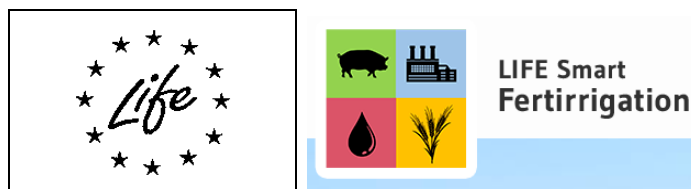




LIFE14ENV/ES/000640

# Integrated pig manure digestate processing for direct injection of organic fertiliser into irrigation systems

## ANNEX C3.1. Final Project Evaluation Report



# Deliverable Action C.3.

## “Final Project Evaluation Report”

### Summary

Reporting date:

**30/12/2019**

Project Code	LIFE14ENV/ES/000640
Program	LIFE Medio Ambiente y Eficiencia de los Recursos
Acronymy	LIFE Smart Fertirrigation
Title	Integrated pig manure digestate processing for direct injection of organic liquid fertiliser into irrigation systems
Website	<a href="http://smartfertirrigation.eu/">http://smartfertirrigation.eu/</a>
Coordinating beneficiary	COPISO SORIA, S.COOP.
Coordinator	D. Andrés García Martínez ( <a href="mailto:life@copiso.es">life@copiso.es</a> )

Dissemination Level		
PU	Public	
PP	Restricted to other program participants	
RE	Restricted to a group specified by the Consortium	
CO	Confidential, only for members of the Consortium	X

## Aim

The objective of this report is to establish the final conclusions of the project related to the economic viability, the environmental impact and the potential replicability of the results obtained.

## Economic technical feasibility

Regarding the technologies tested in the project, the following conclusions have been established:

- The technologies tested could be applied both to slurry digestate from biogas plants and to slurry generated directly in pig farms.
- In the case of biogas plants, currently, the transformation of slurry without the inclusion of other by-products is not profitable, and therefore, the implementation of biorefinery technologies aimed at transforming digestate into biofertilisers with higher added value is a strategic alternative.
- In the case of pig farms, the implementation of biorefinery technologies aimed at transforming slurry into biofertilizers of greater added value is a strategic alternative only in those large farms (breeder farms with more than 2,500 sows and feedlots with more than 7,000 fattening pigs) and with a significant agricultural area associated in a radius of less than 7 km.
- The technology tested has allowed obtaining, for each m<sup>3</sup> of digestate or slurry, 0.18 t of solid biofertilisers (with 80% DM), of which only 0.013 t comes from mechanical separation (7%), and 0.85 m<sup>3</sup> of liquid biofertilisers suitable for fertirrigation. That is, approximately 200 kg of solid biofertilisers and 850 l of liquid biofertilisers are obtained from approximately every m<sup>3</sup> of digestate or slurry.
- The drying technology allows to go from a substrate with 32-37% DM to a material with 83-85% DM suitable for pelletizing.
- The technology for transforming the liquid fraction of the slurry has reduced ammoniacal N by 60%, total N by 75%, P by 98%, K by 50% and organic matter by 85%. In the case of the liquid fraction of the digestate, it has reduced ammoniacal N by 60%, total N by 70%, P by 99% and organic matter by 90%.
- In particular, for the biogas plant, the drying system designed by DORSET has proven to be a very interesting solution thanks to the possibility of using the residual heat from the biogas plant to reach up to 80% DM in the solid fraction of the transformed digestate. However, the design of the drying system that has been tested is not interesting either in composting plants or on farms, where residual heat sources are less important. For its application in pig farms, a redesign of the drying system would be necessary to take advantage of the interior heat of the buildings, with lower drying performance and all of this conditioned by lower investment costs. Possibly, in regions of latitudes similar to that of our country, the sun-drying of the solid fraction of slurry is a more cost-effective alternative to DORSET technology.
- The BOSMAN Fuzzy Filter technology for the filtration of the liquid fraction of the digestate in biogas plants has proven technically feasible to achieve, in conjunction with the previous treatment steps, reduce the suspended solids by

99% and the content in N and P in 75% and 99%, respectively, which allows the liquid biofertilisers transformed from the digestate to have the necessary technological aptitude to be used in both sprinkler and drip irrigation systems. Its easy maintenance and low operating cost (0.3 kWh / m<sup>3</sup>; € 0.04 / m<sup>3</sup>) makes it economically feasible to use it for the transformation of a high volume of digestate. However, the tested prototype is oversized to be applied directly to slurry transformation systems in pig farms, and it would be necessary to redesign its working capacity and adjust its investment cost in this case.

