ambas zonas de trabajo. Estas restricciones se pueden mitigar fácilmente dimensionando de forma adecuada el número y tamaño de los equipos de separación necesarios para cada campaña. Para ello es necesario conocer el volumen de purín que es necesario separar en función de su composición y la superficie agrícola que hay que fertilizar. En la planificación hay que tener en cuenta los rendimientos de separación de los equipos y las distancias de trabajo que es necesario cubrir en el transporte de una granja a otra.

El primer prototipo, desarrollado para obtener fracción líquida apta para el riego con pivot (FLP) estaba formado por una rampa tamiz y un tornillo prensa. El tamaño de paso del tamiz utilizado en la primera campaña fue de 600 µm y se fue reduciendo progresivamente en cada campaña hasta trabajar en 2020 con un tamiz que limitaba el paso de sólidos de tamaño superior a 250 µm. En el caso del riego por goteo, el diseño del prototipo de separación se basó en el uso de un tamiz vibratorio, similar al desarrollado en paralelo para los ensayos de Italia en los escenarios IT-S1 y IT-S3 (Capítulo 6). El paso de la malla del separador también se redujo a lo largo del proyecto de 100 µm en 2018 a 80 µm en 2020, gracias a los mejores rendimientos de separación alcanzados en el primer prototipo al reducir el tamaño de paso del tamiz 600 µm a 250 µm.

La separación de sólidos se llevó a cabo alimentando el purín al primer prototipo, donde se obtenía una fracción líquida apta para su uso en pivots, que se almacenaba en una balsa intermedia, y una fracción sólida (FSP) que se guardaba en una solera acondicionada en la granja o en un contenedor. Cuando se trabajaba en parcelas de goteo, la fracción líquida obtenida en esta primera separación alimentaba el segundo separador, el cual proporcionaba una fracción líquida (FLG) que cumplía con las restricciones de este sistema de riego y que se almacenaba en depósitos estancos donde no pudiera entrar ningún elemento exterior que pudiera ocasionar posteriores problemas de atasco u obstrucción de los sistemas de riego. La fracción sólida obtenida en esta segunda etapa de separación (FSG) se recirculó de nuevo a las balsas de purín o se almacenó junto a la primera fracción sólida (FSP) y se gestionó conjuntamente como fertilizante orgánico sólido (Figura 5.2).



FLP: Fracción líquida apta para fertirriego en pivot; FSP: fracción sólida procedente del prototipo 1; FLG: Fracción líquida apta para fertirriego en goteo; FSG: fracción sólida procedente del prototipo 2.

Figura 5.2. Esquema de la línea de proceso para llevar a cabo el fertirriego en las parcelas demostrativas de Aragón (España).

El purín utilizado en los ensayos procedía de tres granjas diferentes, dos de ellas en la zona de las Cinco Villas y otra en La Litera:

Granja 1 (ES-SI-F1) Granja de porcino con 9.100 plazas de cebo ubicada en Ejea de los Caballeros (Zaragoza, España). En ella se instaló el prototipo de separación para pivot en 2018 y suministró fracción líquida para la parcela ES-SI-P. El prototipo de separación para el goteo también se instaló en esta granja y proporcionó fracción líquida para los ensayos en ES-SI-G durante las tres campañas (Imagen 5.1). Los propietarios de la granja instalaron una rampa tamiz fija en 2019 que permitió prescindir del primer separador en estas instalaciones y seguir suministrando fracción líquida para los ensayos de riego por goteo durante la segunda y la tercera campaña de ensayos.



Imagen 5.1. Separadores sólido/líquido instalados en la granja de porcino de engorde (ES-SI-F1) que suministraron el purín para los ensayos demostrativos en la finca de Torremira, en Cinco Villas (ES-SI-G).

Granja 2 (ES-SI-F2) Granja de porcino con 5.880 plazas de cebo en Ejea de los Caballeros (Zaragoza, España). En esta granja se instaló el primer prototipo en las campañas 2019 y 2020 y proporcionó fracción líquida para la parcela ES-SI-P.

Granja 3 (ES-S2-F3) Granja de porcino con 3.150 plazas de cebo situada en Esplús (Huesca, España) (Imagen 5.2). Esta explotación suministró todo el purín necesario para poder realizar los ensayos demostrativos en La Litera (ES-S2-P, ES-S2-G) en 2019 y 2020. En la propia granja se acondicionó e impermeabilizó una balsa de hormigón existente para almacenar la fracción líquida procedente del primer separador facilitando mucho la logística de los trabajos.



Imagen 5.2. Separador sólido/líquido y balsas de almacenamiento de fracción líquida separada en la granja de porcino de cebo (ES-S2-F3) desde donde se suministró el purín para los ensayos demostrativos en la finca de La Melusa, en La Litera (ES-S2-P, ES-S2-G).

En los ensayos llevados a cabo en La Melusa (Zona 2 - La Litera), el prototipo de separación necesario para el goteo se instaló los tres años cerca de los depósitos de almacenamiento desde donde se inyectaba la fracción líquida al sistema de riego. En esta zona, acondicionada con una solera de hormigón, también se instaló un depósito vertical de 30 m³ para el almacenamiento de la FLP procedente de ES-F3 y poder realizar desde allí la segunda etapa de separación.

El rendimiento de los equipos de separación se evaluó en 6 ensayos (tres ensayos con el prototipo para pívots y tres con el prototipo para goteo) en diferentes granjas. En ellos se registraron los caudales de trabajo, la composición de las diferentes fracciones: purín bruto, fracción líquida (Tabla 5.5) y fracción sólida, el consumo eléctrico y los tiempos de operación. Con esta información se calculó la eficiencia de separación de sólidos a través de balances de masas.

En Cinco Villas, la fracción líquida utilizada en el goteo durante los 3 años y en el pívot durante la campaña de 2018 se obtuvo de la granja 1 (ES-S1-F1). El purín en esta explotación tenía pocos sólidos, lo que facilitó los trabajos de separación, pero, debido a la baja concentración de nitrógeno amoniacal (NAT) fue necesario transportar grandes volúmenes de fracción líquida para cubrir las demandas de N de los cultivos. Por este motivo, en 2019 y 2020 se utilizó el purín procedente de la granja 2 (ES-F2) más cercana al pívot y que contenía una mayor concentración de N (NAT medio 2,85 y 2,30 kg/t en 2019 y 2020 respectivamente).

En La Melusa, para la primera campaña en 2018 ambos prototipos se instalaron al lado de los depósitos de almacenamiento de fracción líquida instalados cerca de las parcelas agrícolas y el purín se suministró desde diferentes explotaciones. La gran variabilidad del contenido de sólidos del purín procedente de las distintas instalaciones dificultó la operación de los prototipos de separación en los que era necesario llevar a cabo ajustes frecuentemente. En 2019 y 2020, se utilizó el purín de la granja 3 (ES-F3) durante toda la campaña y se solucionaron en gran medida las dificultades afrontadas el primer año.

Tabla 5.5. Composición de la fracción líquida de purín utilizada en el fertirriego de los ensayos en las campañas de 2018, 2019 y 2020.

Parcela	Granja	N	Año	NAT	NKT	NAT/NKT	pH	ST	SV	SV/ST	P ₂ O ₅	K ₂ O
				kg/t	kg/t	%		%	%	kg/t	kg/t	
ES-S1-P	ES-F1	6	2018	0,94	1,60	81,4	-	1,08	0,47	43,4	0,54	2,73
ES-S1-P	ES-F2	18	2019	2,85	3,13	80,2	7,93	1,9	1,06	53,8	0,05	3,81
ES-S1-P	ES-F2	7	2020	2,30	3,04	75,7	-	2,04	1,10	54,0	0,12	4,26
ES-S1-G	ES-F1	3	2018	1,28	1,64	80,5	-	1,31	0,62	47,3	0,10	3,00
ES-S1-G	ES-F1	7	2019	1,25	1,65	78,4	8,22	1,29	0,55	41,4	0,02	3,64
ES-S1-G	ES-F1	3	2020	1,03	1,39	74,8	-	-	-	-	0,01	3,64
ES-S2-P	varias	2	2018	1,38	2,20	62,8	-	1,85	1,00	56,5	1,25	1,66
ES-S2-P	ES-F3	7	2019	2,31	3,25	74,5	7,90	2,48	1,30	52,4	0,18	3,63
ES-S2-P	ES-F3	8	2020	1,30	1,58	78,1	7,83	1,68	0,51	42,0	0,03	2,88
ES-S2-G	varias	0	2018	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ES-S2-G	ES-F3	4	2019	1,99	-	-	-	-	-	-	-	-
ES-S2-G	ES-F3	2	2020	2,44	-	-	-	3,37	-	-	-	-

FS: Fracción sólida; NAT: nitrógeno amoniacal total; NKT: nitrógeno Kjeldahl total; ST: sólidos totales; SV: sólidos volátiles; N: número de muestras.

5.3 SEGUIMIENTO MEDIOAMBIENTAL

Emisiones de amoníaco

Las emisiones de amoníaco derivadas de las actividades de fertilización en las parcelas demostrativas del proyecto se evaluaron durante tres campañas de cultivo, 2018 a 2020, siguiendo los protocolos descritos en el Capítulo 4.

El trabajo de seguimiento realizado a gran escala en campos productivos implica enfrentarse a retos adicionales y entran en juego una gran cantidad de variables no controlables que deben tenerse en cuenta a la hora de evaluar los resultados. Al mismo tiempo, la información obtenida permite hacer un análisis del uso de las prácticas de fertirrigación más próximo a las situaciones reales de producción agrícola que cuando se trabaja en ensayos controlados en laboratorio o en instalaciones experimentales a menor escala. Por ello, los resultados obtenidos deben ser analizados en el contexto de cada campaña agrícola y poner en valor los beneficios globales observados en la reducción de las emisiones de NH₃ al implementar la fertirrigación durante tres años consecutivos.

Ambos sistemas de fertirriego evaluados, pívot y goteo enterrado, proporcionaron una importante reducción en las emisiones de amoníaco (Tabla 5.6 y Figuras 5.3 y 5.4). En el caso del pívot, las reducciones fueron ligeramente superiores en Cinco Villas con valores medios que alcanzaron el 81% ($\pm 2\%$ SE) por unidad de N aplicado en las parcelas, mientras que en La Litera las emisiones de NH₃ se redujeron de media un 71% ($\pm 8\%$ SE). Esto puede contradecir los resultados esperados inicialmente teniendo en cuenta que en La Litera el fertirriego se hacía por debajo de la cubierta vegetal. En esta parcela las boquillas se encuentran a 40 cm por encima de la superficie del suelo, mientras que en Cinco Villas riegan desde una altura de 2,4 m. Sin embargo, las mayores tasas de dilución y los menores volúmenes de inyección por evento de fertirriego en Cinco Villas, pudieron tener una mayor influencia en la reducción de emisiones de NH₃ que la posición de las boquillas respecto a la cubierta vegetal en estos ensayos.

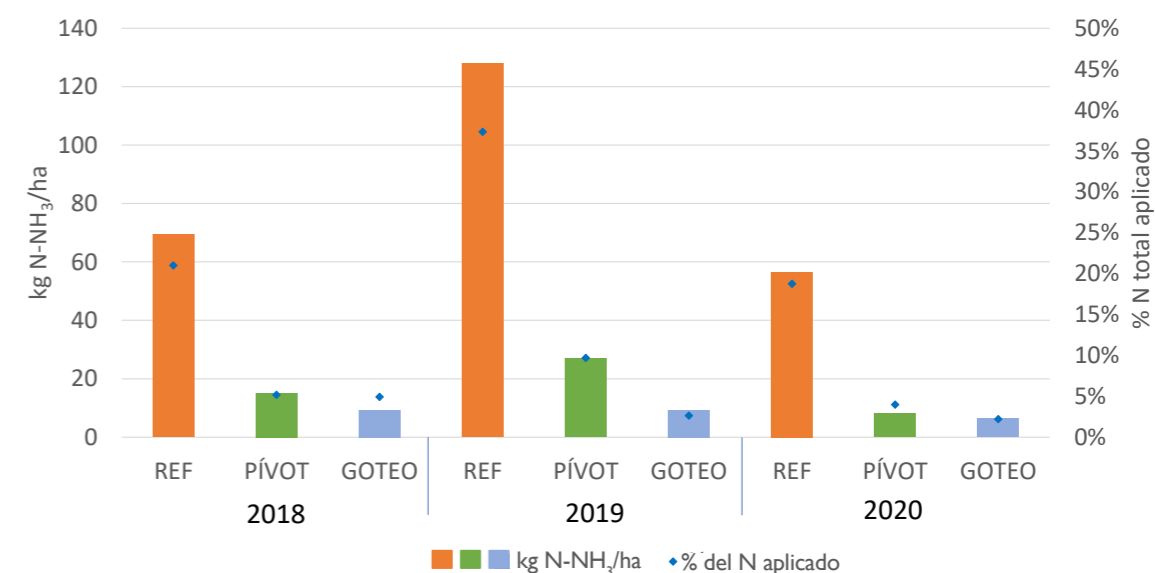


Figura 5.3. Emisiones de amoníaco en las parcelas demostrativas de la zona I - Cinco Villas (Aragón, España).

SE: Error estándar

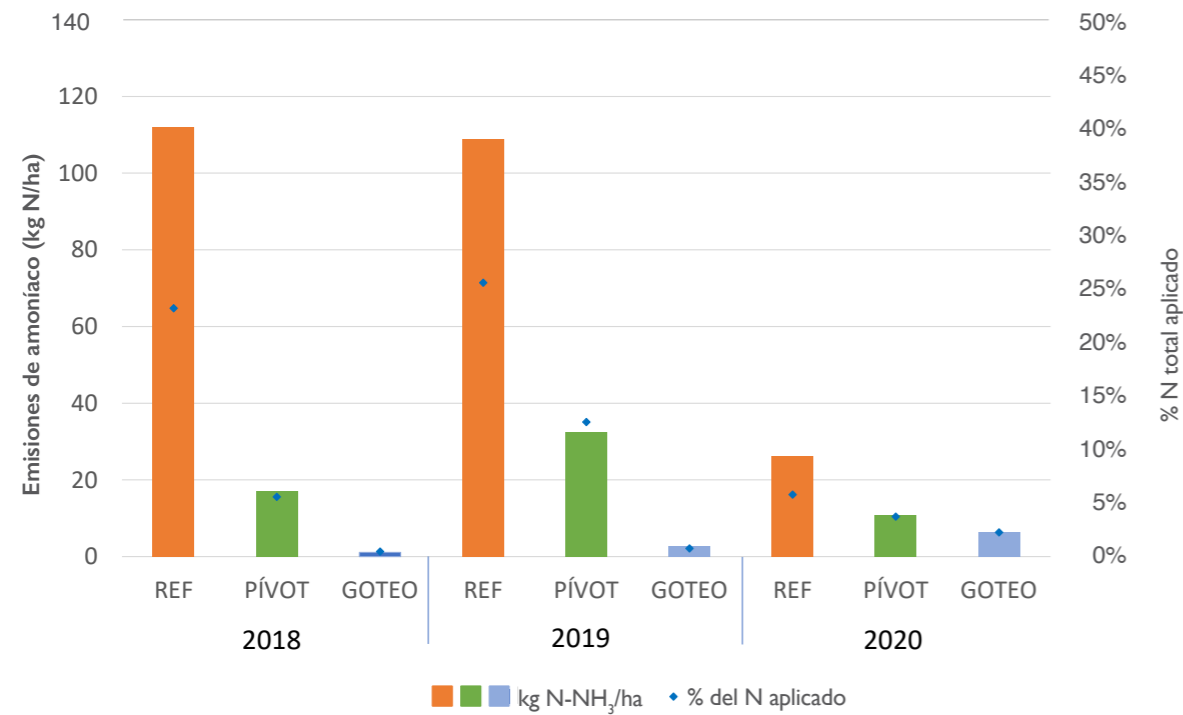


Figura 5.4. Emisiones de amoníaco en las parcelas demostrativas de la zona 2 - La Litera (Aragón, España).

El porcentaje de NH₃ emitido por unidad de N aplicado es siempre mayor en las parcelas de referencia, debido principalmente a las pérdidas asociadas a la aplicación de purín en el abonado de fondo (presiembrado). En las parcelas de referencia se emitió una media del 32,3% (±7,7% SE) del total de nitrógeno aplicado en los 6 ensayos realizados en el marco del proyecto (3 en Cinco Villas y 3 en La Litera), mientras que en la aplicación del fertilizante sintético en cobertera, las emisiones medias fueron del 9,5% (±2,1% SE) respecto al N aplicado. Estos valores medios de emisión de los fertilizantes sintéticos son superiores a las emisiones medias determinadas en el fertirriego con la fracción líquida del purín, un 7,4% (± 1,7% SE) del N total aplicado en el caso de los pivots y un 2,3% (± 0,6% SE) en el caso de los sistemas de fertirriego por goteo subsuperficial (Tabla 5.6). El riego por goteo permite trabajar con menores diluciones (mayor proporción FL:agua) manteniendo bajas las emisiones de NH₃ al aire.

No obstante, es importante señalar que no siempre se aportó el 100% del N total con la fracción líquida del purín en las parcelas demostrativas (Tabla 5.2). En algunas ocasiones, por dificultades técnicas en la puesta a

Tabla 5.6. Emisiones medias de amoníaco y reducción media de las emisiones y del N aplicado en las parcelas de fertirriego respecto a las parcelas de referencia en los ensayos monitorizados en Aragón (España).

	N aplicado (±SE)	Emisiones de N-NH ₃ (±SE)		Reducción de emisiones de N-NH ₃ ¹ (±SE)	Reducción de N aplicado ² (±SE)	
	kg N/ha	kg N/ha	% de N aplicado	%	kg N/ha	%
Referencia	357,4 (±16,7)	83,6 (±16,0)	23,4% (±4,0)	-	-	-
Pivot	277,4 (±13,4)	18,4 (±3,8)	7,4% (±1,7)	76,0% (±4,2)	90,6 (±28,0)	29% (±4,5)
Goteo	261,5 (±26,6)	5,9 (±1,4)	2,3% (±0,6)	90,0% (±3,5)	95,9 (±36,3)	25% (±9,2)

¹Respecto a las emisiones como % de N aplicado en las parcelas de referencia, ²Respecto al N aplicado en las parcelas de referencia.

punto de las técnicas evaluadas, en otras por retrasos ajenos a los ensayos no fue siempre posible ajustar la disponibilidad del purín en la parcela a los momentos de demanda del cultivo. La logística desempeñó un papel crucial en el desarrollo de los ensayos.

Riesgo de lavado de nitrato

Se instalaron en todas las parcelas sondas de succión con capsulas cerámicas en 5 puntos distribuidos homogéneamente por su superficie (distribución en W). Estas sondas se enterraron por debajo de la zona radicular del cultivo según la profundidad del suelo en cada zona. En Cinco Villas (suelos poco profundos) se enterraron a 50 cm por debajo de la superficie del suelo, mientras que, en La Litera, se enterraron a 100 cm de profundidad. Una vez a la semana, tras 24 horas de vacío, se recogieron muestras de la solución del suelo y se analizó la concentración de nitrato en el laboratorio.

La concentración de nitrato observada en las muestras recogidas en los pivots fue en general menor que la medida en los sistemas de riego por goteo y en las parcelas de referencia, que mostraban habitualmente valores dentro del mismo rango. Este comportamiento destaca especialmente en La Litera (zona 2) donde predominan suelos profundos y arcillosos. En 2019 la concentración media de nitrato observada en la parcela fue mayor de lo habitual en el riego por goteo de La Litera. Esto puede estar relacionado con una plaga de araña roja que atacó al cultivo y que mermó la producción de esta parcela durante la campaña. Como consecuencia, al inicio de 2020 estos valores de concentración de nitrato también fueron más altos de lo habitual ya que había una elevada cantidad de N disponible en el suelo proveniente de la campaña anterior (Figura 5.5).

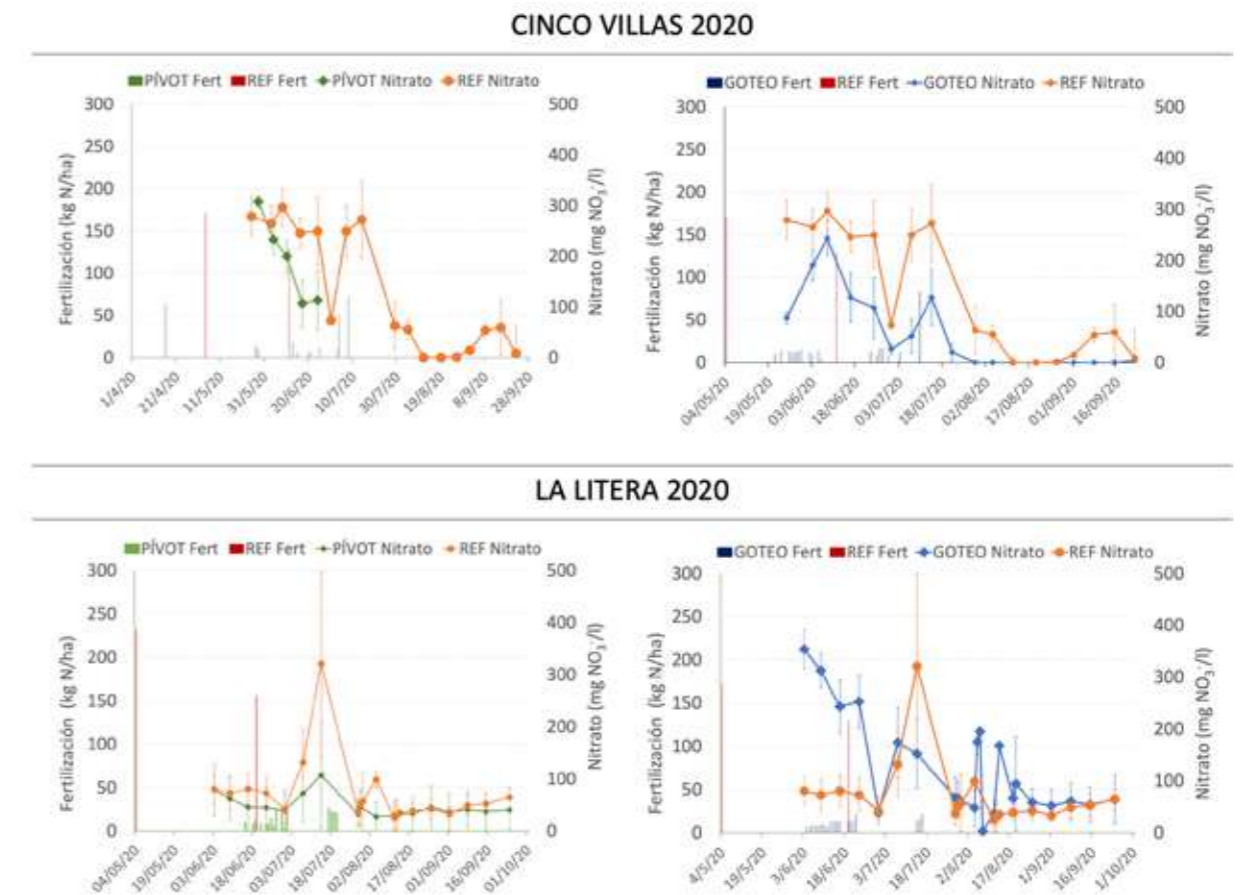


Figura 5.5. Cantidad y momentos de aplicación de fertilizante nitrogenado y concentración de nitrato media determinada en las parcelas demostrativas del Proyecto LIFE ARIMEDA en Cinco Villas (arriba) y La Litera (abajo) durante la campaña de 2020.

5.4 SEGUIMIENTO AGRONÓMICO

La fertirrigación, al fraccionar las aplicaciones, permite ajustar la dosis y el momento de aplicación de N a las demandas reales de los cultivos. A pesar de las dificultades logísticas y operativas en la puesta a punto la técnica, el uso del fertirriego con fracción líquida del purín en las parcelas demostrativas permitió aportar el 84% de las necesidades de N del cultivo en una media de 14 eventos de fertirriego por parcela y año con dosis medias de 19 kg de N/ha por evento; y se pudieron cubrir todas las necesidades de N del cultivo en 6 de los 12 ensayos demostrativos evaluados.