- Proven flotation technology for secondary sludge separation in the transformation of the liquid fraction of the digestate and slurry has been demonstrated with technical success. This technology is an alternative with a lower investment cost than the centrifugation and electromagnetic separation analyzed during the execution of the project. However, it has shown a significant operating cost: 11.1 kWh / m<sup>3</sup> of energy cost (1.67 € / m<sup>3</sup>) and 3.44 € / m<sup>3</sup> of cost in coagulants and flocculants, and some complexity in operation and maintenance. Possibly, flotation could be an interesting alternative to centrifugation in the transformation of the digestate in biogas plants, but it would be advisable to design new solutions when it is desired to implement a slurry transformation system directly in pig farms. In this sense, during the execution of the project, the application of the KDS technology of secondary sludge separation has been successfully demonstrated, which reduces energy costs almost 10 times, compared to flotation.
- In the case of pig farms without their own agricultural area, for the economic viability analysis, the opportunity cost that the removal of slurry currently implies for the pig farmers must be taken into account, estimating a payment between 2 and 3 € / m<sup>3</sup> to crop farmers responsible for removing slurry.

Regarding the composition of the obtained solid and liquid biofertilisers, it is concluded that:

- The solid biofertilisers from the digestate transformation contains approximately 1.3, 1.3, 3.8 and 83% of N, P, K and DM, respectively, while the solid biofertilisers from the direct slurry transformation contains approximately 2, 5, 1.3, 1.0 and 85% of N, P, K and DM, respectively. These values are lower than those existing in an organic fertilizer on a commercial scale (3, 6, 5 and 89% of N, P, K and DM, respectively).
- The liquid biofertilisers from the digestate transformation contains approximately 1.2 kg of N / m<sup>3</sup>, while the liquid biofertilisers from the direct slurry transformation contains approximately 1.4 kg of N / m<sup>3</sup>. In both cases, the level of phosphorus and suspended solids is negligible.

Regarding the integration of the liquid biofertilizer in the irrigation systems of the cultivation fields, it is concluded that:

- It has been concluded that particle size is not a quality parameter that conditions the application of liquid biofertilizers in irrigation systems. Nor is the specific value of suspended solids a quality parameter that conditions the application of liquid biofertilizers in irrigation systems, but especially the removal of all solids from a size that may interfere with the application, reason that

justifies the use of the filtration system as the final stage in the transformation of the digestate or slurry.

- The implantation of 30 m<sup>3</sup> tanks on farms is not necessary. During the execution, a direct injection system was tested from the transport tank to the irrigation system, speeding up the injection and conditioned on the availability of the truck. As a biofertilisers injection system, a pump connected to the tractor transmission was used. However, any other electric pump or pump can be used, depending on the availability of electric.
- The application of the obtained liquid biofertilisers has been successfully demonstrated both in sprinkler irrigation systems and in drip irrigation systems, this system being more demanding in terms of the absence of suspended solids and, therefore, being recommended in this case, incorporate safety filters in the irrigation system connection, after the injection system.
- One of the main drawbacks for the integration of liquid biofertilisers in irrigation systems is the complex transport logistics, which could make the new intelligent fertirrigation solution economically unfeasible.
- Another drawback is the need to store liquid biofertilisers both at the source, making it necessary to add pits or tanks to those of the digestate or crude slurry, and at destination, and it is necessary to install tanks on irrigated farms if there is no possibility of make a direct injection from the transport tanks.

Regarding the agronomic recovery of the obtained liquid biofertilisers, it is concluded that:

- It is concluded that the liquid biofertilisers tested could totally replace the mineral fertilizers currently used in the top dressing.
- A 1: 5 ratio is recommended between the liquid biofertilisers of digestate or slurry with respect to the irrigation water to avoid negative effects on the crop with sprinkler irrigation systems. In the case of drip irrigation systems, lower dilution ratios could be used.
- The yield of the barley, rapeseed, corn and forage oats crops was superior in the top dressing fertirrigation treatments with the liquid biofertilisers of slurry or digestate with respect to the treatments of mineral fertilizer.
- In the case of sunflower, the application of top dressing with liquid biofertilisers from slurry or digestate was compared with the non-application of fertilizer, observing higher harvest yields, with hardly any differences in terms of fat content.
- In the poplar crop, the conditions of different types of soil in the control and treatment areas of the experimental plot did not allow conclusive results to be obtained. No higher biomass production was observed after the application of liquid digestate biofertilisers in the vegetative period of the same year. However, there was a better relative increase in biomass production compared to the starting situation in the previous year.
- In alfalfa cultivation, the application of both digestate in winter and slurry in spring resulted in a better yield of crude protein.
- The number and dose of irrigation events should be defined based on the N composition of the liquid biofertilisers and the capacity of the transport tank, optimizing the transport costs of the liquid biofertilisers. For a concentration of 1.5 kg N / m<sup>3</sup> in the liquid biofertilisers, transport is economically viable with

respect to the mineral fertilizer up to a radius of 7 km. On the other hand, it must be considered that the total annual contribution of organic fertilizers cannot exceed 210 kg of N / ha (170 kg N / ha in vulnerable areas), which could also modify the optimal radius of application of liquid biofertilisers. That is to say, the sum of the N contributed by the organic fertilizer of bottom and top cover used in the different rotational crops must be less than this limit, and therefore the irrigation events must be considered taking into account the previous and subsequent crop within each type of rotation. In the case of corn, it is not recommended to use bottom fertilizer, and if applied it should be mineral. And in the case that corn is part of a crop rotation, it will surely be necessary to decrease the total N applied to avoid exceeding that limit.

- It should be considered that the system for transforming slurry and digestate into liquid biofertilisers for fertirrigation would be compatible with the current use of them without transforming them into the bottom subscriber. In other words, strategies could be designed where a volume of the digestate and slurry is used in the background fertilizer prior to planting the crops, and then the remaining volume of digestate or slurry is transformed for application in fertirrigation. In this way, the variable costs of digestate and slurry transformation could be reduced.
- One of the main disadvantages could be the variability in the composition of the liquid biofertilisers depending on the variability factors on the composition of the digestate or slurry to be transformed. Therefore, a composition analysis system will need to be established prior to field applications. An important variability in the composition of the biofertilisers will directly influence the variability in the yield of the harvest within the same irrigation farm.

Regarding the absorption of nutrients from the liquid biofertilizer by the crops, it is concluded that:

- In general, the application of liquid manure or digestate biofertilisers in top dressing fertilizer through the fertirrigation system allowed obtaining higher crop yields with respect to mineral fertilization, considering the same contribution of N. These results could be justified by a greater nutrient absorption associated with fertirrigation itself, a greater bioavailability of the N of the biofertilisers for the crops under study, as well as an additional contribution of micronutrients that are not provided by the mineral fertilizer.
- Considering the improvements obtained in crop yields, it is concluded that the absorption of nutrients from liquid biofertilisers could be 50% higher than the absorption of nutrients from a mineral fertilizer.

Finally, regarding the use of phytases in animal feed to reduce the excretion of nutrients in the slurry, it is concluded that:

- A state-of-the-art phytase inclusion level of 100 g / t in pig feed was reduced by 25% in P content during the fattening phase from 20 to 60 kg LW, which is equivalent to a reduction 17% in the average P excretion per pig throughout the fattening period.
- Contrary to expectations, this nutritional strategy reduced the average N excretion per pig by 23% during the last fattening phase (from 90 kg LW to slaughter), which is equivalent to a 12% reduction in excretion per pig

throughout the fattening period. This effect was possibly due to the fact that a greater destruction of phytic acid provides an improvement in the digestibility of other nutrients other than phosphorus such as amino acids.

- Contrary to expectations, the inclusion of new phytases in the diets allowed to achieve greater efficiency in the conversion of white pig during the overall period of fattening (the conversion rate was reduced by 2%), increasing consumption and average daily gain in a shorter period of fattening. All this due to a possible improvement in the digestibility of other nutrients than phosphorus such as amino acids and carbohydrates, which is directly correlated with an improvement in production rates.
- Contrary to expectations, the inclusion of the new phytases reduced the number of raw materials to include in the diet to meet the nutritional needs of the animals, and this directly led to a reduction between 0.5 and 1.0 € / t on the cost of manufacturing the feed, depending on the fattening phase.
- At a practical level, it is recommended to use the new phytase throughout the fattening period to improve the profitability of the fattening process, and it is even recommended to use it in the feeding of the breeding sows, which would further increase the potential environmental benefit.