El nitrógeno total aplicado en las parcelas de referencia siguiendo las prácticas habituales de los agricultores en la zona osciló entre 301,5 y 415,3 kg de N/ha y la fracción del N total aplicada en el abonado de fondo con purines representó entre el 48,7 y el 64,3% respecto al total aplicado en cada campaña. En las parcelas fertirrigadas, el aporte de nitrógeno fue menor, variando entre 188,4 y 352,6 kg N/ha, un 23% menor que en las parcelas de referencia de media. Los rendimientos de los cultivos no mostraron diferencias entre las parcelas de referencia y los pívots con fertirriego, sin embargo, en varias ocasiones los rendimientos en las parcelas de goteo fueron inferiores (Figura 5.6). El crecimiento de los cultivos en las parcelas de goteo enterrado no siempre fue óptimo, y evidenció que es necesario una mayor experiencia en el manejo del riego por goteo subsuperficial para los cultivos extensivos antes de poder aplicar con éxito las técnicas de fertirrigación.

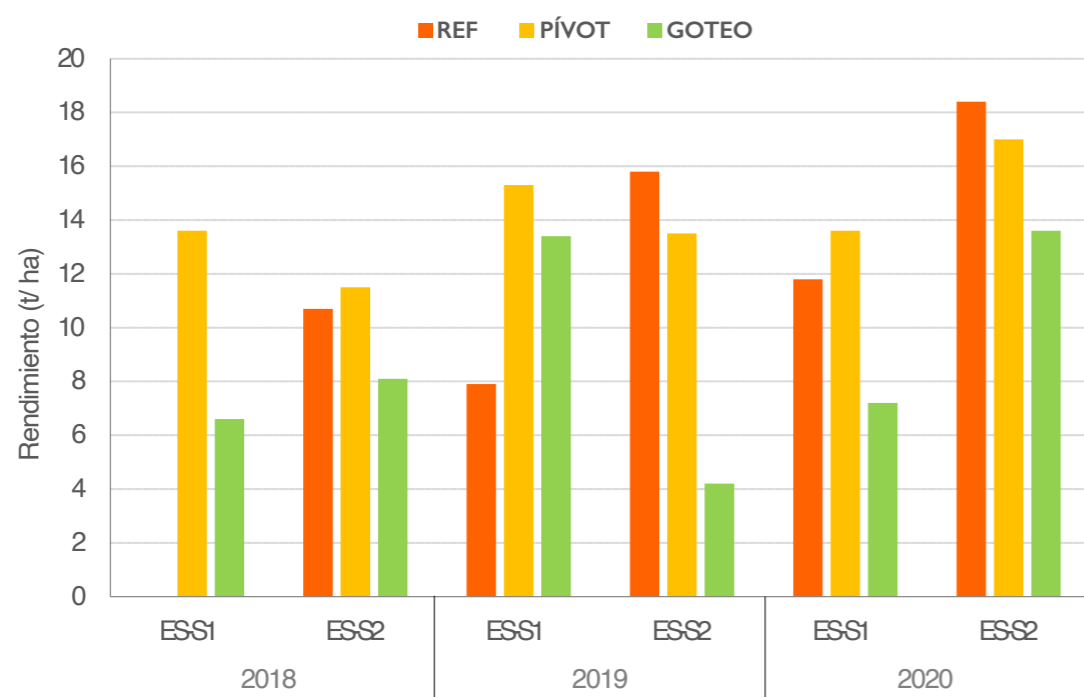


Figura 5.6. Rendimientos en la producción de maíz en las tres campañas de seguimiento del proyecto.

La extracción de nitrógeno fue menor en la primera campaña debido a que el ciclo del cultivo fue más corto; osciló entre 87,2 (ES-S2-G) y 187,8 kg N/ha (ES-S1-P). En 2019 y 2020 las variedades de maíz utilizadas fueron de ciclo más largo y la extracción de N en la biomasa aérea alcanzó un valor medio de 200 kg N/ha y fue en general menor en las parcelas de riego por goteo subsuperficial (Tabla 5.7). La eficiencia en el uso del nitrógeno (NUE) se calculó como la relación entre el N extraído en la biomasa aérea y el N aplicado. La distribución fraccionada y el ajuste de la tasa de aplicación de N a las demandas reales del cultivo con las técnicas

de fertirrigación aumentó la NUE principalmente en los sistemas de riego con pívot. La NUE en las parcelas de referencia osciló entre 0,31 y 0,72 con un valor medio de 0,52 mientras que la NUE en los sistemas de pívot alcanzó un valor medio de 0,76 con un rango de 0,59 a 1,04. En las parcelas de goteo enterrado, la NUE (a excepción de ES-S1-G en 2020) superó ligeramente los valores de los campos de referencia (rango 0,46-0,69) con un valor medio de 0,56, tal y como se esperaba debido a los menores rendimientos del cultivo obtenidos en comparación con el riego por pívot.

Parcela	N aplicado en presiembr	N aplicado en cobertura	N total aplicado	N extraído por la planta		NUE	
	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha		N extraído/N aplicado	
				Media	±SE	Media	±SE
2018							
ES-S1-R	180,8	150,0	330,8	102,8	±9,7	0,31	±0,03
ES-S1-P	29,0	290,4	319,4	187,8	±8,6	0,59	±0,03
ES-S1-G	-	188,4	188,4	86,9	±9,4	0,47	±0,05
ES-S2-R	267,1	148,2	415,3	180,2	±4,1	0,43	±0,01
ES-S2-P	-	261,7	261,7	177,6	±19,9	0,68	±0,08
ES-S2-G	-	190,7	190,7	124,8	±9,9	0,63	±0,04
2019							
ES-S1-R	166,8	176,0	342,8	130,5	±6,7	0,38	±0,02
ES-S1-P	-	342,5	342,5	243,5	±25,1	0,71	±0,07
ES-S1-G	-	352,6	352,6	192,7	±5,6	0,56	±0,04
ES-S2-R	217,7	148,2	356,9	265,0	±18,6	0,72	±0,05
ES-S2-P	0,0	221,6	221,6	231,2	±10,4	1,04	±0,05
ES-S2-G	0,0	299,2	299,2	134,6	±5,8	0,45	±0,02
2020							
ES-S1-R	171,5	130,0	301,5	208,4	-	0,69	-
ES-S1-P	-	269,4	269,4	160,0	±8,8	0,59	±0,03
ES-S1-G	-	287,6	287,6	93,5	±3,9	0,33	±0,01
ES-S2-R	232,0	156,0	338,2	250,7	±7,8	0,65	±0,02
ES-S2-P	-	250,0	250,0	242,9	±14,3	0,97	±0,06
ES-S2-G	-	241,5	241,5	166,5	±8,8	0,69	±0,04

Tabla 5.7. N aplicado, N extraído en la biomasa aérea y NUE en las parcelas demostrativas de Aragón (España).

5.5 LECCIONES APRENDIDAS Y TRANSFERENCIA A OTRAS PARCELAS

La experiencia adquirida en las parcelas demostrativas del proyecto se trasladó a otras dos explotaciones en las que se ha reproducido la técnica de fertirrigación en sistemas de riego por pivó y por goteo.

La parcela de transferencia del pivó tiene una superficie de 54,0 ha y está ubicada al lado de una granja porcina lo que permitió inyectar directamente la fracción líquida del purín desde la balsa de almacenamiento de la fracción líquida en la granja a la red de riego de la parcela a través de una tubería, evitando así todas las dificultades logísticas inherentes al transporte por carretera. En esta parcela se cubrieron todas las necesidades de N con el fertirriego en una rotación de cultivos maíz – trigo (1/2 parcela) + guisante (1/2 parcela) - maíz. La fertilización se fraccionó en 7 fertirriegos de 19 horas (Tabla 5.8), y se obtuvieron buenos rendimientos productivos y un ahorro importante de costes en fertilización.

La parcela de transferencia del goteo es más pequeña, 2,5 ha, y está ubicada junto a una granja de porcino de engorde. En esta ocasión, al tratarse de un sistema de riego por goteo fue necesario utilizar los dos prototipos de separación del proyecto para eliminar los sólidos de más de 80 µm de tamaño del purín. Para ello se instalaron dos depósitos de almacenamiento cerrados de 30 m³ en la granja donde se almacenó la fracción líquida final (FLG) que se inyectaría después en el sistema de riego. En 2019 la puesta en marcha de los equipos de separación y problemas de obstrucción en el sistema de inyección hicieron que sólo se aplicara el 49% de las necesidades de N del cultivo utilizando la fracción líquida del purín. En 2020, se consiguió cubrir todas las necesidades de N del cultivo en 8 fertirriegos (Tabla 5.8). A pesar de ello, en ambas campañas hubo un problema de encamado después de pe-

ríodos de fuerte viento cuando el cultivo ya estaba desarrollado, que provocó un descenso drástico del rendimiento. El problema no se asoció a la técnica de fertirrigación, sino a la gestión del riego, con un calendario y unas tasas de riego que no fueron las adecuadas y que afectaron al desarrollo de las raíces del cultivo.

Los resultados obtenidos en el proyecto muestran que se puede obtener una importante reducción de las emisiones de amoníaco con la técnica de fertirrigación sustituyendo a las prácticas de fertilización habituales cuando se utiliza purín. Las reducciones de emisión medias fueron del 76% (±4% SE) en sistemas de riego por pivó y del 90% (±3% SE) en riego por goteo enterrado. Estos resultados se obtuvieron gracias a la aplicación de menores dosis de N de forma más eficiente, al aumentar el fraccionamiento. El fertirriego permite distribuir de forma fraccionada el aporte de nitrógeno y sincronizarlo con las necesidades del cultivo a lo largo de todo su ciclo. Las dosis medias aplicadas por hectárea se redujeron un 29% en las parcelas de pivó (de 357,4 a 277,4 kg de N/ha) y un 25% en las de riego por goteo (de 357,4 a 261,5 kg de N/ha) en relación con las dosis de nitrógeno aplicadas por los agricultores en las parcelas de referencia y todo ello sin causar mermas en las producciones de maíz. Otro factor clave en la reducción de las emisiones de NH₃ es la dilución del purín en el agua de riego en el momento de aplicación, además del uso de técnicas de riego que minimizan las pérdidas por evaporación y arrastre como son el goteo enterrado y los sistemas de baja presión en pivóts con boquillas especialmente seleccionadas para ello.

La fertirrigación también proporcionó un aumento en la eficiencia del uso del nitrógeno, especialmente en los sistemas de riego con pivóts.

El modelo mixto granja-parcela que permite la inyección directa de la fracción líquida en la red de riego, sin necesidad de utilizar transporte por carretera, cuando se dispone de suficiente purín para cubrir las necesidades totales de N de los cultivos es la situación idónea para poder aplicar esta técnica con

éxito, tal y como se comprobó en las dos parcelas de transferencia. La necesidad del transporte por carretera de la fracción líquida del purín es uno de los principales limitantes de estos sistemas debido a la dependencia de disponibilidad de equipos para llevar a cabo este trabajo durante la temporada de fertilización y a las exigentes condiciones de limpieza que deben cumplir los transportes para evitar problemas posteriores de obstrucciones en los sistemas de inyección y riego. Además, es necesario utilizar sistemas de almacenamiento adicionales y es una dificultad añadida a la hora de planificar la logística durante la campaña.

En el sistema de riego por pivó, el tamaño de las partículas que hay que filtrar (500 µm) no es un factor limitante y en algunos casos es suficiente utilizar una rampa tamiz que no requiere una inversión elevada. Su manejo es sencillo con bajos costes de operación y mantenimiento y puede ser realizado por el agricultor de forma autónoma sin necesidad de una vigilancia continuada.

La fertirrigación en sistemas de riego por goteo, aunque garantiza menores emisiones de amoníaco, es más exigente respecto a las necesidades de separación de sólidos y tiene otros condicionantes que es importante tener en cuenta. Los goteros admiten tamaños máximos de partícula de 100 µm, lo que requirió el uso de un segundo equipo de separación sólido/líquido en línea con el utilizado para fertirriego con pivó y el uso de depósitos o balsas de almacenamiento adicionales. Además, el manejo del riego, es mucho más dependiente del tipo de suelo, por lo que requiere de conocimientos más especializados que son críticos para garantizar una buena nascencia y un buen anclaje de las plantas para evitar problemas de encamado. Además, dicho sistema no permite la aplicación de tratamientos contra plagas con el propio riego como ocurre con los pivóts o sistemas de aspersión.

Para poder llevar a cabo buenas prácticas agronómicas y ajustar la aplicación de N a las necesidades del cultivo es necesario conocer el volumen de fracción

Tabla 5.8. Distribución y cantidad de N aplicado en las parcelas de transferencia del Proyecto LIFE ARIMEDA en Aragón (España).

Parcela	Año	Superficie	Cultivo	N aplicado en fertirriego	# fertirriegos	Necesidades de N cubiertas
		ha		kg N/ha		%
Pivot	2019	54	Maíz	170,0	6	100,0
	2019/20	27	Cebada	116,5	5	100,0
	2020	27	Guisante	93,2	4	100,0
	2020	27	Maíz tras guisante	139,8	6	100,0
	2020	27	Maíz tras cebada	209,7	7	100,0
Goteo	2019	2,2	Maíz de ciclo corto	107,2	5	49,5
	2020	2,2	Maíz	232,0	8	100,0

líquida que se inyecta en el sistema y su concentración de nitrógeno. En los sistemas de riego con pívot, si no hay instrumentación que permita controlar los volúmenes inyectados, siempre es posible realizar una estimación de las dosis de N aplicadas analizando la concentración de amonio en el agua de riego tras la inyección de la fracción líquida de purín en algunos de los eventos de fertirriego y multiplicando esta concentración por la pluviometría del sistema para estimar las dosis de N aplicadas.

Los sistemas de gestión colectiva del purín porcino, como el realizado por la ADS Ejea (Zaragoza) y que ha formado parte de las actividades del proyecto LIFE ARIMEDA, pueden facilitar enormemente la inyección de la FL en sistemas de riego presurizados en zonas agrarias. Pueden actuar coordinando la logística necesaria para tener éxito en el proceso mediante: (1) estimación de las necesidades de fracción líquida de purín, (2) control y seguimiento de su riqueza en nitrógeno, (3) planificación de las operaciones de separación en función del rendimiento de los equipos y (4) la coordinación del transporte hasta las parcelas agrícolas cuando es necesario utilizar camiones o cubas para ello. De esta forma, al permitir un manejo conjunto de diversas explotaciones ganaderas y agrícolas puede ser posible aplicar con éxito el nitrógeno en el momento en el que el cultivo lo necesita. Como conclusión final, utilizando buenas prácticas y bajo las premisas detalladas a lo largo de este capítulo, el uso de la fertirrigación puede ser una herramienta útil a tener en cuenta que puede contribuir a una mejor gestión del purín en zonas agrícolas mediterráneas como Aragón donde hay regiones en las que conviven la ganadería intensiva y los cultivos extensivos de regadío.



REFERENCIAS

UNECE, 2021. Assessment Report on Ammonia. Economic Commission for Europe Executive Body for the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution Working Group on Strategies and Review.

ORDEN DRS/333/2019, de 25 de marzo, por la que se declaran, en base al índice de carga ganadera, los municipios con sobrecarga ganadera por exceso de nitrógeno de origen orgánico procedente de la actividad ganadera. BOA nº 68, 4/08/2019.

6

FERTIRRIEGO CON DIGERIDO EN PARCELAS DEMOSTRATIVAS EN LOMBARDÍA (ITALIA)



GIORGIO PROVOLO
VIVIANA GUIDO
ANDREA GUIDETTI
ALBERTO FINZI
EVA HERRERO
DOLORES QUÍLEZ

6.1 INTRODUCCIÓN

La producción ganadera en Lombardía, con una fuerte presencia en el sureste de la región, se encuentra entre los sistemas más intensivos de Europa, generando grandes cantidades de deyecciones animales. La cantidad de nitrógeno en estas deyecciones se estima en alrededor de 130.647 toneladas al año, que provienen de la producción bobina (carne y vacas lecheras) en un 60%, de la porcina en un 28% y de la de aves de corral en un 10% (ERSAF, 2011). Los ganaderos o agricultores tienden a eliminar estos efluentes lo más rápido y tan cerca de la granja como sea posible, ya que el almacenamiento de estiércol es limitado, de 4 a 6 meses según el tipo de estiércol (ERSAF, 2011) y tiene costes importantes adicionales a los del transporte y aplicación al campo. El nitrógeno contenido en estas deyecciones excede las necesidades de los cultivos, lo que puede explicarse por el sistema de producción animal que se caracteriza por la ausencia de pastoreo y porque la mayor parte de los compuestos proteicos de los piensos son importados.

En estrecha relación con la actividad ganadera pero también con los principales cultivos energéticos (principalmente maíz y cereales de otoño-invierno), se han construido en los últimos 20 años numerosas plantas para la producción de energía eléctrica a partir de biogás. Lombardía tiene el mayor número de plantas de biogás y la mayor capacidad instalada de toda Italia, más de 560 plantas funcionan alimentadas con estiércoles y biomasa vegetal, poseen un tamaño medio de 680 kW_e de potencia instalada y la mayoría de ellas son gestionadas directamente por los agricultores.

El digerido es el subproducto de esta actividad y tiene un contenido de nutrientes muy valioso. El nitrógeno en el digerido se encuentra principalmente en forma de nitrógeno amoniacal, muy propenso a la volatilización. Así, aunque este producto es un excelente fertilizante, debe almacenarse y aplicarse en el campo con técnicas que limiten las emisiones a la atmósfera. Por este motivo, el proyecto LIFE ARIMEDA en Italia centró su actividad en el uso de digerido para el fertirriego como una técnica adecuada para la reducción de las emisiones de amoníaco.

6.2 DESCRIPCIÓN DE LAS PARCELAS DEMOSTRATIVAS

Se evaluó el uso de técnicas de fertirrigación en pívots y sistemas de riego por goteo utilizando la fracción líquida del digerido después de la separación de los sólidos y se comparó con las prácticas tradicionales de fertilización utilizando los mismos sistemas de riego en 3 explotaciones (Figura 6.1):

- **Granja Horti Padani (IT-S1)** en la provincia de Cremona, equipada con un pívot y con plantas de biogás alimentadas con purín de porcino y biomasa (ensilado de maíz, trigo, cebada, sorgo y subproductos); esta finca se monitorizó en 2018 y 2019.
- **Granja Agriferr (IT-S2)** en la provincia de Mantua, con riego por goteo y con plantas de biogás alimentadas con estiércol de ganado bovino y avícola y con biomasa (ensilado de maíz, trigo, cebada, sorgo, remolacha azucarera y subproductos); esta finca se monitorizó en 2018, 2019 y 2020.
- **Granja La Maddalena (IT-S3)** en la provincia de Brescia, equipada con un pívot y con plantas de biogás alimentadas con estiércol avícola y biomasa (ensilado de maíz, trigo, cebada, sorgo y subproductos); esta finca se monitorizó en la campaña de 2020.

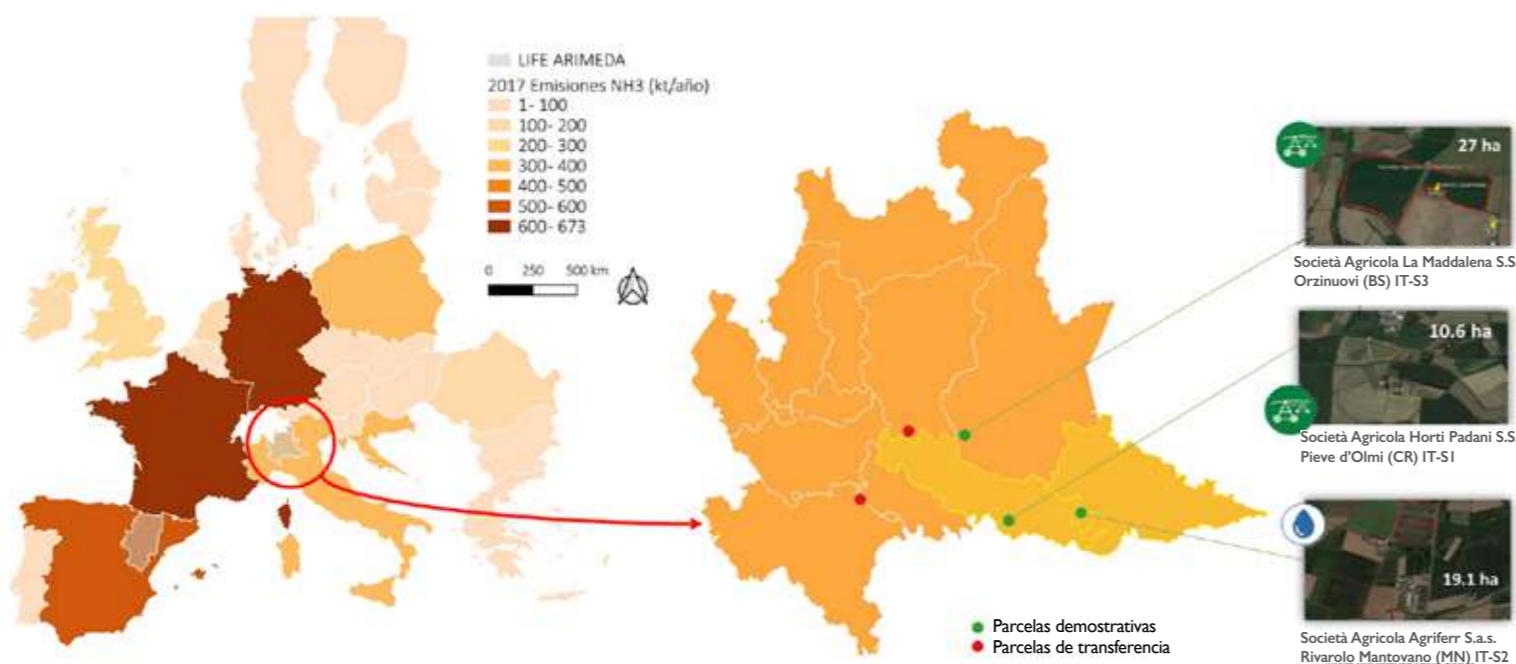


Figura 6.1. Localización de las explotaciones donde se ubicaron las parcelas demostrativas en Lombardía (Italia).

En todas las parcelas demostrativas se sembró un cultivo de maíz para ensilado, después de un cereal de invierno. Tanto en las parcelas de fertirriego como en las de referencia se aplicó digerido en presembrado. Las características de las parcelas y las técnicas de fertilización utilizadas se resumen en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Características de las parcelas demostrativas y técnicas de fertilización en las tres explotaciones de Lombardía (Italia).

	IT-S1	IT-S2	IT-S3
Sistema de riego			
Parcelas con fertirriego	Pívot	Goteo	Pívot
Parcelas de referencia	Pívot	Goteo	Pívot
Técnica de aplicación del digerido en fondo			
Parcelas con fertirriego	Incorporación directa	Incorporación directa	Inyección superficial
Parcelas de referencia	Abanico con incorporación 24 horas	Abanico con incorporación 24 horas	Inyección superficial
Superficie de las parcelas (ha)			
Parcelas con fertirriego	10,6	10,2 – 19,1	27,0
Parcelas de referencia	7,0-9,0	3,0 – 7,0	10,0
Periodo de seguimiento			
Todas las parcelas	2018 y 2019	2018, 2019 y 2020	2020

6.2.1 GESTIÓN AGRONÓMICA

En la Tabla 6.2 se presenta la información principal sobre las campañas de seguimiento en las fincas demostrativas; en todos los casos, la fertilización previa a la siembra y la siembra se han realizado entre principios de junio hasta principios de julio, después de la cosecha del cereal de invierno.

Tabla 6.2. Fechas y actividades realizadas en las parcelas demostrativas de las tres explotaciones de Lombardía (Italia).

	Año	Fertilización presembrado	Siembra	Fertirriego	Eventos de fertirriego	Digerido fertirriego (m ³ /ha)
IT-S1	2018	12/07	15-17/06	20/07 - 09/08	6	75-85
	2019	13/06	18-21/06	25/07 - 12/08	4	74-85
IT-S2	2018	01-07/06	17/06-5/07	31/07 - 21/08	3	71-118
	2019	08/06	10-18/06	1/08, 12/08	2	86-230
	2020	26/05-3/06	1-6/06	15/07, 20/08	2	83-108
IT-S3	2020	1/06	16-19/06	27/07, 12/08	2	58-110

Un resumen de la fertilización nitrogenada aplicada en las diferentes parcelas en cada año se muestra en la Tabla 6.3. Solo se aplicó fertilización mineral en las parcelas de referencia del año 2020, mientras que en las parcelas demostrativas solo se aplicó digerido, tanto en presembrado como en cobertera con el fertirriego.

El suministro total de nitrógeno fue diferente en cada parcela porque se priorizaba la necesidad de gestión de los estiércoles producidos en cada explotación sobre las necesidades de los cultivos. Dependiendo del año, la cantidad de nitrógeno aplicada varió entre 461 y 942 kg N/ha en las parcelas de referencia y entre 304 y 559 kg N/ha en los campos fertirrigados (Tabla 6.3).

Tabla 6.3. Nitrógeno aplicado en las parcelas demostrativas de Lombardía (Italia).

Explotación	Año	Parcelas de referencia			Parcelas fertirrigadas		
		Presiembra kg N/ha	Cobertera kg N/ha	Total kg N/ha	Presiembra kg N/ha	Cobertera kg N/ha	Total kg N/ha
IT-S1	2018	659	-	659	337	136	473
	2019	461	-	461	441	125	566
IT-S2	2018	464	-	464	329	43	372
	2019	942	-	942	466	45	511
	2020	511	94	605	482	55	537
IT-S3	2020	498	110	608	551	315	866

Las condiciones meteorológicas durante el período de cultivo del maíz fueron las habituales en la zona. Las temperaturas medias fueron de 22-25°C y las precipitaciones variaron entre 74 y 192 mm en las diferentes parcelas y años. La velocidad media del viento fue de 1-2 m/s.

6.2.2 SEPARACIÓN SÓLIDO/LÍQUIDO DEL DIGERIDO

El esquema general del proceso de separación fue similar en cada granja (Figura 6.2). El digerido bruto (D) se sometió a un primer paso de separación sólido-líquido en un tornillo-prensa, la fracción líquida obtenida (FL1) se envió a un depósito de almacenamiento (Depósito 1) desde el cual se bombeó a un segundo separador. El segundo separador era un tamiz vibrador en IT-S1 y en IT-S3 y un microfiltro en IT-S2. La fracción líquida obtenida de este segundo separador (FL2) se almacenó en un segundo depósito (Depósito 2) antes de ser inyectada en el sistema de riego. El depósito 2 tenía un volumen diferente en cada granja, que osciló entre 7,5 m³ (IT-S3) y 38 m³ (IT-S1), dependiendo de la necesidad de almacenar el digerido filtrado antes de su inyección al campo.

Los separadores de tornillo-prensa tenían diferentes tamaños de filtro en cada una de las tres granjas: granja IT-S1 con malla de 700-900 µm (Sepcom Horizontal — WAM Italia SpA, Ponte Motta / Cavezzo, MO, Italia); granja IT-S3 con malla de 800 µm (Sepco m Horizontal — WAM Italia SpA) y granja IT-S2 con malla de 500 µm (sm260 mini — CRI-MAN, Correggio, RE, Italia).

El tamiz vibrador (Imagen 6.1 a) instalado en las granjas IT-S1 e IT-S3 por Acquafert srl (Cicognolo, CR, Italia), estaba acoplado a un sistema que limpiaba el tamiz a intervalos regulares usando una solución de ácido sulfúrico (50% v/v). En la granja IT-S2 se instaló un microfiltro (Sepcom MFT50 0—WAM Italia SpA) (Imagen 6.1 b). En las granjas IT-S1 e IT-S3, equipadas con un sistema de riego de pivó, el tamaño de la malla montada en el tamiz vibrador fue de 200 y 500 µm respectivamente, adecuado para el tamaño de las boquillas del pivó, que fue de al menos 2 mm. En comparación, en la granja IT-S2 equipada con sistema de riego de goteo (Typhoon plus de Netafim), el microfiltro garantizó el filtrado de partículas mayores de 50 µm. Estos valores se consideraron suficientes con respecto a los tamaños de filtración recomendados para los emisores en las líneas de goteros (de 130 a 200 µm) por el fabricante.

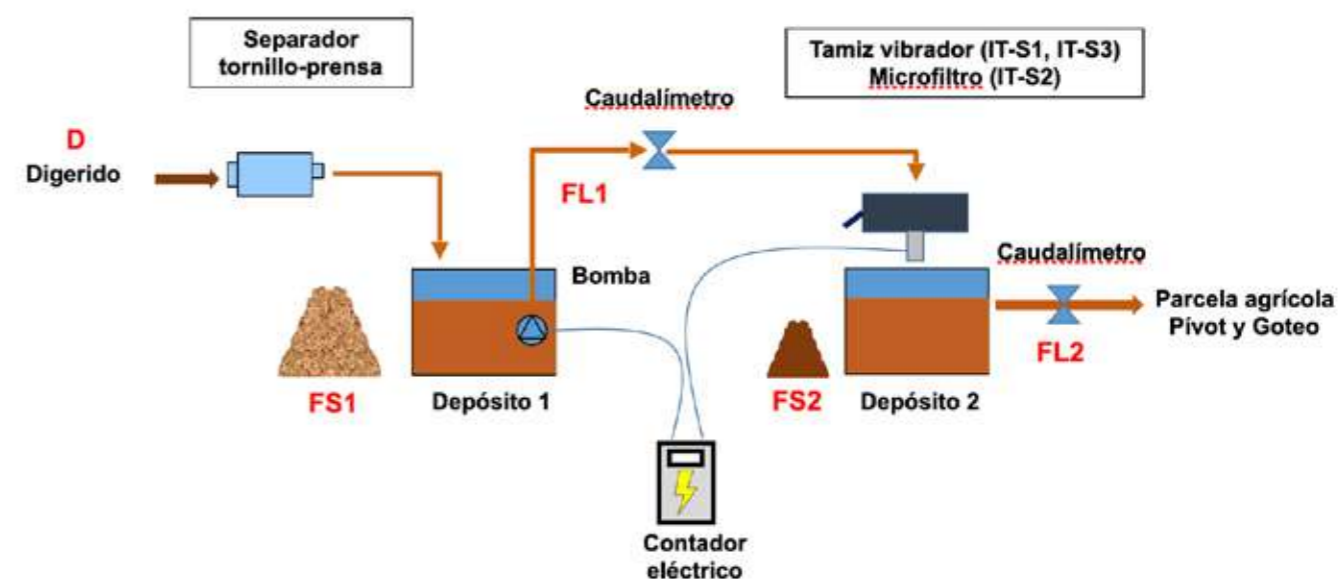


Figura 6.2. Esquema de la separación sólido-líquido en las granjas con los dos separadores.

El funcionamiento de los sistemas de separación se monitorizó en cada evento de fertirrigación. Así se registraron los volúmenes y caudales del digerido, las características de los distintos productos obtenidos y el consumo de electricidad. Estos datos se utilizaron para evaluar el rendimiento del sistema mediante el cálculo de balances de masa e índices de eficiencia de separación.

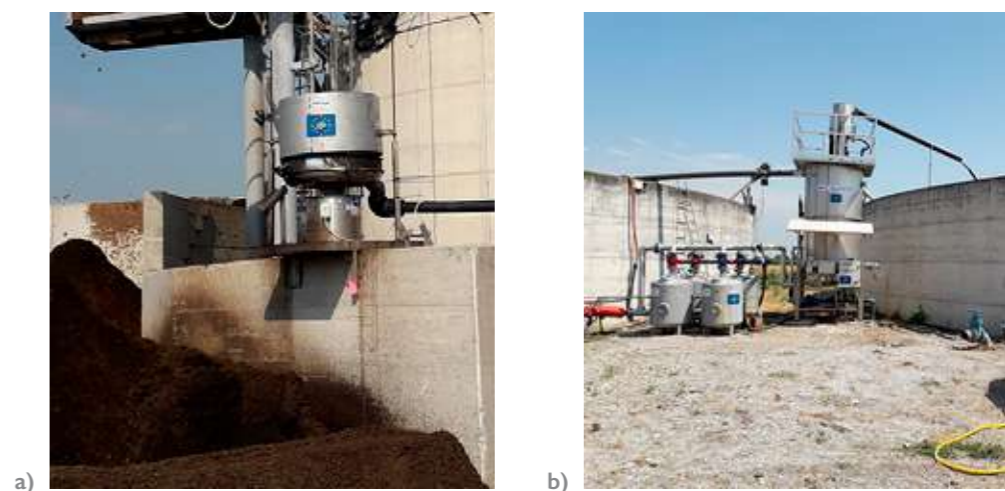


Imagen 6.1. Separador con tamiz vibrador (a) y microfiltro (b) utilizados para la separación del digerido en Lombardía (Italia).

Las características del digerido que se inyectó en el riego en las parcelas demostrativas en cada año se detallan en la Tabla 6.4. Las concentraciones de nitrógeno amoniacal (NAT) y nitrógeno total (NKT) en la fracción líquida obtenida después del proceso de separación estaban alrededor o por encima de los 3,3 g/kg. El contenido de NKT osciló entre 4,5 y 6,1 g/kg dependiendo principalmente del tipo de alimentación del digestor anaeróbico. Las concentraciones se mantuvieron comparables a las de los digeridos comúnmente utilizados en el área, con una relación NAT/NKT entre 60% y 74%.

Tabla 6.4. Características de la fracción líquida de digerido que se utilizó para el fertirriego en las parcelas demostrativas de Lombardía (Italia). Valores medios, entre paréntesis desviación estándar.

Explotación	Año	NAT	NKT	pH	ST
		g/kg	g/kg	kg N/ha	kg N/ha
IT-S1	2018	3,6 (±0,5)	6,1 (±1,0)	8,0 (±0,1)	5,8 (±1,2)
	2019	3,5 (±0,1)	5,5 (±0,4)	8,2 (±0,1)	4,8 (±0,2)
IT-S2	2018	3,3 (±0,1)	4,5 (±0,1)	7,8 (±0,2)	3,9 (±0,2)
	2019	3,4 (±0,1)	4,9 (±0,2)	8,0 (±0,1)	4,3 (±0,2)
	2020	3,7 (±0,1)	5,1 (±0,1)	8,3 (±0,2)	4,4 (0,1)
IT-S3	2020	4,2 (±0,1)	6,1 (±0,4)	8,4 (±0,1)	4,8 (±0,3)

NAT: Concentración de N amoniacal; NKT: Concentración de N total (Kjeldahl); ST: Sólidos totales

De acuerdo con las estrategias de filtración adoptadas, la fracción líquida del digerido mostró una composición comparable a la del digerido bruto, con un contenido de sólidos totales de entre 3,9 % y 5,8%. El alto contenido de sólidos totales (ST) después de la filtración se debe al aumento de sólidos disueltos y sólidos finos que se produce durante y después de la digestión anaeróbica.

6.3 RESULTADOS MEDIOAMBIENTALES

Emisiones de amoníaco

Los datos medios de concentración de amoníaco en el aire recogidos con los captadores ALPHA® y procesados con WindTrax permitieron calcular las emisiones de amoníaco a la atmósfera, después de las aplicaciones del digerido en pre-siembra y durante el período de fertirrigación. Aunque las dosis de nitrógeno aplicadas en las parcelas de referencia y en las parcelas demostrativas en los distintos años fueron diferentes, se ha podido observar el efecto positivo de la técnica de fertirriego con el digerido en comparación con los métodos habituales de aplicación del mismo. Las emisiones totales por unidad de N aplicado fueron menores en las parcelas fertirrigadas que en las parcelas de referencia.

En IT-S1 (sistema de riego por pivót) se midieron las emisiones de amoníaco en los años 2018 y 2019. En ambos años las emisiones fueron menores cuando se utilizó la incorporación en la aplicación de fondo o pre-siembra y la fertirrigación en cobertera (Figura 6.3). En 2019 se emitió una cantidad muy baja de amoníaco, probablemente debido a las condiciones meteorológicas de los días posteriores a la aplicación. La emisión media fue de 88 kg N-NH₃/ha para referencia y 25 kg N-NH₃/ha para las parcelas con fertirriego.

La reducción en la emisión de amoníaco se refleja también en el porcentaje de nitrógeno total emitido en relación a la cantidad de N aplicada, con un valor de 14% y 5% para las parcelas de referencia y las parcelas con fertirriego respectivamente. Es interesante resaltar que la reducción media de las emisiones (64%) es casi constante en los dos años, a pesar de las enormes variaciones en la magnitud de la emisión entre años dentro de la misma técnica de fertilización.

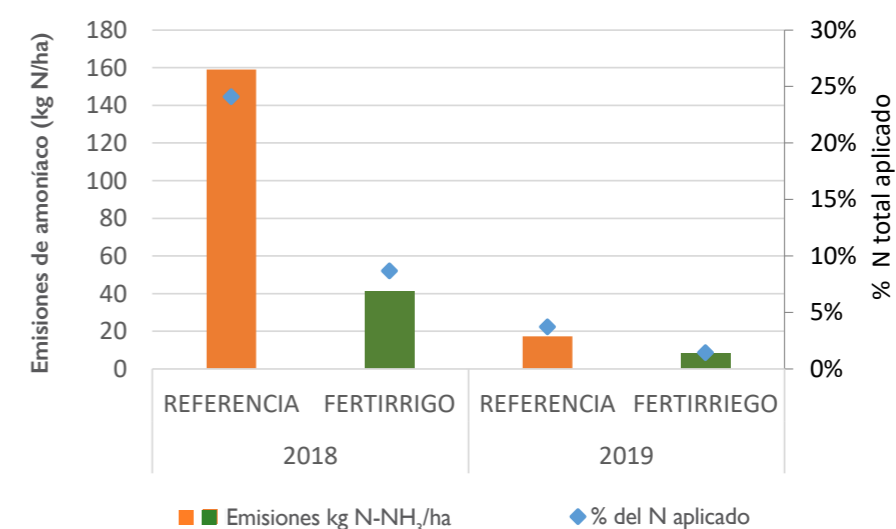


Figura 6.3. Emisiones de amoníaco en las parcelas de referencia (naranja) y en las parcelas de fertirriego con pivót (verde) en los dos años de monitorización en la granja IT-S1. Los puntos azules representan el porcentaje de amoníaco emitido por unidad de nitrógeno total aplicado.

En la granja IT-S2, la cantidad de amoníaco emitida en las parcelas de referencia y en las fertirrigadas se presenta en la Figura 6.4. La parcela de referencia muestra unas emisiones medias (de los 3 años) de 59 kg N-NH₃/ha, mientras que en la parcela de fertirriego la combinación de la incorporación directa en fondo en combinación con el fertirriego en goteo reduce las emisiones de amoníaco a un promedio de 12 kg N-NH₃/ha.

La cantidad de amoníaco volatilizada en relación a la cantidad de nitrógeno total aplicada fue, en promedio de los 3 años, de 9% para las parcelas de referencia y 3% para las de fertirriego en goteo. Así, la reducción de las emisiones de amoníaco mediante la incorporación en presiembra y la fertirrigación en sistema de goteo en cobertera permitió disminuir en un 70% las emisiones de amoníaco en esta granja.

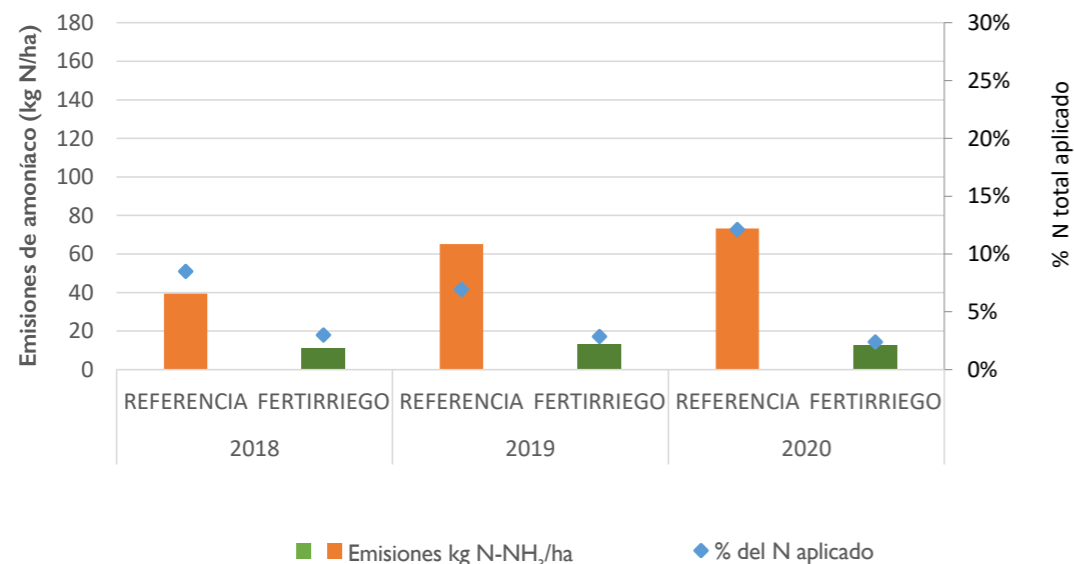


Figura 6.4. Emisiones de amoníaco en la parcela de referencia (en naranja) y en la parcela de fertirriego (en verde) en los años de monitorización en la granja IT-S2 y porcentaje de amoníaco emitido por unidad de nitrógeno total aplicado.

Por último, en IT-S3 la aplicación de digerido en fondo se ha realizado con inyección superficial tanto en la parcela de referencia como en la de fertirriego. Además, en la parcela de referencia se aplicó N mineral en forma de urea en cobertera.

El valor absoluto de las emisiones de amoníaco fue mayor para la parcela de fertirriego, 78 kg N-NH₃/ha, asociado a la aplicación de una dosis muy alta de nitrógeno, aunque las emisiones de amoníaco por unidad de N aplicado fueron similares en la parcela de referencia y en la de fertirriego (Figura 6.5).

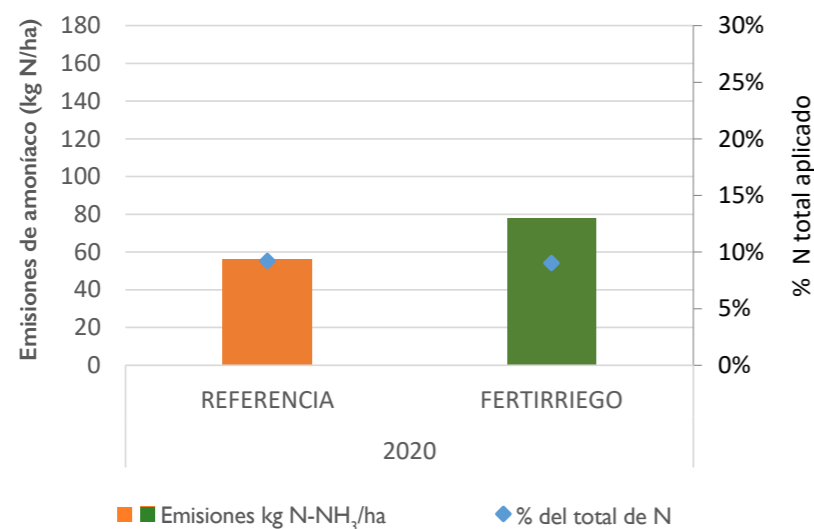


Figura 6.5. Emisiones de amoníaco en la parcela de referencia (en naranja) y en la parcela de fertirriego (en verde) en la granja IT-S3. Los puntos azules representan el porcentaje de amoníaco emitido por unidad de nitrógeno total aplicado.

De los resultados obtenidos se puede concluir que la fertirrigación es una técnica adecuada para reducir las emisiones de amoníaco a la atmósfera y que su efecto puede potenciarse mediante el uso de una técnica de mitigación en la aplicación del digerido en fondo.

Aunque se instalaron y monitorizaron sondas de succión, en la mayoría de los casos el suelo estaba seco a 60 cm de profundidad y, por lo tanto, no fue posible obtener información comparativa sobre el riesgo de lixiviación de nitrato. Sin embargo, estos resultados sugieren que los nitratos se mantienen en el suelo en las condiciones habituales de manejo de las parcelas y que una eventual lixiviación puede ocurrir solo cuando se produce un evento de lluvia intensa.

6.4 RESULTADOS AGRONÓMICOS

En IT-S2 aunque hay una variabilidad entre años y parcelas, los rendimientos medios de los 3 años en las parcelas de referencia y de fertirriego fueron similares (Figura 6.6). Este resultado era esperado ya que el agricultor aplicó una dosis alta de nitrógeno para garantizar el rendimiento del cultivo y la disponibilidad de nutrientes no fue un factor limitante.

La absorción de nitrógeno por el cultivo varió entre 165 y 198 kg N/ha con un valor medio de 183 kg N/ha (198, 168 y 182 kg N/ha en las parcelas de referencia y 165, 193 y 191 kg N/ha en las parcelas de fertirriego para los años 2018, 2019 y 2020 respectivamente).

Tanto los rendimientos como la absorción de nitrógeno pueden considerarse inferiores a los valores usuales para este cultivo en la zona, pero se tiene que tener en cuenta que el maíz se sembró entre principios de junio y principios de julio y que el periodo de crecimiento osciló de 93 a 125 días con un valor medio de 113 días, más corto de lo habitual.

En IT-S1 los rendimientos son más altos que en IT-S2, especialmente en el año 2018 (Figuras 6.6 y 6.7) a pesar de que el ciclo de cultivo fue un poco más corto (media de 103 días). Además, en esta granja el rendimiento en las parcelas de referencia y en las de fertirriego es similar. La absorción de nitrógeno por los cultivos fue para la parcela de referencia de 233 y 188 kg N/ha en los años 2018 y 2019 respectivamente, mientras que en la parcela de fertirriego fue de 238 y 184 kg N/ha para los años 2018 y 2019 respectivamente.

En IT-S3 el rendimiento en el pivó de referencia ha sido de 17,6 t de materia seca/ha mientras que en el pivó de fertirriego fue de 15,6 t / ha con una absorción de nitrógeno de 260 y 214 kg N/ha para referencia y fertirriego respectivamente. Estas diferencias se atribuyen a la variabilidad de las parcelas más que a las técnicas de aplicación del digerido evaluadas en el proyecto.

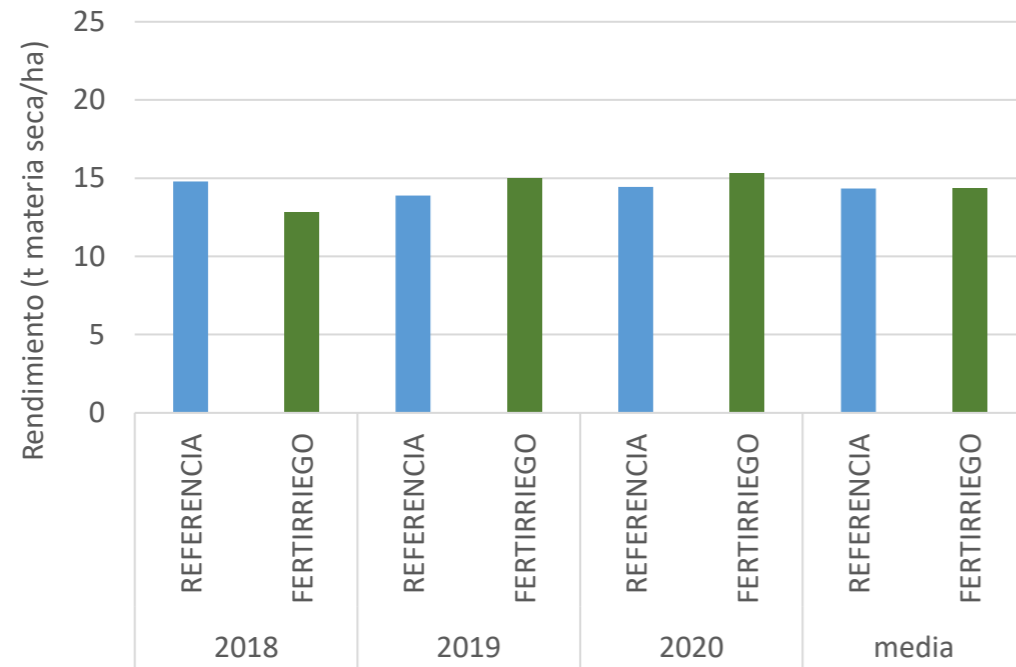


Figura 6.6. Rendimiento del maíz de ensilado en la parcela de goteo de referencia (en azul) y en la parcela de goteo de fertirriego (en verde) en la granja IT-S2.