## Improving environmental impact

Regarding the effect of the new liquid biofertilisers on reducing the environmental impact on crop fertirrigation, it is concluded that:

- The emissions corresponding to fertirrigation with mineral fertilizers (approximately 0.56 kg CO<sub>2</sub> equivalent / kg) are 56 times higher than the emissions from fertirrigation with liquid fraction of slurry and digestate (approximately 0.01 kg CO<sub>2</sub> equivalent / kg).
- Liquid biofertilisers have a clear environmental benefit, since in approximately 75 ha fertirrigated the release of more than 15 t of CO<sub>2</sub>eq has been avoided (approximately 210 kg of CO<sub>2</sub>eq / ha), derived from replacement 26,200 kg of mineral fertilizer and considered emissions of 0.6 kg CO<sub>2</sub>eq / kg of mineral fertilizer.
- No effect of the application of biofertilisers through fertirrigation has been detected on the quality of the soil, without appreciating differences regarding the composition of the soil of the plots in which mineral fertilizer has been used.
- The new liquid biofertilisers do not provide P, avoiding the risks of eutrophication with respect to the direct use of digestate and slurry in bottom fertilization, where there is a contribution of P to the soil.
- The use of new generation phytases in a pig integration with one million of fattening pigs could reduce the excretion of approximately 125 t of P and 860 t of N.

## Replicability

We have organized work meetings with different stakeholders, and it is concluded that:

- From the environmental and social point of view, and regardless of the economic viability, all the tested solutions could be considered viable both in biogas plants and farms to reduce the level of emissions from the use of digestate and slurry as organic fertilizers, such as to reduce bad odors associated with the application of organic fertilizer and to create specialized jobs in the field that fix rural population. In other words, the new system for using digestate and slurry in fertirrigation contributes significantly to reducing the diffuse emissions associated with agriculture and livestock.
- The savings of the farmers in the acquisition of mineral fertilizers will depend on the crop in question and the transport distance of the liquid biofertilisers, and could have an average value of € 0.5 / kg of N of the mineral fertilizer to be applied. This saving makes the removal of the digestate from biogas plants more attractive to farmers, thus solving the current problem.
- It is recommended to carry out new research on new sludge separation technologies in secondary treatment to reduce energy costs and investment costs, which could increase the economic profitability of the proposed solution significantly when it is implemented in pig farms.
- For the replicability in biogas plants, the highest economic profitability depends directly on the transformation of the digestate into a pelletized solid biofertilisers thanks to the drying system of the solid fraction that takes advantage of the residual heat. Said system could be implemented without the need for a secondary treatment for sludge separation.
- In the case of biogas plants with a low associated agricultural area, the management of the digestate could make its activity unfeasible or suppose a high opportunity cost. In this case, the proposed solution could be economically profitable to reduce the N content of the liquid biofertilisers, reducing transport and application costs by reducing the necessary agricultural area. In the case of biogas plants without sufficient agricultural area, the new solution could compete with other systems such as nitrification-denitrification, which have a higher investment cost and environmentally do not involve the use of digestate.
- For on-farm replicability, the solid fraction drying system is not economically viable in latitudes such as our country, where sun drying of manure is a valid strategy.
- It has been shown that fertirrigation with liquid biofertilisers could be implanted by any Irrigation Community, both in our country and in any other EU country. Obviously, the new solution is of special interest to those countries in the Mediterranean regions where the cultivation of irrigated land could mean a significant improvement in the use of available water resources.
- The technologies tested could be replicated in our country, but also in other EU countries. In particular, the drying system of the solid fraction could be replicated with economic viability in the biogas plants of the countries of Northern Europe with an important pig production (Germany, Holland, France and Poland, mainly). While the treatment system for the liquid fraction, without drying the solid fraction, could be replicated in pig farms in any European

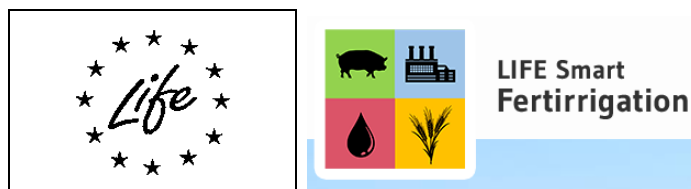


country where the mineral fertirrigation of cereals, oilseeds and legumes is already in place. The economic viability in the latter case will depend on the size of the farm, as previously argued.