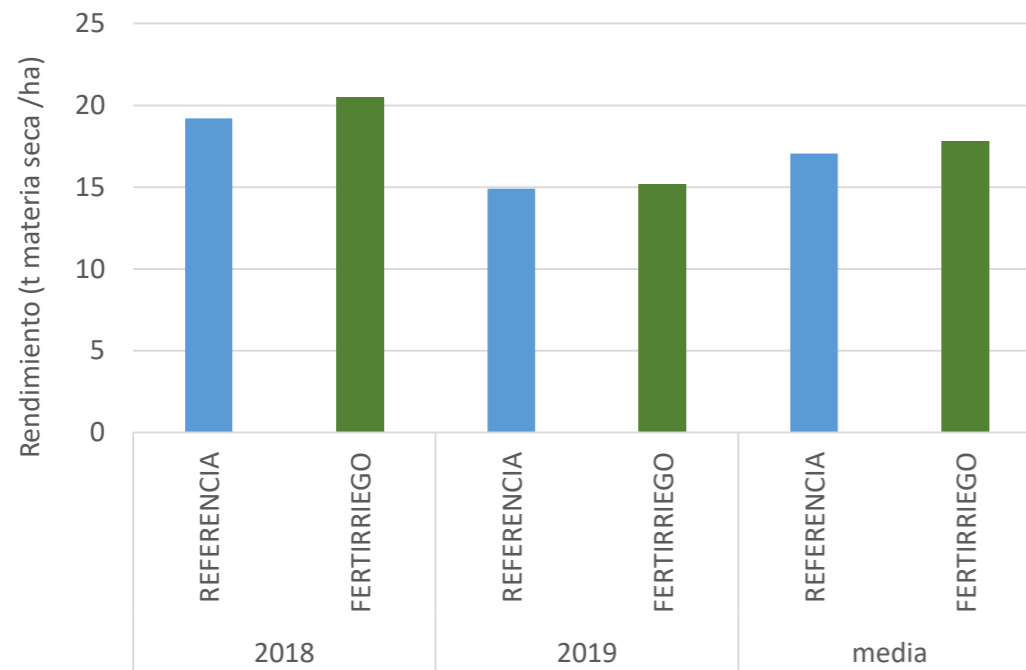


Figura 6.7. Rendimiento del maíz de ensilado en la parcela de goteo de referencia (en azul) y en la parcela de goteo de fertirriego (en verde) en la granja IT-S1.

Aunque una comparación estadística de la eficiencia de uso del nitrógeno (NUE) está fuera del objetivo de este trabajo, se pueden obtener algunas indicaciones con los resultados obtenidos. En primer lugar, hay que destacar que, debido a la importante cantidad de nitrógeno aplicado, los valores de NUE de todas las parcelas son bajos. Sin embargo, están en línea con los resultados de otras experiencias en la misma zona de estudio. En segundo lugar, la mayoría de las diferencias en NUE se deben a la diferencia en la cantidad de nitrógeno aplicado en cada uno de los campos. Debido a limitaciones operativas y algunas dificultades para controlar las dosis de aplicación con los equipos utilizados por los agricultores, el nitrógeno total aplicado varió mucho entre parcelas (Tabla 6.3). Por lo tanto, los resultados obtenidos deben considerarse solo una indicación general del comportamiento agronómico de la fertirrigación con digerido.

Las Figuras 6.8 y 6.9 presentan los valores NUE en IT-S2 e IT-S1 respectivamente. En IT-S2 los valores de NUE en las parcelas de fertirriego son ligeramente superiores a los de las parcelas de referencia (media de 39% en las parcelas de fertirriego y 30% en las de referencia), pero el valor medio en las parcelas de referencia se ve afectado por un valor muy bajo en 2019 debido a una sobreaplicación de nitrógeno en esta parcela. También en IT-S1 el valor medio de NUE es más alto para las parcelas fertirrigadas que para las parcelas de referencia, pero con resultados contrapuestos en cada uno de los años. Finalmente, en IT-S3 el valor de NUE en la parcela con fertirriego (25%) fue muy inferior al de la parcela de referencia (43%), pero en este caso la cantidad total de nitrógeno aplicado fue un 40% más alta en la parcela con fertirriego.

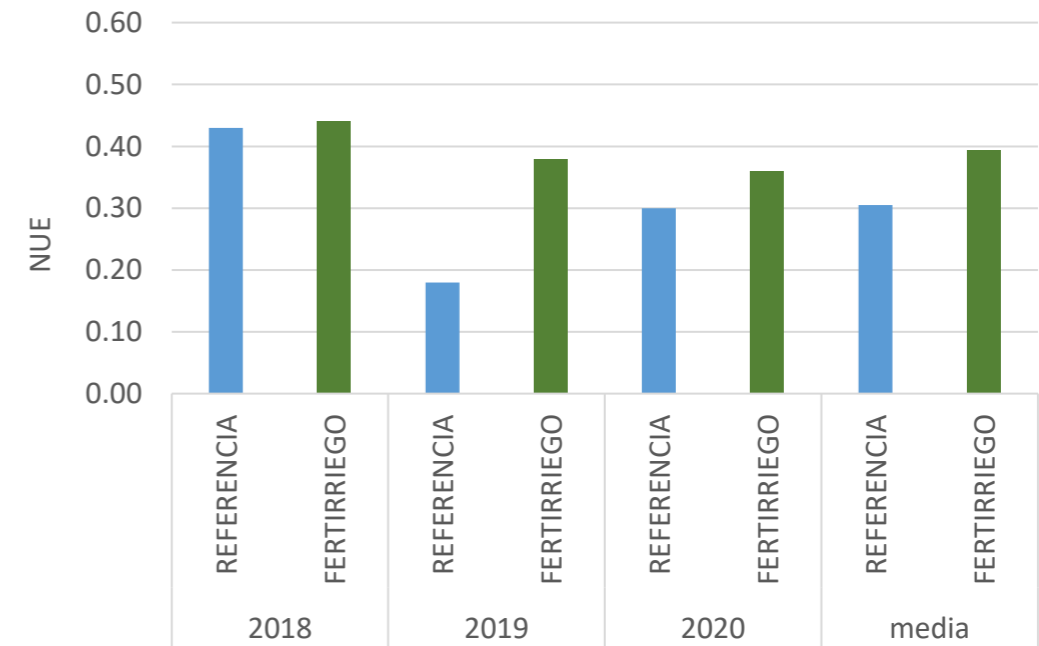


Figura 6.8. Eficiencia de uso del nitrógeno (NUE, calculado como la relación entre el N extraído por el cultivo y el N aplicado) en las parcelas de referencia (azul) y en las parcelas de fertirriego (verde) en IT-S2.

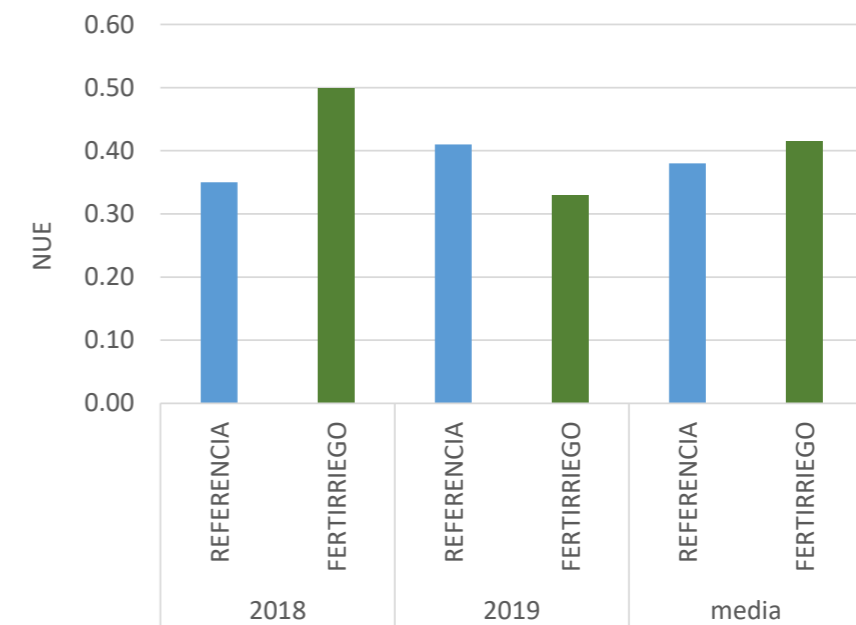


Figura 6.9. Eficiencia de uso del nitrógeno (NUE, calculado como la relación entre el N absorbido por el cultivo y el N aplicado) en las parcelas de referencia y en las parcelas de fertirriego en IT-S1.

6.5 LECCIONES APRENDIDAS

Algunos de los resultados obtenidos en las parcelas demostrativas se han evaluado también en otras tres fincas donde se ha replicado la técnica de fertirrigación. Dos de las fincas tenían instalado riego por goteo, mientras que la tercera, que tenía instalado un pívot, fue la misma parcela de IT-S3 que se instaló como parcela de transferencia en 2019 y se monitorizó en 2020. Las principales características de estas parcelas se presentan en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5. Características de las parcelas de transferencia con fertirriego en Lombardía (Italia).

	Año	Superficie ha	Cultivo	N aplicado fertirriego kg N/ha	#Eventos fertirriego
Goteo 1	2019	2,0	maíz (1 ^{er} cultivo)	53	3
	2020	2,0	maíz (2 ^o cultivo)	49	3
Goteo 2	2019	2,5	maíz (2 ^o cultivo)	27	2
	2020	2,5	maíz (1 ^{er} cultivo)	110	3*
Pívot	2019	30,0	maíz (2 ^o cultivo)	101	3

*una aplicación con fertilizante sintético



La finca de Goteo 1 está ubicada en la provincia de Pavía y el transporte de fracción líquida no fue posible debido a la larga distancia existente desde las otras granjas. Por lo que se instaló un sistema de filtración (Imágenes 6.2 y 6.4). Después del separador de tornillo-prensa, que ya estaba instalado en la finca, el digerido se pasó por un tamiz vibrador, con una malla de filtrado de 100 micras y posteriormente a través de un filtro de arena.

Imagen 6.2. Sistema de filtrado para proporcionar la fracción líquida de digerido para el riego por goteo instalado en la finca de transferencia Goteo 1 en Lombardía (Italia).

La parcela de transferencia Goteo 2 se encuentra en la provincia de Bérgamo, cerca de una planta de tratamiento centralizada que recoge los purines de las explotaciones ganaderas cercanas. El primer año se obtuvo el purín filtrado de la propia planta de biogás, pero había partículas sólidas que impedían el correcto funcionamiento del sistema de inyección, por lo que en 2020 la fracción líquida de digerido se transportó desde la finca IT-S2 con un camión (Imagen 6.3) y se descargó en contenedores para abastecer la bomba de inyección. La presencia de sólidos en suspensión depositados en los contenedores, provenientes del digerido del año anterior, limitó el volumen de digerido que se pudo aplicar con el fertirriego y fue necesario aplicar fertilizante mineral (también inyectado en el sistema de riego) para proporcionar la dosis de nitrógeno requerida al cultivo.



Imagen 6.3. Transporte de digerido por camión desde la granja IT-S2 a la finca de transferencia Goteo 2 en Lombardía (Italia).



Imagen 6.4. Almacenamiento de la fracción líquida del purín y sistema para su inyección en el riego en la parcela de transferencia Goteo 1 en Lombardía (Italia).

En todas las parcelas de transferencia y durante todos los años, los rendimientos obtenidos con fertirrigación han sido similares e indican la posibilidad de incrementar la eficiencia en el uso del nitrógeno con la implementación de esta técnica.

Los resultados obtenidos en las parcelas demostrativas y confirmados en las parcelas de transferencia muestran una importante reducción de las emisiones de amoníaco cuando se introduce la fertirrigación, sin que esta afecte a la producción del cultivo. En comparación con el sistema de referencia, la reducción de las emisiones de amoníaco fue superior al 60% con el riego por pívot y se lograron reducciones del 90% en el caso del riego por goteo subterráneo. Cabe señalar que este resultado se deriva de una combinación de factores.

En particular, si se aplica digerido en pre-siembra, la técnica de distribución utilizada se vuelve fundamental para el resultado global de la reducción de emisiones. En la Figura 6.10 se puede ver cómo aplicando el 50% del digerido en pre-siembra con abanico y el otro 50% con fertirrigación se reducen las emisiones de amoníaco, pero la reducción en comparación con la técnica de referencia es relativamente baja (37- 40%).

La incorporación de la dosis total de digerido en pre-siembra es eficaz, permitiendo reducir las emisiones en un 60-67%. Este valor es menor de lo esperado probablemente debido a la alta dosis de N aplicada en una única aplicación y a la cobertura incompleta del suelo después de la incorporación. También hay que tener en

cuenta que la incorporación se llevó a cabo en junio y por tanto con condiciones de altas temperaturas, que potencian las emisiones de amoníaco.

La mayor reducción de las emisiones se consigue utilizando exclusivamente fertirrigación para distribuir el digerido. Sin embargo, en las condiciones de Lombardía esta solución no es siempre posible, sobre todo cuando el maíz se siembra después de un cereal de invierno, con una temporada de riego de duración limitada. En cualquier caso, incluso la distribución de 50% del nitrógeno en pre-siembra con técnicas adecuadas y el 50% restante en cobertera con fertirriego, produce una reducción del 70% en las emisiones de amoníaco en comparación con el sistema de referencia.

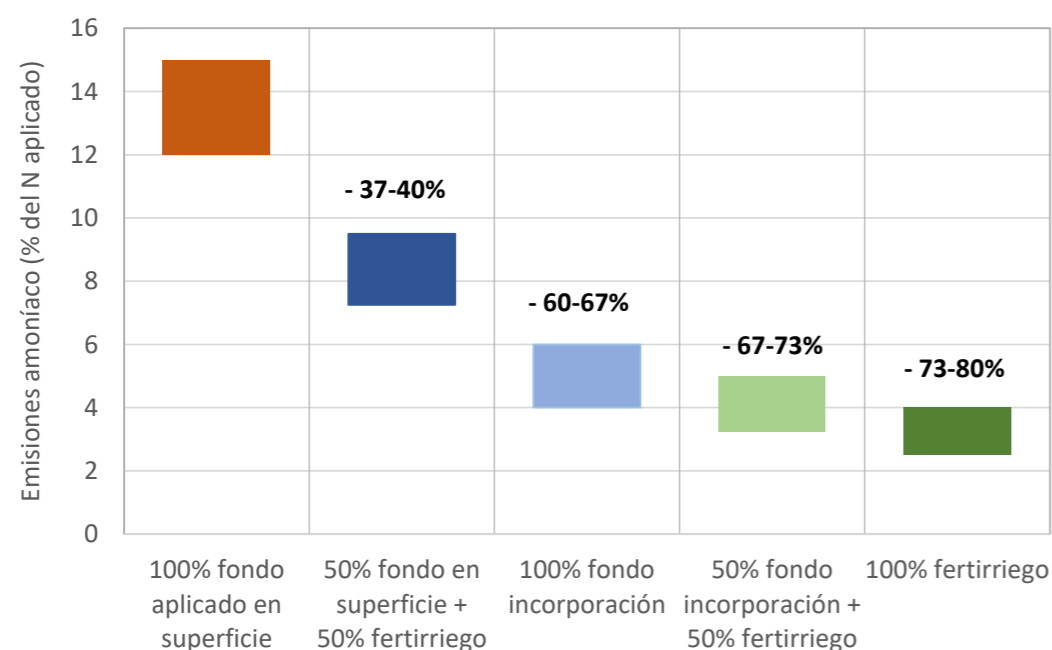


Figura 6.10. Rangos de reducción esperada de las emisiones de amoníaco con distintas técnicas de aplicación y reparto del digerido entre fondo y cobertera.

Considerando la posibilidad de incrementar la eficiencia de uso del nitrógeno, expresada como la relación entre el nitrógeno extraído y el aportado al cultivo (NUE), la técnica de fertirrigación confirmó las expectativas, aunque en Italia el incremento de la NUE con respecto al sistema de referencia no superó el 50%. Esto es debido a dos razones, la primera está relacionada con un suministro excesivo de nitrógeno al cultivo, basado en la práctica agrícola usual en la zona, y que no ha sido aprovechado por el cultivo de maíz en su totalidad. La segunda se relaciona con la composición del digerido. La cantidad de nitrógeno orgánico presente en el digerido fue del 30 al 35% incluso después del proceso de filtrado, esto significa que esta parte de nitrógeno debe mineralizarse previamente en el suelo antes de ser utilizada por el cultivo. El proceso de mineralización ocurre lentamente y, por lo tanto, este nitrógeno orgánico no es utilizable debido a la corta duración del ciclo del cultivo. Se ha estimado que, utilizando una dosis adecuada de nutrientes y una correcta técnica de aplicación del digerido en fondo combinada con la técnica de fertirrigación en cobertera, la NUE puede aumentar un 40% en comparación con el sistema de referencia.

En cualquier caso, la solución óptima tiene que ser diseñada en cada granja teniendo en cuenta las características del producto a utilizar (purín o digerido) y el sistema de riego utilizado (goteo, pívot o aspersión)

Las superficies pueden variar de 2 a 10 ha en un solo bloque o estar sectorizado en el caso del fertirriego riego por goteo y hasta 60 ha para fertirriego en pívot (o rangers). Al dimensionar el sistema de separación

de digerido la prioridad es asegurar la separación requerida de los sólidos para evitar obstrucciones en el sistema de riego. Analizando las características de los sistemas de separación utilizados en el proyecto, se puede constatar que:

- el goteo requiere una filtración más exhaustiva, los emisores de las líneas de goteo solo permiten el paso de partículas menores de 200 µm.
- el pívot, con un tamaño de boquilla de 2 mm, permite la separación de una fracción apta para el fertirriego con mallas de mayor tamaño, hasta 500 µm.

Al adoptar este tipo de separación se ha observado que la concentración de sólidos que permanece en la fracción líquida es elevada, pero siempre con tamaño de partícula por debajo de los límites de obstrucción de los goteros y boquillas. Otro aspecto a considerar para realizar una fertirrigación eficiente es mantener una dilución adecuada. Esta dilución puede variar del 3% al 10% para fertirrigación con goteo y del 5% al 20% para fertirrigación con pívot.

En las parcelas demostrativas, las prácticas de fertirriego han demostrado ventajas de gestión en relación con:

- la mejora en los momentos de aplicación del riego, particularmente en pequeñas parcelas
- una distribución precisa de los nutrientes durante el período vegetativo del cultivo
- una mayor valorización agronómica del digerido y reducción del uso de fertilizantes químicos
- la posibilidad de distribuir el digerido durante periodos de tiempo más largos

Por otro lado, hay algunos aspectos que pueden limitar la técnica del fertirriego, entre ellos:

- la necesidad de mano de obra
- la necesidad de automatizar las operaciones para hacer que la técnica sea más eficiente

Por tanto, es evidente cómo una buena gestión del digerido junto con una gestión adecuada del riego, además de la reducción de las emisiones de amoníaco, pueden contribuir a la mejora de las condiciones agronómicas del valle del Po.

REFERENCIAS

ERSAF, 2011. Valutazione Ambientale Strategica del Programma d'Azione regionale per la tutela e risanamento delle acque dall'inquinamento causato da nitrati di origine agricola per le aziende lo calizzate in zona vulnerabile.

Región de Lombardía, 2015. Agricultura de Lombardía en cifras - 2014.

7

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA FERTIRRIGACIÓN EN ÁREAS MEDITERRÁNEAS

JACOPO BACENETTI
GIORGIO PROVOLO
EVA HERRERO
DOLORES QUÍLEZ
GIACOMO RUFFINI
GIAMBATTISTA MERIGO



7.1 INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA

En el marco del proyecto LIFE ARIMEDA se ha realizado un análisis de ciclo de vida (ACV) para determinar los impactos ambientales asociados a diferentes sistemas de producción de maíz, siguiendo la metodología recogida en la norma ISO 14040/44 (ISO 14040, 2006) y las directrices de declaración de producto medioambiental (EPD – Environmental Product Declarations) desarrolladas para los “cultivos herbáceos” (Environdec, 2014).

7.1.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LA UNIDAD FUNCIONAL

Este estudio plantea un análisis comparativo que evalúa el impacto ambiental del cultivo de maíz aplicando fertirriego mediante diferentes sistemas de riego frente al impacto de las prácticas habituales de cultivo. Para ello, se realizaron ensayos con cultivo de maíz para ensilado en las provincias de Cremona y Mantua de la región de Lombardía al norte de Italia, y con maíz para grano en las comarcas de Cinco Villas y La Litera en Aragón en el noreste de España.

La unidad funcional (UF) en un análisis de ciclo de vida es la unidad de referencia para cuantificar el rendimiento de un sistema de producción. Aunque se pueden utilizar una gran variedad de unidades funcionales, como por ejemplo la superficie de la parcela, el uso de UF basadas en magnitudes másicas es la práctica más extendida para los ACV en sistemas agrícolas (Fedele et al., 2014; Notarnicola et al., 2015).

En este estudio se han seleccionado dos UF diferentes:

- 1 tonelada de materia seca de maíz para ensilado (biomasa) en los sistemas de producción estudiados en Italia.
- 1 tonelada de grano de maíz (a la humedad comercial, 14%) en los sistemas de producción estudiados en España.

Imagen 7.1. Sistema de riego por pivó utilizado para fertirriego con la fracción líquida del digerido en Lombardía (Italia).

7.1.2 DESCRIPCIÓN DE LAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS

La información utilizada para el ACV no se corresponde con ningún ensayo específico dentro del marco del proyecto. En su lugar, se utilizó la información recogida en el seguimiento de estos ensayos para definir sistemas de producción o escenarios estandarizados representativos de las dos zonas mediterráneas incluidas en el estudio, Aragón (España) y Lombardía (Italia). En cada una de las zonas se evaluaron dos técnicas de fertirrigación diferentes, pívot y goteo (Imágenes 7.1 y 7.2), y se recopilaban datos para definir siete escenarios diferentes (Tabla 7.1):

- Cuatro escenarios en Italia: se analizaron dos sistemas de riego diferentes, pívot (P) y goteo (G) en los que se definió un escenario de referencia para cada uno de ellos sin fertirriego

(IT-PR y IT-GR) y un escenario con fertirriego (IT-PF y IT-GF).

- Tres escenarios en España: un escenario de referencia (ES-R) y dos escenarios de fertirrigación, uno en pívot (ES-PF) y otro en goteo enterrado (ES-GF). En el caso del ACV en las parcelas españolas, el riego de los tres escenarios se enmarca en sistemas de gestión colectiva pertenecientes a grandes comunidades de regantes y el impacto del sistema de riego considerado (bombeo, equipos, etc.) es el correspondiente a una comunidad de regantes estándar, independientemente de la técnica de riego utilizada a escala de parcela. Por este motivo se utiliza un único escenario de referencia.

Tabla 7.1. Escenarios agrícolas definidos para el análisis de ciclo de vida en el proyecto LIFE ARIMEDA.

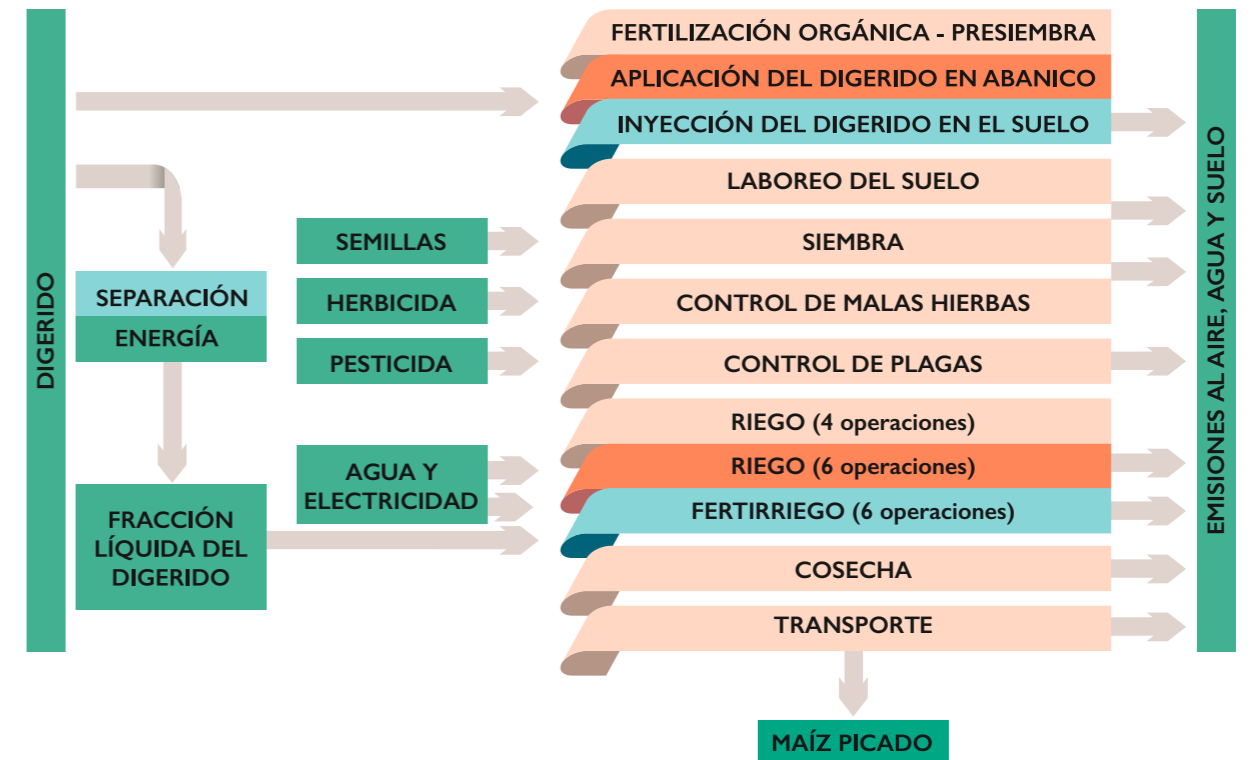
País	Fertilización en presembradura	Fertilización en cobertera	Sistema de riego	Fertirrigación	Ref. Escenario
Italia	Digerido/Aplicación superficial		Pívot	No	IT-PR
	Digerido/Inyección en el suelo	Fracción líquida del digerido/fertirriego	Pívot	Sí	IT-PF
	Digerido/Aplicación superficial		Goteo	No	IT-GR
	Digerido/Inyección en el suelo	Fracción líquida del digerido/fertirriego	Goteo	Sí	IT-GF
España	Purín/Aplicación superficial	Aplicación superficial de fertilizante N sintético	Sistema de riego centralizado	No	ES-R
	No se aplica N, sólo P	Fertirrigación con fracción líquida de purín	Sistema de riego centralizado - Pívot	Sí	ES-PF
	No se aplica N, sólo P	Fertirrigación con fracción líquida de purín	Sistema de riego centralizado - Goteo	Sí	ES-GF

7.1.3 LÍMITES DE LOS SISTEMAS ANALIZADOS

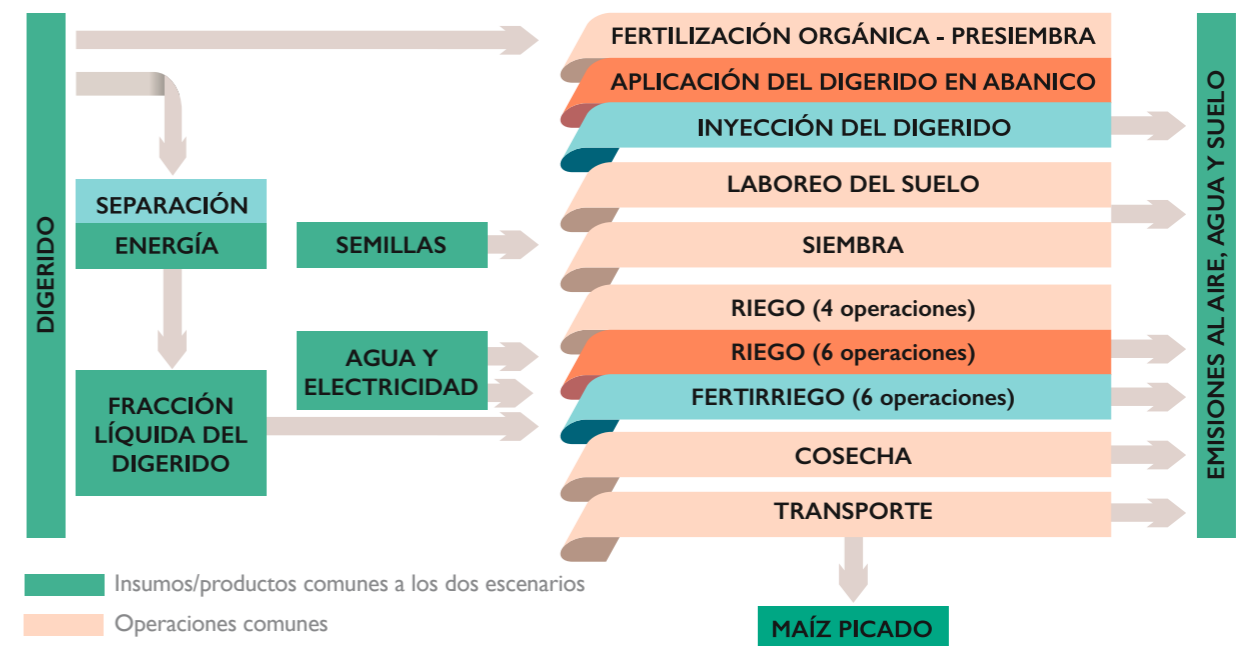
Se adoptó el enfoque “de la cuna a la puerta de la explotación” que estudia únicamente las fases de extracción de materias primas, transporte a fábrica y producción. Los escenarios de análisis definidos incluyen, tanto en Italia (Figura 7.1) como en España (Figura 7.2), todas las operaciones desde el laboreo del suelo y la aplicación de fertilizante a la parcela hasta la cosecha y el transporte final de los productos, maíz picado

en Italia y grano en España. Se contemplaron las actividades de extracción de materias primas (combustibles fósiles), fabricación y suministro de insumos agrícolas (semillas, fertilizantes, plaguicidas y máquinas agrícolas), producción de energía (por ejemplo, para el consumo eléctrico del sistema de riego o de los equipos de separación de purín o digerido), uso de los insumos agrícolas (emisiones debidas a la aplicación de fertilizantes, a plaguicidas, al consumo de gasóleo y a la abrasión de neumáticos), mantenimiento y retirada de los equipos al final de su vida útil.

RIEGO CON PÍVOT



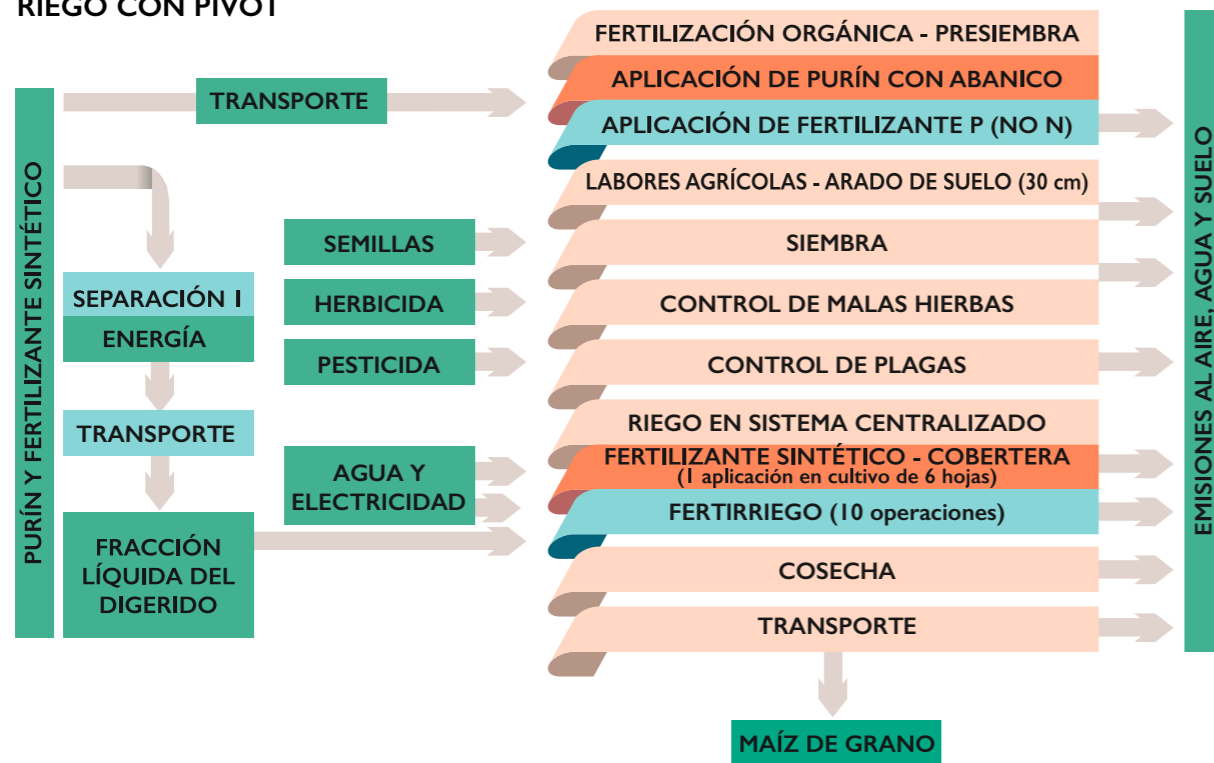
RIEGO CON GOTEO



- Insumos/productos comunes a los dos escenarios
- Operaciones comunes
- Operaciones de los escenarios de referencia
- Operaciones del escenario de fertirrigación

Figura 7.1. Límites del sistema para las dos prácticas de cultivo analizadas en Italia.

RIEGO CON PÍVOT



RIEGO CON GOTEO



- Insumos/productos comunes a los dos escenarios
- Operaciones comunes
- Operaciones de los escenarios de referencia
- Operaciones del escenario de fertirrigación

Figura 7.2. Límites del sistema para las dos prácticas de cultivo analizadas en España.

En la gestión de la fertirrigación con digerido en Italia y con purín en España, además del consumo eléctrico de los sistemas de inyección, se han tenido en cuenta los materiales necesarios para la fabricación de los prototipos de separación sólido/líquido. En el caso de los fertilizantes orgánicos (purín y digerido), no se ha considerado ningún impacto en su producción ya que se trata de subproductos procedentes de la actividad ganadera.

Teniendo en cuenta que el objetivo de este ACV es comparativo, es decir, evaluar las diferencias entre el impacto debido a las prácticas agrícolas convencionales (referencia) y el uso del fertirriego, no se incluyeron en el análisis los impactos vinculados a la fabricación de las instalaciones de riego (pívots y goteo). Esta omisión puede afectar ligeramente al valor absoluto mostrado por categoría de impacto, pero al utilizarse el mismo sistema en ambos escenarios, referencia y fertirrigación, esta consideración no afecta a su comparativa ni a las conclusiones generales.

Se consideró que los escenarios son parcelas donde se ha cultivado cereal de forma continuada durante muchos años (> 30 años) y en las que el contenido de carbono orgánico del suelo está en equilibrio y no varía de una campaña a otra (Environdec, 2014).

7.1.4 RECOGIDA DE DATOS DEL INVENTARIO

El Inventario del Ciclo de Vida (ICV) se elaboró a partir de datos primarios y secundarios. Los datos primarios son los que se recogen directamente mediante encuestas, mediciones sobre el terreno y entrevistas a los agricultores, mientras que los secundarios se estiman a través de modelos de emisión o se obtienen de la bibliografía y/o bases de datos.

Los datos primarios utilizados sobre las técnicas de cultivo, las actividades agrícolas en las parcelas o la cantidad de insumos (por ejemplo, semillas, combustibles, fertilizantes, pesticidas, electricidad) se registraron a lo largo de todo el proyecto LIFE ARIMEDA en los ensayos realizados a escala demostrativa, que se utilizaron para definir valores estándar representativos para cada uno de los escenarios analizados. La información sobre la maquinaria utilizada (tractores, separadores y cosechadoras), así como su masa, potencia, tiempo y capacidad de trabajo, se estimó gracias a encuestas realizadas en las explotaciones.

Respecto a las emisiones derivadas de la fertilización, las emisiones de NH_3 se calcularon a partir de los datos reales registrados en los muestreos. En las parcelas se midieron las concentraciones medias de NH_3 en el aire con captadores pasivos CEH ALPHA® y se realizaron simulaciones con el software WindTrax, siguiendo el protocolo que se detalla en el capítulo 4, para el cálculo de las emisiones. En los escenarios italianos las emisiones consideradas, de acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos del proyecto, fueron del 3%, 5% y 12% respecto a la cantidad de N aplicada mientras que para los escenarios españoles fueron del 3%, 8% y 25% respecto a la cantidad de N aplicada para los sistemas de fertirrigación con goteo, fertirrigación con pívot y referencia respectivamente. Las emisiones de otros compuestos de N (N_2O , NO_3^-) se evaluaron de acuerdo con el modelo propuesto por Brentrup et al. (2000). Este modelo se basa en el balance de nitrógeno a partir de (i) las entradas procedentes de la aplicación de fertilizantes, el N liberado por la mineralización de los residuos de los cultivos y la deposición atmosférica de N y (ii) la extracción de N en la biomasa cosechada. La lixiviación de nitrato se calculó teniendo en cuenta las

características del suelo, las precipitaciones y el nitrógeno disponible en el suelo tras la volatilización del amoníaco, la desnitrificación y la extracción de N de los cultivos.

Las emisiones de fosfatos se determinaron de acuerdo con Prahsun (2006) y Nemecek y Kägi (2007) que consideran dos fuentes diferentes de emisión de fósforo al agua:

1. Lixiviación a las aguas subterráneas utilizando un factor de emisión de 0,070 kg P/ha año.
2. Escorrentía a las aguas superficiales considerando un factor de emisión de 0,175 kg P/ha año.

Debido a la falta de datos sobre la fracción de suelo erosionado, no se incluyeron las emisiones de fosfato por erosión a las aguas superficiales.

Las emisiones relacionadas con la aplicación de plaguicidas en función de su elemento activo se consideraron de acuerdo con las reglas de categoría de producto (PCR-Product Category Rules) definidas para cultivos herbáceos (Environdec, 2014) (100% liberado en el suelo).

Los datos de referencia sobre la producción de semillas, gasóleo, fertilizantes, plaguicidas, tractores y máquinas agrícolas se obtuvieron de la base de datos Ecoinvent® v.3.6.

7.1.5 ANÁLISIS DE IMPACTO DEL CICLO DE VIDA (AICV)

Los impactos ambientales se han estimado utilizando el método compuesto recomendado por el Sistema Internacional de Datos del Ciclo de Vida de Referencia (ILCD) (Wolf et al., 2012). Se han considerado las siguientes categorías, codificadas por sus siglas en inglés: cambio climático (CC), agotamiento de la capa de ozono (OD), materia particulada (PM), toxicidad humana con efecto cancerígeno (HTc), toxicidad humana sin efecto cancerígeno (HTnoc), formación fotoquímica de ozono (POF), acidificación terrestre (TA), eutrofización terrestre (TE), eutrofización de agua dulce (FE), eutrofización marina (ME), ecotoxicidad de agua dulce (FEx) y agotamiento de recursos minerales y fósiles (MFRD).

7.2 RESULTADOS

7.2.1 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA FERTIRRIGACIÓN CON DIGERIDO EN ITALIA

La Tabla 7.2 detalla la contribución por categoría de impacto de los escenarios italianos. La variación del impacto entre los escenarios de referencia y los de fertirrigación se muestra en la Figura 7.3.

El análisis de los diferentes impactos muestra tendencias similares en todos los escenarios, aun cuando existen algunas diferencias entre los dos sistemas de fertirrigación evaluados. La principal diferencia radica en la incorporación de los separadores sólido/líquido a los escenarios de fertirrigación con pívot (IT-PF) y con goteo (IT-GF). La fabricación del separador afecta principalmente a la toxicidad humana con efecto cancerígeno (HTc) contribuyendo un 16-19% al impacto total, a la ecotoxicidad en agua dulce (FEx) con un 3-13% y al consumo de los recursos minerales y fósiles con un 6-8%.

Además, en lo que respecta a la ecotoxicidad en agua dulce (FEx), en los pívots (IT-PR e IT-PF) las emisiones derivadas del uso de plaguicidas son la causa principal, representando entre el 81 y el 78%, mientras que en el goteo (IT-GR e IT-GF), las contribuciones principales a la categoría FEx se relacionan con el consumo eléctrico de las bombas y los separadores para el riego y la fertilización. De hecho, en el riego por goteo, la fabricación de la bomba de riego desempeña un papel principal en la categoría de ecotoxicidad de agua dulce (43-35%) y en la toxicidad humana con efecto cancerígeno (alrededor del 9%).

Además, en el análisis de las diferentes contribuciones se observa que:

- la mecanización de las operaciones agrícolas es responsable de la mayor parte del impacto ambiental en la categoría de reducción de la capa de ozono (OD): en el pívot (IT-PR, IT-PF) es de aproximadamente el 74%, y ligeramente inferior en el goteo, con un 43% y un 41% para IT-GR e IT-GF respectivamente. Las operaciones agrícolas son también las principales causas del impacto en la toxicidad humana sin efecto cancerígeno (más del 90% en el pívot y entre el 81 y el 83% en el goteo), en la formación de ozono fotoquímico (alrededor del 90% en pívots y alrededor del 76-78% en goteo) y en el agotamiento de los recursos minerales y fósiles (86-83% en pívots y 79-73% en goteo). Por último, también es relevante el papel que tiene en la toxicidad humana con efecto cancerígeno (69-56% en pívots y 42-33% en goteo).
- el consumo de electricidad, en general, tiene un mayor impacto en el riego por goteo (tanto IT-GR como IT-GF) que en el pívot. En los sistemas de riego con pívots (IT-PF e IT-PR) nunca supera el 15% en ninguna de las categorías analizadas, excepto en el agotamiento de la capa de ozono (alrededor del 20% en ambos escenarios), mientras que en el riego por goteo (IT-GR e IT-GF) afecta principalmente al agotamiento de la capa de ozono (56-58%). También es relevante en la toxicidad humana con efecto cancerígeno (47-40%), en la eutrofización del agua dulce (alrededor del 25% para ambos escenarios), en la ecotoxicidad del agua dulce (33-29%) y en el cambio climático (22-23%).

- para todos los escenarios, las emisiones de compuestos de N y P son las principales responsables del impacto en las categorías de cambio climático (alrededor del 60-70%), principalmente debido a la emisión de N₂O; en materia particulada (del 60 al 90%), en acidificación terrestre (80-96%), en eutrofización terrestre (83-96%) y en eutrofización del agua dulce (78-65%), estrechamente vinculadas a la emisión de amoníaco. Estas emisiones también son las principales responsables de la eutrofización marina (no menos del 95%), principalmente asociada a la lixiviación de nitrato.

Aunque estas emisiones juegan un papel relevante en las categorías de materia particulada, acidificación terrestre y eutrofización de agua dulce, tanto en los escenarios de referencia como en los de fertirrigación, en estos últimos puede observarse como la reducción de las emisiones de amoníaco relacionada con la adopción del fertirriego tiene una menor contribución relativa.

Tabla 7.2. Impacto medioambiental absoluto en los escenarios de Italia (expresado por tonelada de materia seca de biomasa).

Categoría de impacto	Unidades	IT-PR	IT-PF	IT-GR	IT-GF
Cambio climático (CC)	kg CO ₂ eq	201,0	171,9	219,6	194,1
Agotamiento de la capa de ozono (OD)	kg CFC-11 eq	9,11 x 10 ⁻⁶	9,44 x 10 ⁻⁶	1,10 x 10 ⁻⁵	1,14 x 10 ⁻⁵
Toxicidad humana sin efecto cancerígeno (HT-noc)	CTUh	7,43 x 10 ⁻⁵	7,55 x 10 ⁻⁵	5,88 x 10 ⁻⁵	5,91 x 10 ⁻⁵
Toxicidad humana con efecto cancerígeno (HT-c)	CTUh	2,40 x 10 ⁻⁶	2,88 x 10 ⁻⁶	3,15 x 10 ⁻⁶	3,90 x 10 ⁻⁶
Materia particulada (PM)	kg PM2,5 eq	0,297	0,111	0,299	0,081
Formación de ozono fotoquímico (POF)	kg NMVOC eq	0,492	0,494	0,477	0,477
Acidificación terrestre (TA)	mol H ⁺ eq	12,49	4,04	12,53	2,56
Eutrofización terrestre (TE)	mol N eq	55,42	17,62	55,40	10,82
Eutrofización de agua dulce (FE)	g P eq	42,12	42,74	49,95	50,94
Eutrofización marina (ME)	kg N eq	10,96	5,98	10,95	6,38
Ecotoxicidad de agua dulce (FEx)	CTUe	3626	3811	1152	1409
Agotamiento de recursos minerales y fósiles (MFRD)	g Sb eq	1,50	1,72	1,54	1,80

CFC: Clorofluorocarburos; CTUh: Unidad tóxica comparativa para los humanos; PM2,5: Materia particulada (<2,5 µm); NMVOC: Compuestos orgánicos volátiles distintos del metano; CTUe: Unidad tóxica comparativa para los ecosistemas.

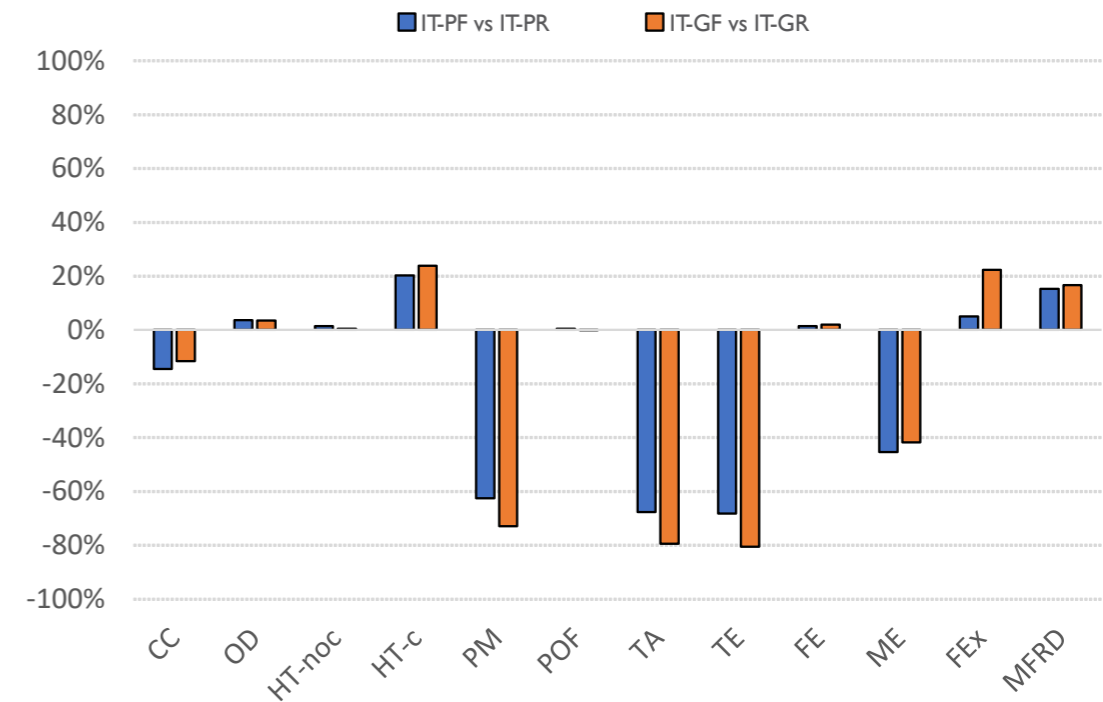


Figura 7.3. Variación en el impacto en las diferentes categorías debida a la aplicación de fertirriego con digerido en los escenarios de Italia.