- During the execution of the project, Regulation EC 2019/1009 has been published, which encourages the replacement of mineral fertilizers by organic fertilizers. Said regulation establishes quality criteria for solid and liquid organic fertilizers, with maximum values for certain contaminants (Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, As, Cu, Zn, Salmonella spp. And E. coli). In this sense, further research will be necessary to demonstrate that the new digestate and slurry transformation system allows to obtain organic fertilizers that meet these requirements.
- Considering the results of the project, the Public Administration could take precedence in institutions similar to the Irrigation Communities of the different national and European regions that implement the use of fertirrigation with liquid digestion and slurry biofertilisers, this being a valid strategy for their large-scale replicability in the medium term. Consider Irrigation Communities or similar institutions are entities with sufficient tractor capacity, so that farmers can use the use of fertirrigation with liquid digestion and slurry biofertilisers. The demand by farmers will encourage investment in biogas plants and livestock farms, which could find a new opportunity in the management of their waste. On the other hand, consider that the new solution could provide an opportunity for the Irrigation Communities to incorporate specialized personnel in the matter, who provide new technical services to their associated farmers, setting up skilled labor in rural areas.

## **Conclusions**

It is concluded that a final technical, economical and environmental evaluation was executed, and the results will be used for the elaboration of Layman's Report.



## Entregable Acción C.3. “Evaluación Final del Proyecto”

Fecha de envío:

**30/12/2019**

Número de proyecto	LIFE14ENV/ES/000640
Esquema de financiación	LIFE Medio Ambiente y Eficiencia de los Recursos
Acrónimo del proyecto	LIFE Smart Fertirrigation
Título del proyecto	Procesamiento integrado del digestato de purines de cerdo para obtener fertilizante líquido ecológico e inyectarlo directamente en los sistemas de riego
Página web del proyecto	<a href="http://smartfertirrigation.eu/">http://smartfertirrigation.eu/</a>
Organización coordinadora del proyecto	COPIISO SORIA, S.COOP.
Coordinador del proyecto y dirección de e-mail	D. Andrés García Martínez ( <a href="mailto:life@copiso.es">life@copiso.es</a> )

Nivel de Diseminación		
PU	Público	
PP	Restringido a otros participantes del programa (incluyendo Servicios de la Comisión)	
RE	Restringido a un grupo especificado por el Consorcio (incluyendo Servicios de la Comisión)	
CO	Confidencial, solo para miembros del Consorcio (incluyendo Servicios de la Comisión)	<b>X</b>

# Índice

	Pág
Objetivo.....	3
Viabilidad técnico-económica.....	4
Mejora del impacto medioambiental.....	11
Replicabilidad de la solución propuesta.....	12

## **Objetivo**

El objetivo de este informe es establecer las conclusiones finales del proyecto relacionadas con la viabilidad económica, el impacto medioambiental y la potencial replicabilidad de los resultados obtenidos.

## Viabilidad técnico-económica

Respecto a las tecnologías testadas en el proyecto se han establecido las siguientes conclusiones:

- Las tecnologías testadas podrían ser aplicadas tanto al digestato de purín de las plantas de biogás, como al purín generado directamente en las explotaciones ganaderas.
- En el caso de las plantas de biogás, actualmente, la transformación del purín sin la inclusión de otros subproductos no es rentable, y por lo tanto, la implantación de tecnologías de biorefinería destinadas a la transformación del digestato en biofertilizantes de mayor valor añadido es una alternativa estratégica.
- En el caso de las explotaciones ganaderas, la implantación de tecnologías de biorefinería destinadas a la transformación del purín en biofertilizantes de mayor valor añadido es una alternativa estratégica sólo en aquellas explotaciones de gran tamaño (explotaciones de reproductoras con más de 2.500 plazas y cebaderos con más de 7.000 plazas) y con una importante superficie agrícola asociada a la misma en un radio inferior a 7 km.
- La tecnología testada ha permitido obtener por cada m<sup>3</sup> de digestato o purín, 0,18 t de biofertilizante sólido (con un 80% de MS), de las cuales sólo 0,013 t proceden de la separación mecánica (7%), y 0,85 m<sup>3</sup> de biofertilizante líquido apto para fertirrigación. Es decir, aproximadamente de cada m<sup>3</sup> de digestato o purín se obtienen 200 kg de biofertilizante sólido y 850 l de biofertilizante líquido.
- La tecnología de secado permite pasar de un sustrato con 32-37% de MS a un material con un 83-85% de MS apto para pelletización.
- La tecnología de transformación de la fracción líquida del purín ha permitido reducir un 60% el N amoniacal, un 75% en N total, un 98% el P, un 50% el K y un 85% la materia orgánica. En el caso de la fracción líquida del digestato ha permitido reducir un 60% el N amoniacal, un 70% en N total, un 99% el P y un 90% la materia orgánica.
- En particular, para la planta de biogás, el sistema de secado diseñado por DORSET ha demostrado ser una solución muy interesante gracias a la posibilidad de aprovechar el calor residual de la planta biogás para alcanzar hasta un 80% de MS en la fracción sólida del digestato transformado. Sin embargo, el diseño del sistema de secado que se ha testado no resulta interesante ni en las plantas de compostaje ni en las granjas, donde las fuentes de calor residual son menos importantes. Para su aplicación en las granjas porcinas, sería necesario un rediseño del sistema de secado para aprovechar el calor interior de las naves, con rendimientos de secado menos importantes y todo ello condicionado a menores costes de inversión. Posiblemente, en regiones de latitudes similares a la de nuestro país, el secado al sol en estercoleros de la fracción sólida del purín es una alternativa más rentable que la tecnología de DORSET.