Al analizar el escenario de referencia frente al escenario de fertirrigación correspondiente por sistema de riego: pívot o goteo, los resultados de la comparación no son unívocos: no hay un escenario que supere a los demás en todas las categorías de impacto evaluadas (Figura 7.3). Sin embargo, se puede destacar el diferente efecto de la fertirrigación en las categorías de impacto evaluadas. En el caso del pívot, el escenario de fertirrigación (IT-PF) se comporta mejor que el de referencia (IT-PR) en 5 de las 12 categorías de impacto medioambiental evaluadas. Las mayores reducciones de impacto se consiguen para las categorías más afectadas por las emisiones de amoníaco (materia particulada - 62,5%, acidificación terrestre - 67,7% y eutrofización terrestre - 68,8%). Para las 7 categorías restantes, se observa un mayor impacto del pívot que oscila entre el 0,5 y el 20,0%. Los mayores aumentos se producen en aquellos impactos en los que el papel del separador y el consumo eléctrico para llevar a cabo el fertirriego es más relevante (toxicidad humana con efecto cancerígeno y agotamiento de recursos minerales y fósiles). Se pueden extraer conclusiones similares al comparar el IT-GR y el IT-DP, excepto en el caso de la ecotoxicidad del agua dulce, donde el aumento del impacto relacionado con el uso del separador en la adopción del fertirriego es mayor. Sin embargo, hay que tener en cuenta que se trata de un valor relativo siendo el aumento de impacto absoluto similar.

7.2.2 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA FERTIRRIGACIÓN CON PURÍN EN ESPAÑA

El análisis comparativo de los escenarios españoles (Figura 7.4) muestra resultados similares a los de los escenarios italianos. En particular, la emisión de compuestos de N y P es la principal responsable, en los tres escenarios analizados, de los impactos en materia particulada, acidificación terrestre, eutrofización terrestre, eutrofización del agua dulce (debido a las emisiones de amoníaco), eutrofización marina (debido a

la lixiviación de nitrato) y cambio climático (debido a las emisiones de N_2O). El papel de las emisiones de amoníaco tiene un mayor protagonismo en el escenario de referencia mientras que disminuye de forma importante en los dos escenarios de fertirrigación. El impacto relacionado con la fabricación de los separadores es superior al 10% para tres categorías de impacto en el caso del pívot, toxicidad humana con efecto cancerígeno, ecotoxicidad del agua dulce y agotamiento de los recursos minerales y fósiles, y para cinco categorías de impacto en el caso del riego por goteo relacionadas con la toxicidad, materia particulada, y agotamiento de recursos minerales y fósiles.

La contribución de los separadores, vinculada a las materias primas necesarias para su fabricación, es mayor en el goteo (ES-GF) debido a la necesidad de utilizar dos separadores trabajando en línea.

La fertirrigación con purín permite un mejor ajuste de la cantidad de nitrógeno aplicada y la sustitución de los fertilizantes sintéticos en la fertilización de los cultivos, lo que conlleva beneficios ambientales fundamentalmente en las categorías de cambio climático, toxicidad humana con efecto cancerígeno, ecotoxici-



Imagen 7.2. Sistema de riego por goteo utilizado para fertirriego con purín porcino en Cinco Villas (Aragón, España).

dad del agua dulce y agotamiento de los recursos minerales y fósiles, categorías donde el impacto relativo debido al consumo de fertilizantes nitrogenados es mayor (13,7%, 14,6%, 30,4% y 14,9%, respectivamente).

En cuanto al análisis comparativo de los distintos escenarios, cabe destacar que:

- para 8 de las 12 categorías evaluadas, el impacto en el escenario de referencia (ES-R) es mayor que en los dos de fertirriego. La reducción del impacto conseguida por los escenarios de fertirrigación osciló entre el 2-10% para las categorías de formación fotoquímica de ozono y cambio climático y el 68-89% para los impactos más afectados por la emisión de amoníaco (es decir, materia particulada, acidificación y eutrofización terrestre). En el caso del cambio climático, la reducción del impacto (en torno al 10% para los dos escenarios de fertirrigación) está relacionada con la menor emisión de N_2O . En el caso de la acidificación y de la eutrofización terrestres, se consiguen mayores beneficios en el goteo (ES-GF) debido a una mayor reducción de la emisión de amoníaco que en el pívot;
- en las 4 categorías de impacto restantes, toxicidad humana con efecto cancerígeno, eutrofización del agua dulce, ecotoxicidad del agua dulce y agotamiento de los recursos minerales y fósiles, los escenarios de fertirrigación muestran impactos más elevados que el escenario de referencia, especialmente en el riego por goteo. El aumento relativo del impacto del fertirriego respecto a la referencia es considerable ($> +70%$) para la toxicidad humana con efecto cancerígeno, la eutrofización del agua dulce y el agotamiento de los recursos minerales y fósiles, relacionado casi en su totalidad con el consumo de acero en la producción de los equipos utilizados para la fertirrigación (separadores y sistema de inyección: bombas, filtros, etc.), siendo menor (alrededor del 6,5%) para la categoría de eutrofización del agua dulce.
- entre los dos escenarios de fertirrigación, el riego por goteo se comporta mejor para aquellas categorías de impacto en las que la referencia (ES-R) es el peor escenario, es decir, cambio climático, agotamiento de la capa de ozono, toxicidad humana sin efecto cancerígeno, materia particulada, acidificación terrestre y eutrofización terrestre. Por el contrario, excepto en el caso de la eutrofización marina, el riego por goteo muestra un mayor impacto que el pívot en las restantes categorías (toxicidad humana con efecto cancerígeno, eutrofización del agua dulce, ecotoxicidad del agua dulce y agotamiento de los recursos minerales y fósiles), en las que el fertirriego es el peor escenario.

La comparación entre el escenario de referencia y el de fertirrigación muestra las compensaciones entre las diferentes categorías de impacto evaluadas. La fertirrigación aumenta considerablemente los beneficios ambientales en cuanto a los efectos relacionados con las emisiones de amoníaco y la sustitución de los fertilizantes minerales, pero implica un aumento no despreciable en los impactos relacionados con la toxicidad humana con efecto cancerígeno, la ecotoxicidad del agua dulce y el agotamiento de los recursos minerales y fósiles.

Tabla 7.3. Impacto ambiental absoluto en los escenarios de España (expresado por 1 tonelada de grano de maíz a la humedad comercial, 14%).

Categoría de impacto	Unidades	ES-R	ES-PF	ES-GF
Cambio climático (CC)	kg CO ₂ eq	235,2	211,1	210,2
Agotamiento de la capa de ozono (OD)	kg CFC-11 eq	2,24 x 10 ⁻⁰⁵	1,71 x 10 ⁻⁰⁵	1,58 x 10 ⁻⁰⁵
Toxicidad humana sin efecto cancerígeno (HT-noc)	CTUh	1,05 x 10 ⁻⁰⁴	9,46 x 10 ⁻⁰⁵	9,32 x 10 ⁻⁰⁵
Toxicidad humana con efecto cancerígeno (HT-c)	CTUh	5,99 x 10 ⁻⁰⁶	1,07 x 10 ⁻⁰⁵	1,30 x 10 ⁻⁰⁵
Materia particulada (PM)	kg PM2,5 eq	0,590	0,203	0,131
Formación de ozono fotoquímico (POF)	kg NMVOC eq	0,609	0,601	0,557
Acidificación (TA)	mol H ⁺ eq	21,98	6,21	2,88
Eutrofización terrestre (TE)	mol N eq	96,52	25,61	10,80
Eutrofización de agua dulce (FE)	g P eq	97,56	103,60	103,96
Eutrofización marina (ME)	kg N eq	2,56	1,37	2,06
Ecotoxicidad de agua dulce (FEx)	CTUe	2366	4195	4199
Agotamiento de recursos minerales y fósiles (MFRD)	g Sb eq	3.627	6.433	6.697

CFC: Clorofluorocarburos; CTUh: Unidad tóxica comparativa para los humanos; PM2,5: materia particulada (<2,5 µm); NMVOC: Compuestos orgánicos volátiles distintos del metano; CTUe: Unidad tóxica comparativa para los ecosistemas.

7.3 CONCLUSIONES

Las emisiones de amoníaco se ven profundamente afectadas por las técnicas de aplicación de digerido y purín, por lo que la acidificación, la eutrofización terrestre y las emisiones de materia particulada son las categorías de impacto que más varían entre los diferentes escenarios.

Como cabía esperar, la reducción de las pérdidas de amoníaco conlleva una reducción significativa de los impactos ambientales asociados a este contaminante. Aunque el cambio climático (huella de carbono) es el indicador de impacto más conocido, la reducción de la formación de materia particulada, de la acidificación y de algunos de los diferentes tipos de eutrofización han sido notables para un contexto geográfico como el del Valle del Po en Lombardía (Italia) y el Valle del Ebro en Aragón (España).

Los resultados de este análisis de ciclo de vida pueden ser útiles para los técnicos, los agricultores y sus asociaciones en la identificación de las soluciones de fertirrigación más eficaces, pero también para los responsables políticos y los técnicos regionales que participan en la definición del marco de subvenciones de la PAC. Sin una información fiable sobre el impacto ambiental de las diferentes técnicas de fertirrigación no será posible impulsar un sistema de gestión más sostenible para la aplicación de las deyecciones ganaderas.

REFERENCIAS

Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Kuhlmann, H., 2000. Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 5, 349–357.

Fedele, A., Mazzi, A., Niero, M., Zuliani, F., Scipioni, A., 2014. Can the Life Cycle Assessment methodology be adopted to support a single farm on its environmental impacts forecast evaluation between conventional and organic production? An Italian case study. *Journal of Cleaner Production*, 69, 49-59.

Environdec, 2020. Product category rules (PCR). Arable and vegetable crops. PCR 2020:07. Version 1.0. Valid until: 2024-12-07.

Nemecek, T., Kägi, T., 2007. Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Final reportecoinvent v2.0 No. 15a. Agroscope FAL Reckenholz and FAT Taenikon. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zurich and Dübendorf, Switzerland.

Notarnicola, B., Salomone, R., Petti, L., Renzulli, P. A., Roma, R., Cerutti, A. K. (Eds.). 2015. Life cycle assessment in the agri-food sector: case studies, methodological issues and best practices. Springer. ISBN: 978-3-319-11940-3

Prahsun, V., 2006. Erfassung der PO4-Austrage für die Okobilanzierung SALCA Phosphor. Agroscope Reckenholz – Tanikon ART, 1-20.

Wolf M.A., Pant R., Chomkamsri K., Sala S., Pennington D., 2012. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook – Towards more sustainable production and consumption for a resource-efficient Europe. JRC Reference Report, EUR 24982 EN. European Commission – Joint Research Centre. Luxembourg. Publications Office of the European Union.

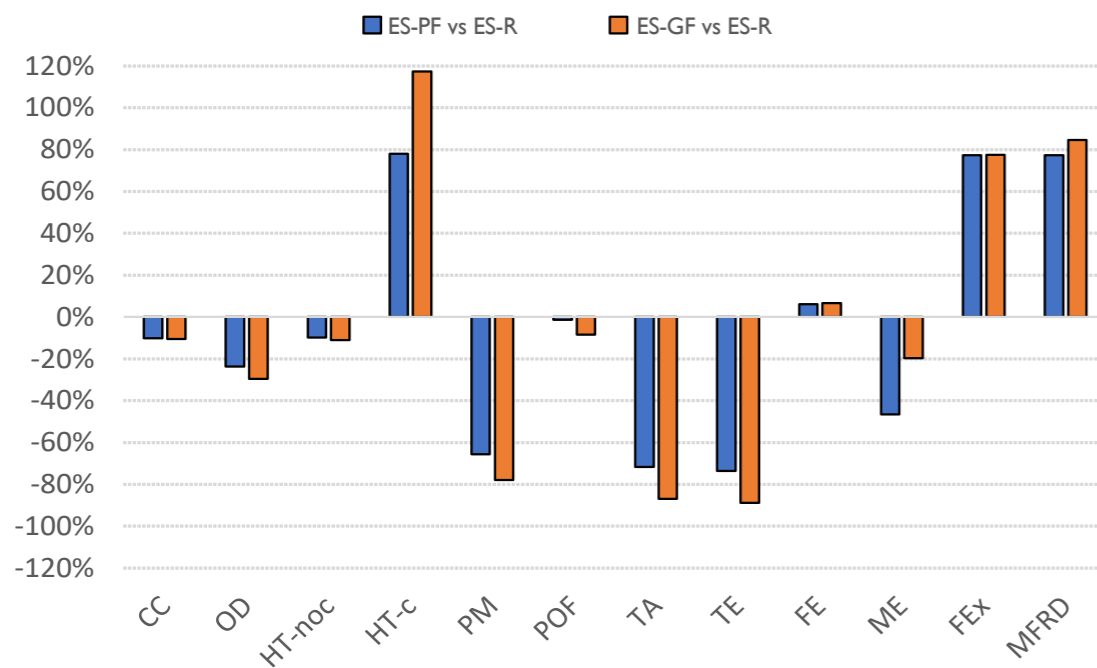


Figura 7.4. Variación del impacto en el fertirriego respecto al escenario de referencia en los escenarios de España.

8

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL USO DEL FERTIRRIEGO EN DIFERENTES ESCENARIOS

ARTURO DAUDÉN
GIORGIO PROVOLO
ANDREA GUIDETTI
RAMÓN GEA
DOLORES QUÍLEZ
EVA HERRERO



8.1 INTRODUCCIÓN

No existe un mercado, ni un coste de referencia para cuantificar el valor económico del uso del digerido o el purín como fertilizante, ni tampoco para los productos obtenidos tras un proceso de separación sólido-líquido (Leip et al., 2019). Su valor en el sistema agro-ganadero depende de la casuística a escala local, de la oferta y la demanda, de la presión del ganadero para deshacerse del purín, del cumplimiento y restricciones de la normativa en cuanto a dosis y épocas de aplicación, de la presencia de empresas especializadas en la gestión como fertilizantes de estos subproductos, de los precios de mercado de los fertilizantes sintéticos y de otros factores de carácter sociológico. La propiedad de las explotaciones ganaderas y agrícolas y el modelo de gestión también influyen de forma determinante en el análisis económico. Mientras que en regiones como Aragón la especialización de los sectores agrícola y ganadero ha evolucionado hacia modelos más industrializados favoreciendo una desconexión entre los mismos como actividades independientes, la proliferación de plantas de digestión anaerobia en regiones como Lombardía ha mantenido de un modelo mixto en esas zonas combinando instalaciones de digestión anaerobia con grandes superficies agrícolas vinculadas a la gestión del digerido a su alrededor.

El valor del estiércol suele estimarse, de forma comparativa cuando se aplica a dosis agronómicas, en función de su capacidad para sustituir a los fertilizantes minerales utilizando como base su contenido en macronutrientes. Generalmente solo se tiene en cuenta su contenido en N, con menor frecuencia se considera también su contenido en P y K, y rara vez se valora su contenido en otros micronutrientes y la aportación de materia orgánica al suelo. Este tipo de beneficios son difíciles de traducir a términos económicos. Implican analíticas complejas y efectos indirectos en la mejora de la calidad del suelo difíciles de cuantificar, pero acaban repercutiendo en la productividad de los cultivos.

El análisis de costes de la fertirrigación de cultivos extensivos (Imagen 8.1) con fracción líquida (FL) de purín o digerido se puede dividir en tres procesos: separación sólido-líquido en la granja, transporte de la FL (por tubería o con cisternas) y fertirrigación en la parcela agrícola. En el caso de fincas agrícolas alejadas de las explotaciones ganaderas o plantas de digestión anaerobia, además del transporte, será necesario disponer o implementar infraestructuras de almacenamiento de FL con una capacidad suficiente que permita su gestión.

Imagen 8.1. Fertirriego en pivó. Parcela demostrativa del proyecto LIFE ARIMEDA (La Melusa, ES).

La situación más favorable, desde el punto de vista económico, se da cuando una granja dispone de superficie de cultivo en su entorno con infraestructura de riego, puesto que se evita tanto el transporte como la infraestructura de almacenamiento. En este escenario también debe valorarse la superficie de cultivo a la que se puede acceder desde la propia granja.

Hay distintos factores que afectan al coste de la fertirrigación como son la concentración de N en la fracción líquida de purín o digerido, la superficie de la parcela de cultivo, el tipo de riego y su distancia a la granja (Tabla 8.1).

A continuación, se presenta un análisis, en casos hipotéticos concretos, del efecto que pueden tener los diferentes factores en la variabilidad de los costes de fertirriego. Este análisis de coste se centra en las técnicas demostradas durante 3 años en el proyecto LIFE ARIMEDA. En Aragón se evaluó la fertirrigación con la FL de purín porcino transportado con cisterna y en Italia de digerido procedente de plantas de digestión anaerobia e inyectado directamente en las redes de riego de las explotaciones.

Tabla 8.1. Factores que influyen en el coste de la fertirrigación.

FACTOR	EFEECTO ECONÓMICO
Concentración de N del purín o del digerido	Se trata de un factor determinante, puesto que el valor de referencia va a ser el coste de 1 kg N aplicado en el campo. Una mayor concentración supondrá un menor volumen de FL a gestionar y por lo tanto menores costes de separación, transporte y fertirrigación.
Superficie de cultivo	Es el efecto escala derivado de la superficie de cultivo que se gestiona desde un único punto de inyección (fertirriego). A mayor superficie, menor repercusión de los costes de inversión en almacenamiento y equipos de inyección de la FL.
Distancia entre la granja y las parcelas de cultivo	Los costes de transporte tienen un peso relativo relevante en el coste total del kg N gestionado en forma de FL, además de otros impactos como por ejemplo los derivados en emisiones de CO ₂ . La distancia y la configuración del sistema de riego condicionan la posibilidad de realizar inyección directa desde el almacenamiento en granja/planta o la necesidad de utilizar transporte rodado. Este último aumenta significativamente los costes de gestión y las horas de trabajo necesarias para la misma.
Tipo de cultivo	Cultivos con una mayor demanda de N, como el maíz, o la posibilidad de llevar a cabo dobles cultivos repercuten en unos menores costes relativos de la inversión.
Tipo de infraestructura de riego	Si se trata de riego por aspersión (pívot) o riego por goteo afecta a los costes de separación en granja, puesto que estos costes son mayores cuanto mayor es la restricción del tamaño de partículas sólidas que admite el sistema de riego para evitar obstrucciones en boquillas o goteros. Por lo general se considera que las restricciones son de 250-500 µm para riego por aspersión/pívot y 100-200 µm para goteo.

8.2 FERTIRRIEGO CON PURÍN PORCINO EN ARAGÓN

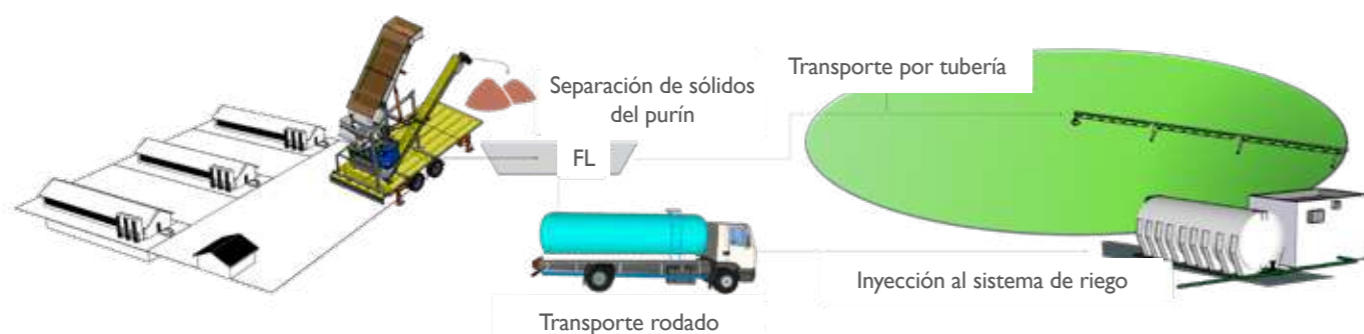


Figura 8.1. Esquema de gestión para la aplicación del fertirriego con purín porcino en Aragón (ES).

8.2.1 SEPARACIÓN SÓLIDO/LÍQUIDO

Se plantean dos casos de estudio en los que se analizan los costes de separación para obtener fracciones líquidas aptas para el fertirriego en pívot y en riego por goteo. El estudio se basa en un sistema de separación como los utilizados en el proyecto LIFE ARIMEDA (Figura 8.1). Para el fertirriego con pívot sólo es necesaria una primera etapa de separación mecánica que elimine partículas de tamaño superior a 250 µm, en el riego por goteo es necesario añadir una segunda separación trabajando en línea con la anterior para reducir el tamaño de partículas en la FL de 250 a 100 µm. En la Tabla 8.2 se indican los costes individuales de cada etapa de separación y el coste total para cada sistema de fertirriego:

Tabla 8.2. Análisis de costes para diferentes separaciones mecánicas sólido/líquido con purín porcino.

	PÍVOT	GOTEO	Unidades
	1ª separación	1ª + 2ª separación	
DATOS DE PARTIDA	250 µm	100 µm	
Tamaño de partícula	250 µm	100 µm	
Volumen FL	15.000	15.000	m³/año
Concentración N _{total} en FL	2,5	2,5	kg Nt/m³
Q separación	10	10	m³/h
Tiempo funcionamiento	1.500	1.500	h/año
Potencia equipos separación	12,25	21,35	kW
Coste personal	15	15	€/h
Coste energía	0,15	0,15	€/kWh
Amortización equipos	10	10	años
Amortización infraestructuras	25	25	años
Coste mantenimiento anual	4%	4%	% Inversión equipos
Mano de obra	0,5	1,0	h/día
COSTES DE INVERSIÓN (fijos)			
Costes de inversión			
Equipos de separación	40.000	72.000	€
Almacenamiento FL	8.000	16.000	€
Total	48.000	88.000	€
Amortización de la inversión			
Equipos de separación	4.000	7.200	€/año
Almacenamiento FL	320	640	€/año
Total	4.320	7.840	€/año
COSTES DE OPERACIÓN (variables)			
Costes de operación	1.600	2.880	€/año
Coste mano de obra	1.406	3.038	€/año
Costes energéticos	2.756	5.209	€/año
Total	5.763	11.128	€/año
COSTE TOTAL			
Coste anual	10.083	18.968	€/año
Coste por m³ separado (FL)	0,67	1,26	€/m³
Coste por kg N en FL	0,28	0,51	€/kg N

- **CASO 1:** 250 μm – FL apta para su uso en riego con pívot o aspersión
- **CASO 2:** 100 μm – FL apta para su uso en riego con goteo

El volumen de FL considerado para este análisis es de 15.000 $\text{m}^3/\text{año}$ con una concentración de nitrógeno de 2,5 kg/m^3 , lo que proporcionaría 37.500 kg N , suficientes unidades fertilizantes para una superficie agrícola de 140 ha de maíz aplicando una dosis de 280 $\text{kg N}/\text{ha}$. Estos valores son solo orientativos y sería necesario llevar a cabo un estudio en detalle de las necesidades de fertilización reales de cada escenario en función de las producciones esperadas, los cultivos y los aportes procedentes de otras fuentes como el suelo, el agua de riego o cultivos precedentes.

En este análisis se ha considerado la utilización de equipos de separación mecánica, sin utilizar aditivos químicos (coagulantes y/o floculantes) con sistemas similares a los utilizados en las parcelas demostrativas del proyecto LIFE ARIMEDA. Los prototipos de separación utilizaban sistemas filtración en rampa y prensado para la fertirrigación en pívot y posterior tamizado con sistemas vibratorios que proporcionaban una separación adecuada a las necesidades de los sistemas de riego por goteo utilizados en los ensayos.

Los costes de separación se estiman entre 0,69 $\text{€}/\text{m}^3$ FL en el caso de pívot (una separación) y 1,26 $\text{€}/\text{m}^3$ FL para riego por goteo. La amortización de los equipos es la mayor contribución al coste de separación (42%) seguida por el coste de la energía (27%) (Figura 8.2).

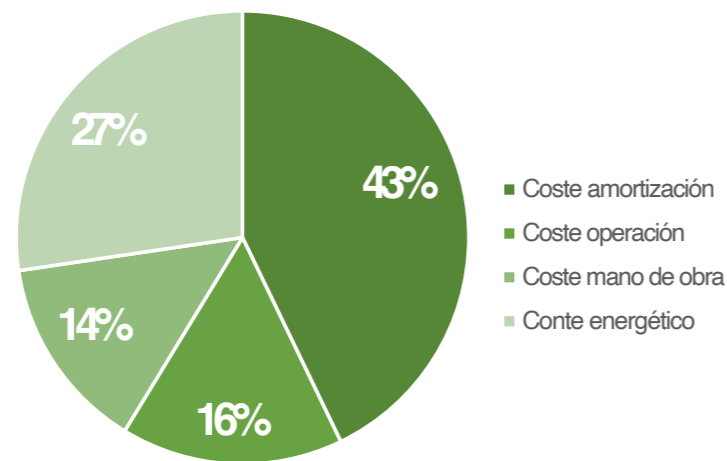


Figura 8.2. Distribución de costes de separación sólido/líquido de purín porcino para fertirriego utilizando sistemas de separación mecánica (sin aditivos químicos).

En los casos de estudio planteados, la concentración de N en el purín influye en el coste de la separación, ya que cuanto más alta es esta concentración menor es el volumen de purín a manejar. Esto afecta tanto a la amortización de la inversión inicial en los equipos de separación e infraestructuras de almacenamiento como a los costes de operación. La Figura 8.3 muestra cómo los valores pueden oscilar entre 0,15 y 0,71 $\text{€}/\text{kg N}$ en separaciones para fertirrigación en pívot y entre 0,26 y 1,30 $\text{€}/\text{kg N}$ para fertirriego en goteo enterrado, considerado un rango de concentración de N de entre 1,0 y 5,0 $\text{kg N}/\text{m}^3$.

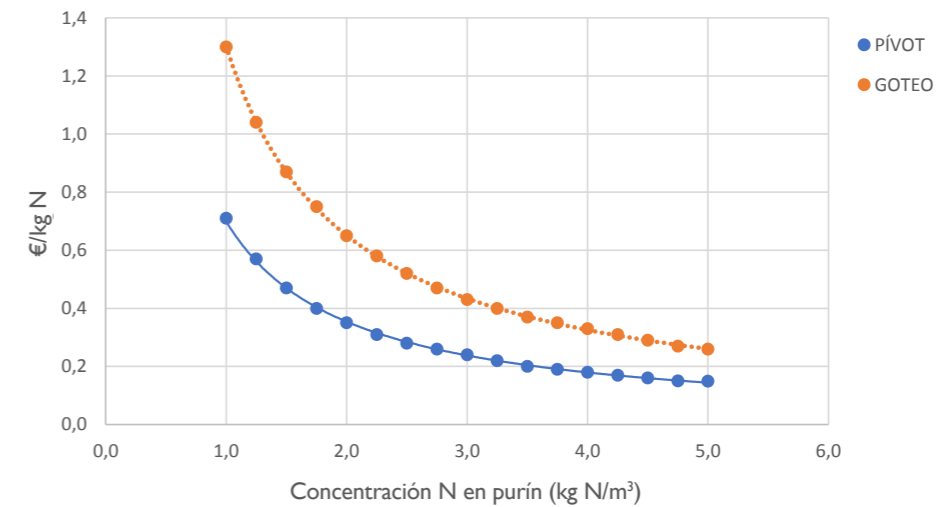


Figura 8.3. Coste de la separación sólido/líquido del purín para su uso en fertirriego.

8.2.2 TRANSPORTE

Para analizar los costes de transporte rodado con cisterna en aquellos escenarios en los que la inyección no se puede hacer directamente desde el almacenamiento de la granja a la red de riego, se han considerado los siguientes datos de partida:

- Servicio de transporte con camión cisterna de 20 m^3 de capacidad: 70 $\text{€}/\text{h}$
- Tiempo de carga: 5 min
- Tiempo de descarga: 5 min
- Velocidad media (salida granja, carretera y entrada parcela): 60 km/h

La distancia de transporte y, en mayor medida la concentración de nitrógeno en la FL, afectan a los costes (Figura 8.4). Resulta evidente que concentraciones muy bajas de N ($< 1,8 \text{ kg N}/\text{m}^3$) penalizan mucho los costes de transporte y las diferencias en el coste, debidas a la distancia recorrida, se reducen con el incremento de la concentración de N.

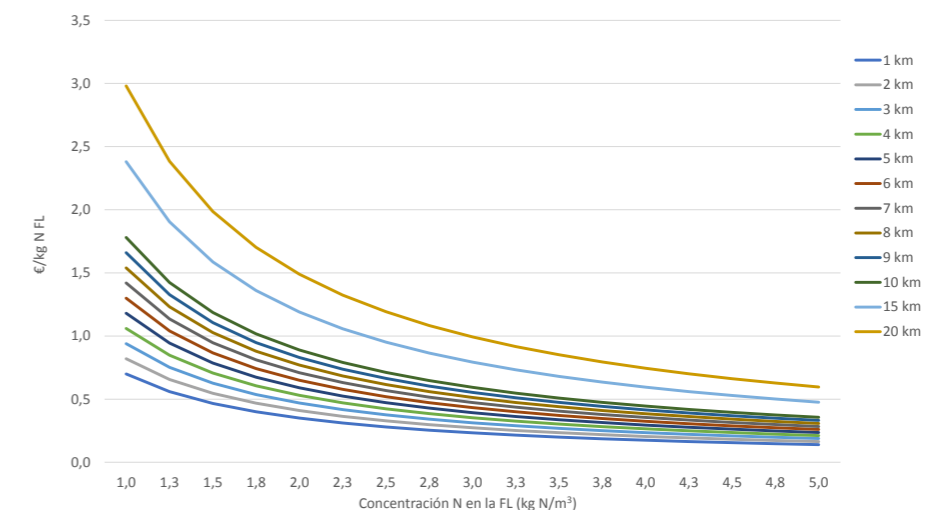


Figura 8.4. Costes de transporte con cisterna de la fracción líquida del purín ($\text{€}/\text{kg N}$) en función de la distancia granja-parcela (km).

8.2.3 APLICACIÓN DEL FERTIRRIEGO EN LA PARCELA

Para analizar en detalle el coste de la inyección de fracción líquida en el sistema de riego se han tenido en cuenta las variables detalladas en la Tabla 8.3. En base a la experiencia del proyecto LIFE ARIMEDA se han considerado 3 escenarios hipotéticos, fertirriego en pívot en parcelas de 10 y 50 ha y fertirriego en goteo en parcelas de 10 ha.

Tabla 8.3. Análisis de costes de inyección de fracción líquida en sistemas de riego con pívot y goteo.

	PÍVOT	PÍVOT	GOTEO	UNIDADES
DATOS DE PARTIDA				
Superficie	10	50	10	ha
Dosis de N	250	250	250	kg N/año
Concentración N _{total} en FL	2,5	2,5	2,5	kg N/m ³
Q inyección	10	30	10	m ³ /h
Volumen inyectado	1.000	5.000	1.000	m ³
Tiempo funcionamiento	100	167	100	h/año
Potencia bomba inyección	2,20	7,75	2,20	kW
Coste personal	15	15	15	€/h
Coste energía	0,15	0,15	0,15	€/kWh
Amortización equipos	10	10	10	años
Amortización infraestructuras	25	25	25	años
Coste mantenimiento anual	4%	4%	4%	% Inversión equipos
Mano de obra	1	1	1	h/día
COSTES DE INVERSIÓN (fijos)				
Costes de inversión				
Equipos de inyección	5.700	11.700	6.200	€
Almacenamiento FL	8.000	16.000	8.000	€
Total	13.700	27.700	14.200	€
Coste anual de la inversión				
Equipos de inyección	570	1.170	620	€/año
Almacenamiento FL	320	640	320	€/año
Total	890	1.810	940	€/año
COSTES DE OPERACIÓN (variables)				
Mantenimiento	228	468	523	€/año
Coste mano de obra	188	313	188	€/año
Coste energético	33	194	33	€/año
Total	449	975	744	€/año
COSTE TOTAL				
Coste anual	1.339	2.785	1.684	€/año
Coste por m³ separado	1,34	0,56	1,68	€/m³
Coste por kg N en FL	0,54	0,22	0,67	€/kg N

Los costes de la inyección están muy influenciados por la superficie de la parcela y la concentración de N en la FL. Por ejemplo, para concentraciones medias de la FL de 2,5 kg N/m³ el coste puede oscilar entre 0,18 €/kg N en pívots de 50 ha a 0,54 €/kg N en parcelas de 10 ha. La superficie de cultivo produce un efecto escala en la repercusión de los costes de inversión en equipos e infraestructura de almacenamiento y de operación que es más evidente cuando se manejan FL de concentraciones más bajas (Figura 8.5).

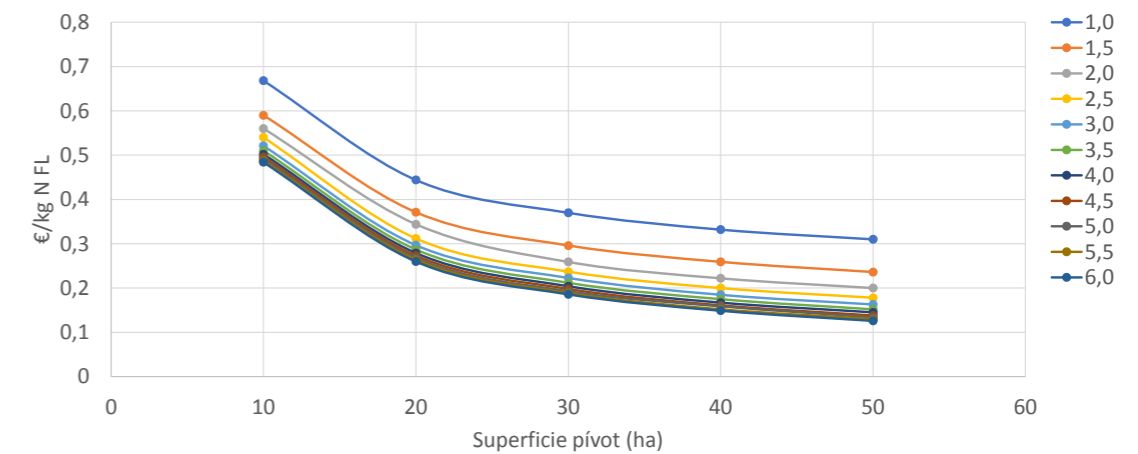


Figura 8.5. Coste de fertirriego con pívot en función de la superficie de la parcela y de la concentración de N en la fracción líquida de purín.

8.2.4 ANÁLISIS DE COSTES DEL FERTIRRIEGO - COSTE TOTAL

Aplicando las premisas detalladas en los apartados anteriores, en las tablas 8.4 y 8.5 se detalla el análisis de costes totales (separación + transporte + inyección a riego) para el uso del fertirriego en diferentes escenarios agrícolas, en función del coste del transporte con una cisterna de 20 m³ y de la concentración de N en la FL gestionada.

Tabla 8.4. Análisis de costes (€/kg N y €/ha) del uso de fertirriego en un pívot de 30 ha. Dosis aplicada: 250 kg N/ha.

Concentración de N en la FL (kg N/m³)	DISTANCIA GRANJA-PARCELA (KM)			
	0 (sin transporte)	3	5	10
COSTES POR UNIDAD FERTILIZANTE (€/kg N)				
1,0	1,08	2,02	2,26	2,86
1,5	0,77	1,39	1,55	1,95
2,0	0,61	1,08	1,20	1,50
2,5	0,52	0,89	0,99	1,23
3,0	0,46	0,78	0,86	1,06
3,5	0,41	0,68	0,75	0,92
4,0	0,38	0,62	0,68	0,83
4,5	0,36	0,57	0,62	0,75
5,0	0,40	0,53	0,58	0,70
COSTES POR SUPERFICIE AGRÍCOLA (€/ha)				
1,0	270	505	565	715
1,5	192	348	388	488
2,0	152	270	300	375
2,5	129	223	247	307
3,0	116	194	214	264
3,5	103	170	187	230
4,0	96	155	170	207
4,5	90	142	155	188
5,0	86	133	145	175

Los resultados obtenidos muestran como los costes de la aplicación del fertirriego en riego por goteo enterrado prácticamente duplican los del fertirriego en parcelas con pívot. Esto se debe fundamentalmente a la repercusión de los costes de separación que requiere una mayor inversión en equipos y capacidad de almacenamiento y mayores costes de operación. Las modificaciones en los sistemas de riego implantados requieren inversiones de bajo coste al margen de los equipos de inyección y almacenamiento, puesto que se limitan al cambio de boquillas de baja presión (pívot) e instalación de filtros adicionales en el caso de riego por goteo.

En el supuesto de que el ganadero se hiciese cargo de los costes de separación y de transporte y el agricultor estuviese dispuesto a pagar hasta un 75%, para tener un ahorro del 25%, del coste de la fertilización mineral, el fertirriego en pívot sería viable económicamente cuando no es necesario el transporte con cisterna, con transporte hasta 5 km si la concentración de N en la FL es $\geq 1,5$ kg N/m³ o hasta 10 km si es $\geq 2,0$ kg N/m³ (coste utilizado de fertilizantes minerales: 1 €/kg N). En el caso del fertirriego en goteo, la viabilidad se alcanzaría sin transporte con una concentración de N en la FL $\geq 1,5$ kg N/m³, con transporte hasta 5 km si la concentración es 2,5 kg N/m³ y hasta 10 km con concentraciones $\geq 3,0$ kg N/m³.

Tabla 8.5. Análisis de costes (€/kg N y €/ha) del uso de fertirriego una parcela de riego por goteo enterrado de 10 ha – Dosis aplicada: 250 kg N/ha.

Concentración de N en la FL (kg N/m³)	DISTANCIA GRANJA-PARCELA (KM)			
	0 (sin transporte)	3	5	10
COSTES POR UNIDAD FERTILIZANTE (€/kg N)				
1,0	2,11	3,05	3,29	3,89
1,5	1,60	2,23	2,39	2,79
2,0	1,35	1,82	1,94	2,24
2,5	1,19	1,57	1,66	1,90
3,0	1,09	1,40	1,48	1,68
3,5	1,02	1,29	1,36	1,53
4,0	0,97	1,21	1,27	1,42
4,5	0,92	1,13	1,18	1,32
5,0	0,89	1,08	1,13	1,25
COSTES POR SUPERFICIE AGRÍCOLA (€/ha)				
1,0	528	763	823	973
1,5	400	557	597	697
2,0	338	455	485	560
2,5	298	392	416	476
3,0	273	351	371	421
3,5	255	322	339	382
4,0	243	301	316	354
4,5	230	282	296	329
5,0	223	270	282	312

8.3 FERTIRRIEGO CON DIGERIDO EN LOMBARDÍA

El análisis de costes realizado en Lombardía para la aplicación del fertirriego con la fracción líquida del digerido tiene dos particularidades respecto a los escenarios planteados en base a la experiencia en Aragón en el marco del proyecto:

1. En el modelo mixto granja con planta de biogás – parcelas agrícolas el transporte considerado siempre es por tubería, inyectando directamente en la red de riego la fracción líquida desde su almacenamiento en la planta de digestión anaerobia/granja.
2. Los sistemas de riego por goteo son superficiales. Se instalan y retiran antes y después de cada campaña para poder realizar las labores agrícolas necesarias en la parcela.

Teniendo en cuenta estas premisas se han analizado dos casos de estudio que pueden servir de referencia para evaluar la variabilidad y rangos de costes de implementación del fertirriego con digerido en cultivos extensivos con riego por goteo y pívot.

CASO 1: Análisis de costes de la fertirrigación con la fracción líquida de digerido en sistema de riego por goteo.

Premisas consideradas en el análisis de costes:

- Concentración de N en la fracción líquida del digerido: 5 kg/m³
- Dosis aplicada: 200 kg N/ha
- Volumen gestionado: 40 m³/ha
- Coste del consumo eléctrico: 0,4183 €/m³ o 16,73 €/ha (basado en un consumo promedio de 2,35 kWh/m³)
- Coste de la mano de obra: 13,56 €/ha (en base a 13,56 €/h y 1,00 h/ha)
- Coste de operación (incluidos reactivos): 0,50 €/m³ – 20,00 €/ha
- Caudal de trabajo: 3 m³/h.

La figura 8.6 muestra como el coste de fertirriego oscila de 136 €/ha en explotaciones con superficies agrícolas de 100 ha a 912 €/ha en parcelas de 10 ha. Este elevado coste en superficies pequeñas está directamente relacionado con la amortización del coste de inversión en los sistemas de separación sólido/líquido.

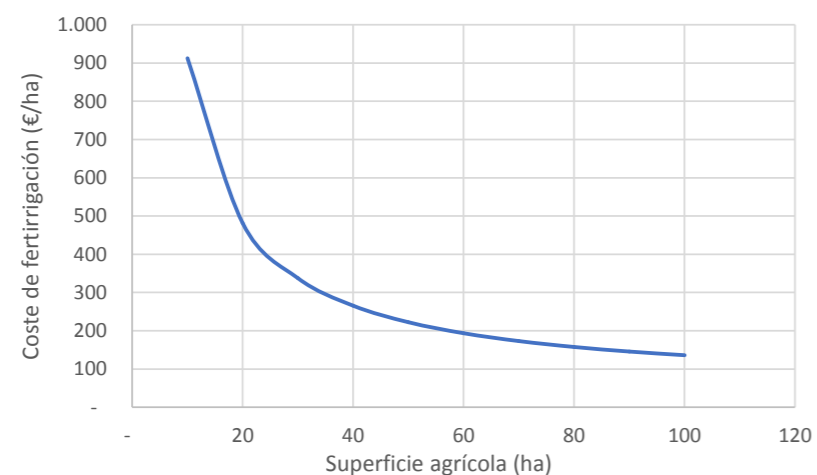


Figura 8.6. Análisis de costes del fertirriego en goteo con la FL de digerido en función de la superficie agrícola gestionada.

CASO 2: Análisis de costes de la fertirrigación de la fracción líquida de digerido en pívot.

Premisas consideradas en el análisis de costes:

- Concentración de N en la fracción líquida del digerido: 5 kg/m³
- Dosis aplicada: 200 kg N/ha
- Volumen gestionado: 40 m³/ha
- Coste del consumo eléctrico: 0,418 €/m³ o 16,73 €/ha (basado en un consumo de 2,35 kWh/m³)
- Coste de la mano de obra: 9,49 €/ha (en base a 13,56 €/h y 0,70 h/ha)
- Coste de operación (incluidos reactivos): 0,50 €/m³ – 20,00 €/ha
- Caudal de trabajo: 5 m³/h.

El análisis muestra que el coste de la fertirrigación oscila entre 99 €/ha en explotaciones con superficies agrícolas de 150 ha y 577 €/ha en parcelas de 10 ha (Figura 8.7). Este elevado coste en las pequeñas superficies está directamente relacionado con la amortización de la inversión en sistemas de separación sólido/líquido.

En el caso del pívot, el coste por hectárea en grandes explotaciones (en torno a las 100 ha) es similar al del riego por goteo, pero su efecto escala en función de la superficie cultivada es menor; por ejemplo, para una parcela de 30 ha, el coste apenas excede los 300 €/ha.

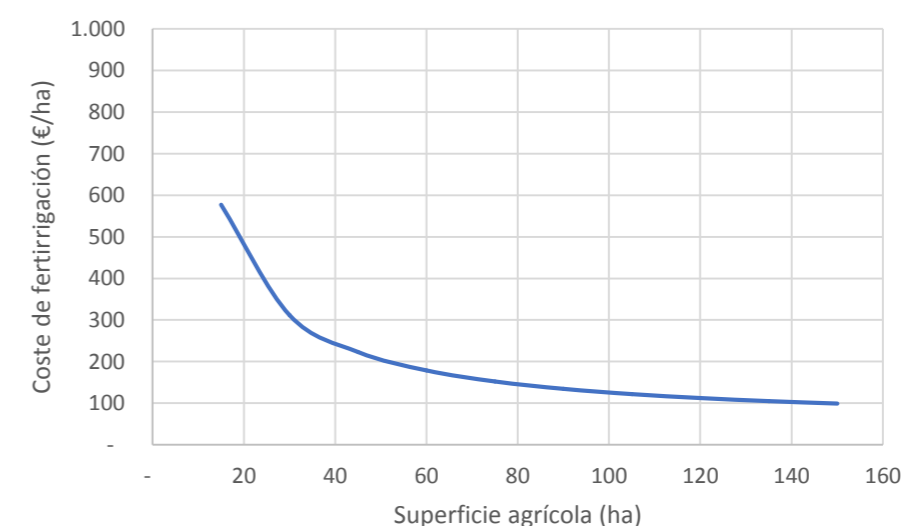


Figura 8.7. Análisis de costes del fertirriego en pívot con la FL de digerido en función de la superficie agrícola gestionada.

El análisis de la distribución de costes vinculada a cada uno de los sistemas de fertirriego analizado evidencia el papel protagonista que tiene la amortización de los sistemas de separación sólido/líquido en el coste del fertirriego, especialmente en los sistemas de riego por goteo (Figura 8.8).



Imagen 8.2. Detalle de riego por goteo superficial en parcela demostrativa del proyecto LIFE ARIMEDA (Lombardia, IT).

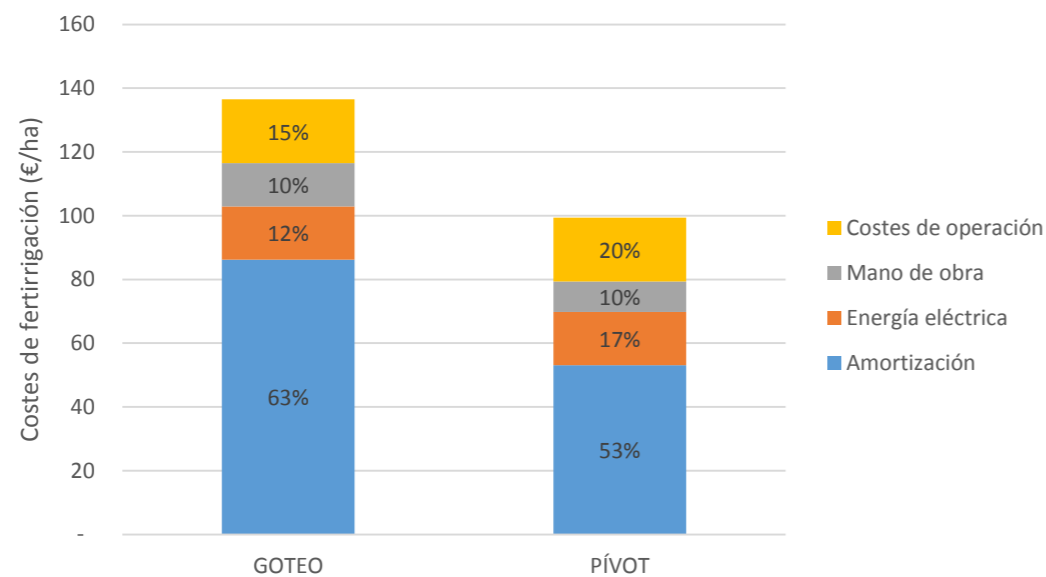


Figura 8.8. Distribución de costes al utilizar el fertirriego con la FL de digerido en función de la superficie agrícola gestionada.

El coste de aplicación del digerido es de 0,50 €/kg N para el pívot y de 0,68 €/kg/N para el riego por goteo, cuando la dosis aplicada es de 200 kg N/ha con una concentración de 5 kg N/m³ y la superficie cubierta con fertirrigación es de 150 ha (pívot) o 100 ha (goteo). Una reducción de la superficie cubierta aumenta la incidencia de los costes de inversión. El coste de 0,75 €/ha (el 75% del coste del abono mineral) se alcanza cuando la superficie es de unas 80 ha en el caso de los sistemas de riego por pívot y de 90 ha en el caso de los sistemas de riego por goteo. Hay que señalar que los costes de distribución son, en general, inferiores a los de un sistema de aplicación tradicional (cisterna de abono).

8.4 VALOR ECONÓMICO DE LA FERTIRRIGACIÓN

El precio de los fertilizantes nitrogenados sintéticos es altamente dependiente del precio de la energía, especialmente del gas natural. Esta dependencia es debida al alto consumo de energía del proceso Haber-Bosch por el que se obtienen. La coyuntura actual del mercado de fertilizantes sintéticos y minerales, en el que se ha disparado el coste de la energía, constituye una oportunidad favorable para los fertilizantes de origen orgánico, como el digerido o el purín. La creación de un mercado estable que permita el uso de los fertilizantes orgánicos con tecnologías eficientes puede representar un ahorro importante para los agricultores. Además, este sistema de gestión se alinea con la estrategia de economía circular y con los objetivos de reducción de emisiones de amoníaco y gases de efecto invernadero marcados por la Unión Europea en las políticas medioambientales y agrarias (PAC) desarrolladas en los últimos años.