- La tecnología Fuzzy Filter de BOSMAN para la filtración de la fracción líquida del digestato en las plantas de biogás ha demostrado ser viable técnicamente para conseguir, en conjunción con las etapas de tratamiento anteriores, reducir los sólidos en suspensión en un 99% y el contenido en N y P en un 75% y 99%, respectivamente, lo que permite que el biofertilizante líquido transformado a partir del digestato tenga la aptitud tecnológica necesaria para ser empleado en sistemas de riego tanto por aspersión como por goteo. Su fácil mantenimiento y bajo coste de funcionamiento (0,3 kWh/m<sup>3</sup>; 0,04 €/m<sup>3</sup>) hace que sea viable económicamente su utilización para la transformación de un volumen elevado de digestato. Sin embargo, el prototipo testado está sobredimensionado para ser aplicado directamente en sistemas de transformación del purín en granjas porcinas, y sería necesario rediseñar su capacidad de trabajo y ajustar su coste de inversión en este caso.
- Se ha demostrado con éxito técnico la tecnología de flotación testada para la separación secundaria de fangos en la transformación de la fracción líquida del digestato y del purín. Dicha tecnología es una alternativa con menor coste de inversión que la centrifugación y la separación electromagnética analizadas durante la ejecución del proyecto. Sin embargo, ha demostrado un importante coste de funcionamiento: 11,1 kWh/m<sup>3</sup> de coste energético (1,67 €/m<sup>3</sup>) y 3,44 €/m<sup>3</sup> de coste en coagulantes y floculantes, y cierta complejidad en la operatividad y mantenimiento. Posiblemente, la flotación podría ser una alternativa interesante a la centrifugación en la transformación del digestato en las plantas de biogás, pero sería recomendable diseñar nuevas soluciones cuando se desea implantar un sistema de transformación del purín directamente en las explotaciones ganaderas. En este sentido, durante la ejecución del proyecto se ha demostrado con éxito la aplicación de la tecnología KDS de separación secundaria de fangos, la cual reduce casi en 10 veces el coste energético, respecto a la flotación.
- Las tecnologías testadas para la transformación del digestato en un fertilizante orgánico sólido fácilmente pelletizable y un biofertilizante líquido en la planta de biogás han demostrado ser técnicamente viables, pero no lo son económicamente considerando una inversión inicial de aproximadamente 320.000 € y un volumen de digestato de 100.000 m<sup>3</sup>/año, con capacidad para vender el biofertilizante líquido con una distancia máxima de 15 km y un área de influencia de aproximadamente 700 ha de cultivo en regadío (con un aporte máximo de 140.000 kg de N al año). Para el análisis de la viabilidad económica de la implantación de la tecnología testada en una planta de biogás se ha establecido una rentabilidad bruta anual negativa superior a 600.000 €, sin considerar los beneficios medioambientales, y teniendo en cuenta el siguiente planteamiento:
  - Costes anuales de explotación:
    - Cuota de amortización anual: 20.000 € (0,2 €/m<sup>3</sup>).
    - Costes de funcionamiento: 7 €/m<sup>3</sup>.
    - Coste del transporte del biofertilizante líquido: 2 €/m<sup>3</sup>
    - Costes totales: 890.000 €
  - Ingresos anuales de explotación:

- Venta del biofertilizante sólido a plantas de compostaje:
      - Volumen: 18.000 t
      - Contenido en N: 234.000 kg (1,3%)
      - Precio: 0,8 €/ kg N
    - Venta del biofertilizante líquido a agricultores:
      - Volumen: 85.000 m<sup>3</sup>
      - Contenido en N: 102.000 kg (1,2 kg N/m<sup>3</sup>)
      - Precio: 0,8 €/kg N
    - Ingresos totales: 268.800 €
  - Las tecnologías testadas para la transformación directamente del purín en una explotación ganadera han demostrado ser técnica y económicamente viables, considerando una inversión inicial de aproximadamente 180.000 € y un volumen de purín de 20.000 m<sup>3</sup>/año. Para el análisis de la viabilidad económica de la implantación de la tecnología testada en una explotación ganadera, se ha considerado una granja con una superficie agrícola propia asociada a una distancia máxima de 6 km y aproximadamente un área de influencia de 120 ha de cultivo en regadío (con un aporte máximo de 24.000 kg de N al año), donde se ha establecido una rentabilidad bruta anual de 9.140 €, sin considerar los beneficios medioambientales, y teniendo en cuenta el siguiente planteamiento:
    - Costes anuales de explotación:
      - Cuota de amortización anual: 12.000 € (0,6 €/m<sup>3</sup>).
      - Costes de funcionamiento: 4,4 €/m<sup>3</sup>.
      - Coste del transporte del biofertilizante líquido: 0,7 €/m<sup>3</sup>
      - Costes totales: 111.900 €
    - Ingresos anuales de explotación:
      - Venta del biofertilizante sólido a plantas de compostaje:
        - Volumen: 3.600 t
        - Contenido en N: 90.000 kg (2,5%)
        - Precio: 0,8 €/ kg N
      - Ahorro en fertilizantes minerales en abonado de cobertura:
        - Volumen: 17.000 m<sup>3</sup>
        - Contenido en N: 23.800 kg (1,4 kg N/m<sup>3</sup>)
        - Coste de oportunidad: 0,8 €/ kg N
      - Ingresos por un mayor rendimiento de la cosecha:
        - Incremento de las ventas: 250 €/ha
      - Ingresos totales: 121.040 €
  - En el caso de explotaciones ganaderas sin superficie agrícola propia, para el análisis de viabilidad económica se debe tener en cuenta el coste de oportunidad que supone actualmente para los ganaderos la retirada del purín, estimándose un pago entre 2 y 3 €/m<sup>3</sup> a los agricultores encargados de retirar el purín.

Respecto a la composición de los biofertilizantes sólidos y líquidos obtenidos, se concluye que:

- El biofertilizante sólido de la transformación del digestato contiene aproximadamente 1,3, 1,3, 3,8 y 83 % de N, P, K y MS, respectivamente, mientras el biofertilizante sólido de la transformación directa del purín contiene

aproximadamente 2,5, 1,3, 1,0 y 85 % de N, P, K y MS, respectivamente. Dichos valores son algo inferiores a los existentes en un fertilizante orgánico a escala comercial (3, 6, 5 y 89 % de N, P, K y MS, respectivamente).

- El biofertilizante líquido de la transformación del digestato contiene aproximadamente 1,2 kg de N/m<sup>3</sup>, mientras que el biofertilizante líquido de la transformación directa del purín contiene aproximadamente 1,4 kg de N/m<sup>3</sup>. En ambos casos, el nivel de fósforo y de sólidos en suspensión es despreciable.

Respecto a la integración del biofertilizante líquido en los sistemas de riego de los campos de cultivo, se concluye que:

- Se ha concluido que el tamaño de partícula no es un parámetro de calidad que condicione la aplicación de los biofertilizantes líquidos en los sistemas de riego. Tampoco el valor concreto de los sólidos en suspensión es un parámetro de calidad que condicione la aplicación de los biofertilizantes líquidos en los sistemas de riego, sino especialmente la eliminación de todos los sólidos a partir de un tamaño que pueda interferir con la aplicación, razón que justifica la utilización del sistema de filtración como etapa final en la transformación del digestato o purín.
- No resulta necesaria la implantación de depósitos de 30 m<sup>3</sup> en las fincas. Durante la ejecución se probó un sistema de inyección directa desde la cisterna de transporte al sistema de riego, agilizando la inyección y condicionado a la disponibilidad del camión. Como sistema de inyección del biofertilizante se utilizó una bomba conectada a la transmisión del tractor. No obstante, puede utilizarse cualquier otra motobomba o bomba eléctrica, en función de la disponibilidad de corriente eléctrica.
- La aplicación de los biofertilizantes líquidos obtenidos se ha demostrado con éxito tanto en sistemas de riego por aspersión como en sistemas de riego por goteo, siendo este sistema más exigente en cuanto a la inexistencia de sólidos en suspensión y, por tanto, siendo recomendable en este caso incorporar filtros de seguridad en la acometida del sistema de riego, después del sistema de inyección.
- Uno de los principales inconvenientes para la integración de los biofertilizantes líquidos en los sistemas de riego es la compleja logística de transporte, que podría hacer inviable económicamente la nueva solución de fertirrigación inteligente.
- Otro inconveniente, es la necesidad de almacenaje de los biofertilizantes líquidos tanto en origen, haciendo necesario fosas o tanques adicionales a los del digestato o purín bruto, como en destino, siendo necesario instalar depósitos en las fincas de regadío si no existe la posibilidad de realizar una inyección directa desde las cisternas de transporte.