Es importante destacar que, la inyección directa en el sistema de riego, tal y como se ha implementado y analizado en Lombardía, eliminando el transporte por carretera, permite una gestión mucho más eficiente económicamente y con un mayor potencial de escalado. El modelo mixto granja parcela con esta configuración representa un escenario muy favorable para la aplicación de esta técnica.

REFERENCIAS

Leip, A., Ledgard, S., Uwizeye, A., Palhares, J. C., Aller, M. F., Amon, B. and Wang, Y. 2019. The value of manure-Manure as co-product in life cycle assessment. *Journal of environmental management*, 241, 293-304.

9

PERCEPCIÓN SOCIAL DEL IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LA GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL Y EL DIGERIDO Y LA APLICACIÓN DE PRÁCTICAS SOSTENIBLES COMO EL FERTIRRIEGO

EVA HERRERO
ALEXIA SANZ
DOLORES QUÍLEZ
VIVIANA GUIDO
IGNACIO CLAVERÍA
ARTURO DAUDÉN
GIORGIO PROVOLO
FLAVIO SOMMARIYA

9.1 INTRODUCCIÓN

En el sector agrícola, la adopción de tecnologías y técnicas que contribuyan a mitigar las emisiones de amoníaco derivadas del uso de fertilizantes orgánicos, tales como el fertirriego, pueden generar beneficios importantes en la cadena de valor de los alimentos producidos y, en consecuencia, promocionar el uso de buenas prácticas en la gestión del purín y del digerido procedente de instalaciones de digestión anaerobia. Sin embargo, este objetivo sólo puede alcanzarse de forma satisfactoria si los agricultores son conscientes de los beneficios que se derivan de la aplicación de estas tecnologías y se suman plenamente a este esfuerzo global, de lo contrario se fracasará. La sostenibilidad medioambiental de los sistemas de producción no es un incentivo suficiente por sí solo y hay que tener en cuenta los márgenes de beneficio de los sistemas de producción ganadera y agrícola a la hora de plantear técnicas de manejo alternativas a las habituales. Las soluciones, métodos y enfoques desarrollados por el proyecto LIFE ARIMEDA han demostrado ser adecuados para su adopción por inversiones privadas. Sin embargo, los agricultores muestran a menudo resistencia al cambio y a la adopción de innovaciones en sus prácticas; a menudo se retrasa la aceptación de nuevas técnicas y su uso, tal es el caso del sistema de gestión del estiércol. Una solución a este problema podría ser la realización de campañas de información y formación específicas en combinación con instrumentos políticos e incentivos económicos que fomenten la buena imagen de explotaciones agrícolas respetuosas con el clima y el medio ambiente (Imagen 9.1 y 9.2).

Para poder transferir con éxito prácticas como el fertirriego como técnica sostenible para la gestión del purín y el digerido, es crucial conocer la percepción del sector directamente implicado en estas actividades y entender cómo y dónde identifican los agricultores (usuarios potenciales de esta práctica), los principales facilitadores y barreras en su implementación, así como en qué grado perciben que esta técnica puede ser interesante y atractiva para su actividad.

En el marco del proyecto LIFE ARIMEDA se ha elaborado, con el apoyo y colaboración de la Universidad de Zaragoza, una encuesta en la que se evalúa la percepción de agricultores y ganaderos de las regiones de Aragón y Lombardía sobre 48 indicadores, 24 facilitadores y 24 barreras para la implementación del fertirriego con la fracción líquida de purín y digerido respectivamente (Tabla 9.1). Los indicadores se puntuaron en una escala de 0 a 5 de menor a mayor importancia del indicador de acuerdo al criterio del encuestado. Los 48 indicadores se agruparon atendiendo a 5 criterios: 1. económicos, 2. políticos, estratégicos y legislativos, 3. sociales, 4. tecnológicos y 5. medioambientales.

Los indicadores se perfilaron en colaboración con los técnicos del sector y la encuesta resultante se distribuyó en Aragón a través de las Comunidades de regantes de Bardenas (Cinco Villas) y del Canal de Aragón y Cataluña (La Litera) y en Lombardía a través de la Asociación Regional Ganadera de Lombardía (ARAL). El análisis se realizó a partir de los datos aportados por el cuestionario, que respondieron 39 encuestados, 25 en Aragón y 14 en Italia.

Tabla 9.1. Facilitadores y barreras incluidos en el estudio social realizado en el marco del proyecto LIFE ARIMEDA.

Crterios	FACILITADORES Aspectos favorables que facilitan y pueden promocionar el uso de técnicas de fertirriego con la fracción líquida de purín
Economía	F1 Reducen los costes de fertilización y aumenta el margen de beneficio para el agricultor
	F2 El modelo mixto ganadería-agricultura tiene ventajas económicas (costes y eficiencia)
	F3 Un sistema mixto ganadería-agricultura permite crear nuevos modelos de servicios (oportunidades para nuevos negocios)
	F4 Insuficiente apoyo público: Fondos financieros insuficientes para llevar a cabo una apuesta por la sustitución de fertilizantes sintéticos
Política/ Estrategia/ Legislación	F5 Ayudan al desarrollo del sector impulsando la innovación
	F6 Son un apoyo a una estrategia regional de transición hacia un modelo socioeconómico y ambiental sostenible
	F7 El fertirriego tiene interés estratégico en zonas con elevada concentración ganadera
	F8 El sector comparte el interés estratégico de Europa por la reducción del consumo de abonos minerales
Social	F9 Mejoran la percepción social del sector agroganadero como actividad en el medio rural
	F10 Contribuyen a la innovación y cambio hacia prácticas sostenibles de gestión de purín
	F11 Tienen interés porque son medidas que responden a las expectativas y exigencias sociales medioambientales
	F12 Tienen interés porque contribuye a que el sector cumpla con las obligaciones y exigencias de las normativas vigentes
	F13 El sistema mixto de ganadería-agricultura permite crear nuevos puestos de trabajo más técnicos ligados a nuevas empresas
	F14 Son una oportunidad para reemplazar el fertilizante mineral de cobertera por purín
Tecnología	F15 Se obtiene una fracción sólida (FS) rica en fósforo y materia orgánica que puede ser fácilmente valorizable
	F16 Disminuyen las pérdidas de nitrógeno a la atmósfera y aumenta el valor fertilizante del purín
	F17 Amplían las épocas de aplicación al campo incrementando su competitividad en el mercado como producto fertilizante
	F18 Facilitan el manejo del purín en escenarios donde las parcelas están al lado de la granja
Ambiental	F19 Disminuyen los olores generados en la gestión y la aplicación del purín al campo
	F20 Disminuyen las emisiones de amoníaco a la atmósfera nocivas para la salud (en comparación con las prácticas de fertilización habituales con purín)
	F21 No aumentan el riesgo de lavado de nitrato hacia los cursos de agua
	F22 Permiten reducir la cantidad de abono mineral que se aplica en los sistemas de regadío sustituyéndolo por purín y reduciendo los impactos asociados al exceso de fertilización
	F23 Mejoran el reciclaje de nutrientes en las cadenas productivas (reaprovechamiento eficiente del purín a nivel local y regional)
	F24 Contribuyen a la reducción del transporte rodado cuando las parcelas están al lado de la granja

Crterios	BARRERAS Aspectos que dificultan el uso de técnicas de fertirriego con la fracción líquida de purín
Economía	B1 Necesitan una inversión previa en equipos: separadores, almacenamiento y sistema de inyección
	B2 La separación y el sistema de fertirriego necesita de operaciones de seguimiento y mantenimiento
	B3 Para aplicar fertirriego en sistemas de goteo suele ser necesario invertir en la instalación del riego ya que es un sistema poco frecuente en cultivos extensivos
	B4 Existe una competencia directa entre la fertilización con purines y el mercado de producción y comercialización de fertilizantes minerales
	B5 Hay desconexión entre la agricultura y la ganadería con un gran crecimiento de las explotaciones ganaderas en el territorio
	B6 Falta de empresas con capacidad de I+D+i en el sector
Política/ Estrategia/ Legislación	B7 Falta de una estrategia regional de transición a un modelo agroganadero sostenible debido a políticas de corto alcance sin visión territorial estratégica
	B8 Hay posiciones e intereses polarizados entre la intensificación y especialización de la ganadería y el desarrollo de estrategias sostenibles en el sector agroganadero
	B9 Hay una normativa diferenciada en el uso de fertilizantes orgánicos y sintéticos que discrimina la fertilización con purines frente a la fertilización mineral
	B10 El sector no conoce en profundidad la normativa en el uso de purines
Social	B11 No hay un interés por parte del sector por conocer la normativa para introducir nuevas técnicas innovadoras en la gestión del purín y el estiércol. La motivación principal son las implicaciones en el cobro de la PAC
	B12 Los impactos sociales de la gestión del purín no se tienen en cuenta a la hora de hacer inversiones e innovaciones en el sector agroganadero
	B13 La sociedad percibe mayores riesgos en el uso de purines como fertilizante que en el uso de abonos minerales
	B14 Falta de profesionalización del sector
Tecnología	B15 Progreso insuficiente en tecnologías para la valorización de purines como fertilizantes
	B16 El fertirriego con purín puede necesitar transporte y almacenamiento adicional en granja o parcela
	B17 El fertirriego con purín en sistemas de goteo tiene como dificultad añadida el correcto manejo del riego en cultivos extensivos
	B18 Existe un desconocimiento del contenido de nutrientes del purín (valor fertilizante)
	B19 Es difícil controlar las dosis que se aplica en fertirriego
Ambiental	B20 Se necesita mano de obra técnica para la aplicación del fertirriego (separación, plan de abonado y logística)
	B21 Falta visión de los recursos del entorno como una oportunidad
	B22 Desconocimiento de los potenciales riesgos biosanitarios derivados del uso del purín en fertirriego
	B23 Desconocimiento del efecto ambiental de contaminantes emergentes como antibióticos y productos sanitarios usados en la ganadería
	B24 Riesgo de impacto en la calidad de los suelos y del agua

9.2 EL ESTUDIO EN ARAGÓN (ESPAÑA)

En Aragón la encuesta se distribuyó a través de asociaciones de ganaderos y comunidades de regantes principalmente en dos zonas rurales donde la agricultura de regadío y la ganadería intensiva juegan un papel muy importante en la economía local, las Cinco Villas y La Litera.

El perfil medio del encuestado es, varón de entre 24 y 67 años de edad (edad media de 50 años), con estudios secundarios o universitarios y cuya actividad fundamental es la agricultura. Entre los encuestados predominan los agricultores que gestionan superficies agrícolas de entre 0 y 200 has (Figura 9.1) y para los que el uso del purín como fertilizante orgánico no es desconocido, aplicándolo habitualmente o, al menos, ocasionalmente en sus parcelas.

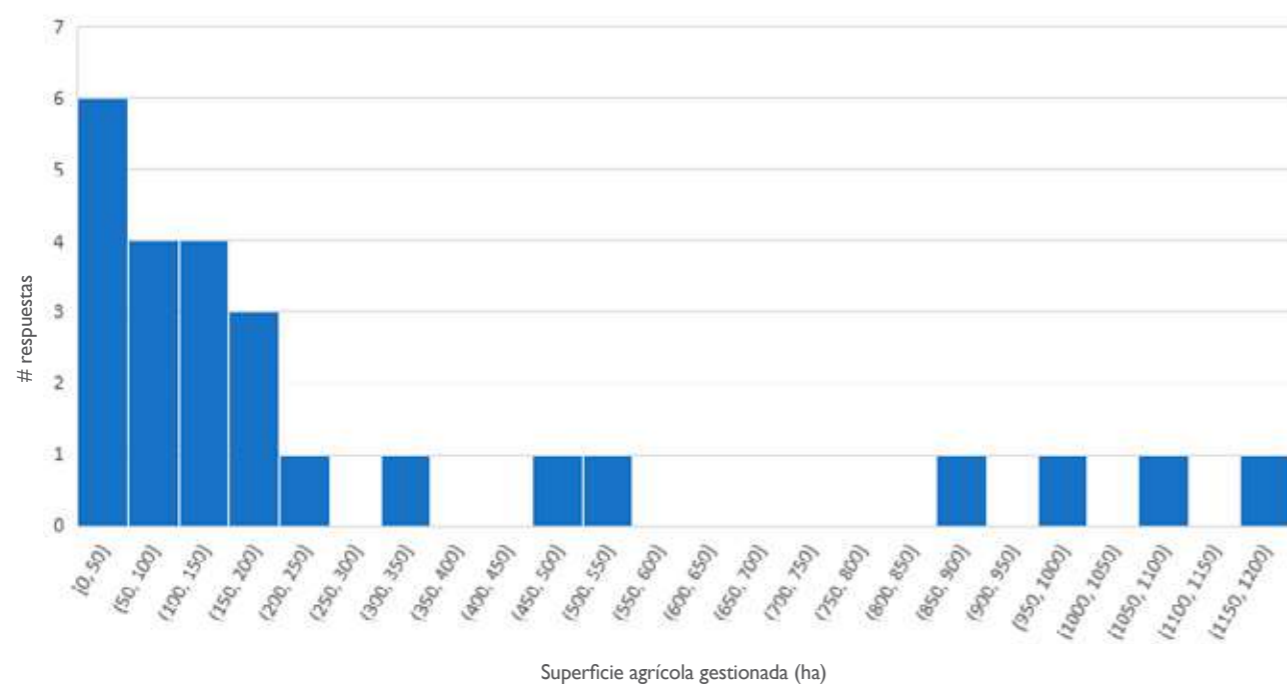


Figura 9.1. Distribución del número de encuestados en función de la superficie agrícola que gestionan como agricultores en Aragón.

Se ha observado que en el caso de La Litera la utilización del fertirriego tanto con fertilizante mineral como con purín está más extendido que en las Cinco Villas y el 83% de los encuestados disponía de sistemas de riego con pivó o máquinas laterales (rangers).

De los resultados de las encuestas se extrajeron las siguientes conclusiones respecto a los indicadores planteados como posibles facilitadores en la promoción del fertirriego con la fracción líquida de purín (Figura 9.2):

1. Los tres aspectos mejor valorados son las ventajas económicas del modelo mixto ganadería-agricultura, el interés estratégico del fertirriego en zonas con elevada concentración ganadera y el uso más eficiente de los nutrientes del purín a nivel local y regional reciclando los recursos disponibles dentro de la misma cadena productiva. También se valora muy positivamente la reducción del transporte rodado cuando las parcelas están al lado de la granja así como la reducción de costes en fertilización y la ampliación de las épocas de aplicación al campo.

2. Los incentivos valorados en menor medida son los relacionados con la alineación de las estrategias a seguir con las políticas europeas, la aplicación de buenas prácticas como ayuda para mejorar la percepción social de la actividad agroganadera y la disminución de olores.
3. Los indicadores de carácter social son los que tienen menor peso en términos generales a la hora de actuar como catalizadores para el uso de prácticas agrícolas sostenibles como el fertirriego.



Figura 9.2. Valoración, en un rango de 0 a 5, de la importancia de los facilitadores que promueven la aplicación de fertirriego con la fracción líquida de purín en Aragón (España). Los códigos se corresponden con los indicadores recogidos en la tabla 9.1.

Respecto a las principales barreras que dificultan el uso del fertirriego en las condiciones estudiadas por el proyecto LIFE ARIMEDA (Figura 9.3):

1. Los encuestados consideran que las principales barreras se encuentran en las inversiones que son necesarias llevar a cabo en los separadores y sistemas de inyección o incluso en el propio sistema de riego cuando se utiliza el goteo, sobre todo en explotaciones de tamaño pequeño.
2. También se perciben como aspectos importantes a tener en cuenta la falta de empresas con capacidad de I+D+i en el sector; los costes de operación y mantenimiento del sistema y las necesidades de transporte cuando la parcela no está al lado de la granja.
3. El sistema de riego por goteo es el que se identifica como más difícil de aplicar en el ámbito de la agricultura de Aragón en estos momentos.
4. En el ámbito social destaca como barrera la percepción social de mayores riesgos en el uso de purines como fertilizante que en el uso de fertilizantes minerales, lo que también se refleja en el ámbito legislativo con la existencia de una normativa diferenciada en el uso de ambos fertilizantes.
5. Las barreras que despiertan menos preocupación son la dificultad para controlar las dosis de aplicación y el riesgo de impacto en la calidad de los suelos y del agua, así como el desconocimiento de los potenciales riesgos biosanitarios y la competencia en el mercado entre fertilizantes orgánicos e inorgánicos.

BARRERAS



Figura 9.3. Valoración, en un rango de 0 a 5, de la importancia de las barreras que dificultan el uso de técnicas de fertirriego con la fracción líquida de purín en Aragón (España). Los códigos se corresponden con los indicadores recogidos en la tabla 9.1.

En el estudio realizado en Aragón se evidenció que técnicas como el fertirriego son percibidas por los agricultores como una oportunidad, tal y como declaró el 80% de los encuestados en esta región. Sin embargo, se insistió reiteradamente en que la falta de una regulación clara en el uso de estas prácticas, las restricciones en el uso de fertilizantes orgánicos que impiden aprovechar todos los beneficios de esta técnica y la ausencia de una estrategia en firme por parte de la administración fomentando su implementación son condicionantes muy importantes a la hora de tener en cuenta cuando se analiza su potencial de aplicación en las zonas de estudio. Sólo el 20% considera el fertirriego una necesidad y no se percibe en ningún caso como un riesgo por parte de los agricultores.



Imagen 9.1. Visita de campo y jornada de transferencia en la finca de La Melusa en Tamarite de Litera (Aragón, España).

9.3 EL ESTUDIO EN LOMBARDÍA (ITALIA)

En Lombardía la encuesta se distribuyó a través de la Asociación Regional de Ganaderos de Lombardía en toda la provincia italiana. En esta región el modelo mixto granja-planta de digestión anaerobia-parcelas agrícolas está muy extendido.

El perfil medio del encuestado fue varones de entre 27 y 61 años, la media fue de 46 años, con estudios secundarios o universitarios y cuya actividad se desarrolla fundamentalmente como ganadero con parcelas agrícolas. Entre los encuestados predominan los agricultores que gestionan superficies agrícolas de entre 155 y 205 has (Figura 9.4), superficies mayores a las gestionadas por los agricultores aragoneses, y para los que el uso del digerido como fertilizante orgánico es la práctica habitual. El uso del fertirriego está menos extendido y es muy poco utilizado con la fracción líquida del digerido.

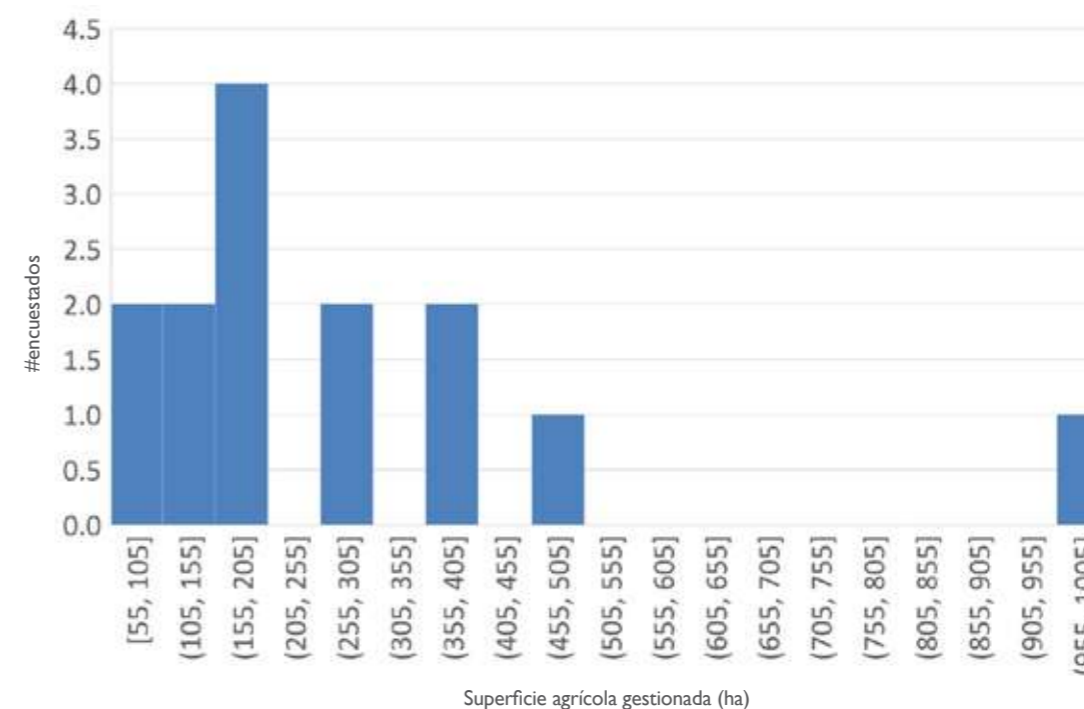


Figura 9.4. Distribución del número de encuestados en función de la superficie agrícola que gestionan como agricultores en Lombardía.

De los resultados de las encuestas se extrajeron las siguientes conclusiones respecto a los posibles aspectos que pueden contribuir a promocionar el uso del fertirriego con la fracción líquida del digerido en Lombardía (Figura 9.5):

1. Al igual que en el caso de Aragón, las ventajas económicas del modelo mixto granja-parcela es el principal incentivo para la implementación de técnicas como el fertirriego.
2. La facilidad en el manejo y en la distribución del digerido permitiendo sustituir el fertilizante mineral también en cobertera es el segundo aspecto que los encuestados han valorado más positivamente.
3. Los indicadores de carácter social son los que se resultan peor valorados en términos generales como herramientas útiles para fomentar y extender el uso del fertirriego.



Figura 9.5. Valoración, en un rango de 0 a 5, de la importancia de los facilitadores que favorecen la aplicación de fertirriego con la fracción líquida de digerido en Lombardía (Italia). Los códigos se corresponden con los indicadores recogidos en la tabla 9.1.

Respecto a los aspectos que dificultan el uso de técnicas de fertirriego con la fracción líquida del digerido (Figura 9.6):

1. Las operaciones de separación y mantenimiento de los sistemas de fertirriego se identifican como la principal barrera para su uso, seguida muy de cerca por la falta de profesionalización del sector, el desconocimiento del valor fertilizante del digerido y las necesidades de personal técnico para la planificación y ejecución adecuada del fertirriego.
2. Los indicadores sociales vinculados a la percepción social sobre el uso de fertilizantes orgánicos, las restricciones normativas o la competencia directa con los fertilizantes minerales se perciben en Italia como barreras más débiles que en el caso de Aragón. Son condicionantes menos importantes a la hora de considerar el uso del fertirriego.
3. Los aspectos medioambientales del uso de esta práctica todavía por evaluar, tales como los posibles riesgos biosanitarios, contaminantes emergentes como antibióticos y productos sanitarios o el posible impacto en la calidad de suelo y agua se perciben como cuestiones importantes a tener en cuenta, aunque no son las más determinantes.



Imagen 9.2. Visita de campo y jornada de transferencia en Lombardía (Italia).



Figura 9.6. Valoración, en un rango de 0 a 5, de la importancia de las barreras que dificultan el uso de técnicas de fertirriego con la fracción líquida de digerido en Lombardía (Italia). Los códigos se corresponden con los indicadores recogidos en la tabla 9.1.

En Lombardía la técnica de fertirrigación también se considera, de acuerdo a este estudio, como una clara oportunidad para el sector según el 79% de los encuestados, y es identificada como una necesidad por la mitad de los participantes. En esta región, los encuestados también pusieron de manifiesto su disconformidad por la falta de apoyo de medidas reguladoras que favorezcan y promuevan el uso de los fertilizantes orgánicos frente a los sintéticos.



LIFE ARIMEDA Reducción de las emisiones de amoníaco en la agricultura mediterránea mediante técnicas innovadoras de fertirrigación con purines

Programa LIFE de Medio Ambiente y Eficiencia de los recursos

DURACIÓN: 01/09/2017 – 30/09/2021

PRESUPUESTO DEL PROYECTO: 2.608.324 €

CONTRIBUCIÓN DE LA UE: 1.522.293 € (59.11%)

Más información en:

www.lifearimeda.eu

lifearimeda@cita-aragon.es