Respecto a la valorización agronómica del biofertilizante líquido obtenido, se concluye que:

- Se concluye que el biofertilizante líquido testado podría sustituir totalmente a los fertilizantes minerales utilizados actualmente en el abonado de cobertera.
- Se recomienda una relación 1:5 entre el biofertilizante líquido de digestado o purín inyectado respecto al agua de riego para evitar efectos negativos en el cultivo con sistemas de regadío por aspersión. En el caso de sistemas de riego por goteo, se podrían utilizar ratios de dilución menores.
- El rendimiento de los cultivos de cebada, colza, maíz y avena forrajera fue superior en los tratamientos de fertirrigación con el biofertilizante líquido de purín o digestado respecto a los tratamientos de abonado mineral en cobertera.
- En el caso del girasol se comparó la aplicación de abonado de cobertera con biofertilizante líquido de purín o digestado con la no aplicación de abonado, observándose mayores rendimientos de cosecha, y sin apenas diferencias en cuanto al contenido en grasa.
- En el cultivo de chopo, las condiciones de diferentes tipos de suelo de las zonas control y tratamiento de la parcela experimental no permitieron obtener unos resultados concluyentes. No se apreció una mayor producción de biomasa tras la aplicación de biofertilizante líquido de digestado en el periodo vegetativo de un mismo año. No obstante, si se apreció un mejor incremento relativo de producción de biomasa respecto a la situación de partida en el año anterior.
- En el cultivo de alfalfa, la aplicación tanto de digestado en invierno, como de purín en primavera se tradujo en un mejor rendimiento en proteína bruta del cultivo.
- Basándose en los resultados obtenidos, se establecieron las siguientes recomendaciones considerando el transporte en cisternas de 30 m<sup>3</sup>, un contenido medio de 1,5 kg de N amoniacal por m<sup>3</sup> del biofertilizante líquido, y una relación 1:5 entre el biofertilizante líquido respecto al agua de riego:

Tipo de cultivo	Periodo de cultivo	Tipo de riego	Fecha de fertirrigación	Dosis por evento de riego (m <sup>3</sup> /ha)	Número de eventos	Volumen total aplicado (m <sup>3</sup> /ha)	N total aplicado (kg/ha)
Girasol	Julio - Noviembre	Aspersión	Agosto	25	1	25	35
Cebada	Noviembre - Julio	Aspersión	Mayo	27	1	27	40
Colza	Septiembre - Julio	Aspersión	Mayo	30	1	30	45
Avena	Julio - Noviembre	Aspersión	Septiembre	22	2	44	65
Maíz	Abril - Noviembre	Aspersión	Junio - Julio	28	5	140	210
Alfalfa	--	Inyección	Diciembre y Mayo	29	4	116	175
Chopo	--	Goteo	Julio	27	1	27	40

En cualquier caso, el número y dosis de los eventos de riego se deben definir en función de la composición en N del biofertilizante líquido y la capacidad de la cisterna de transporte, optimizando los costes de transporte del biofertilizante líquido. Para una concentración de 1,5 kg N/m<sup>3</sup> en el biofertilizante líquido, el transporte es viable económicamente respecto al abonado mineral hasta en un radio de 7 km. Por otro lado, se debe considerar que la aportación total anual de fertilizantes orgánicos no puede superar los 210 kg de N/ha (170 kg N/ha en zonas vulnerables), lo que también podría modificar el radio óptimo de aplicación de los biofertilizantes líquidos. Es decir, la suma del N aportado por el abono orgánico de fondo y cobertera utilizado en los diferentes cultivos rotacionales debe ser inferior a ese límite, y por tanto los eventos de riego deben ser considerados teniendo en cuenta el cultivo anterior y posterior dentro de cada tipo de rotación. En el caso del maíz, no se recomienda utilizar abonado de fondo, y si se aplica debería ser mineral. Y en el caso de que el maíz forme parte de una rotación de cultivos, seguramente será necesario disminuir el N total aplicado para evitar superar dicho límite.

- Se debe considerar que el sistema de transformación del purín y digestato en biofertilizantes líquidos para fertirrigación sería compatible con el actual aprovechamiento de los mismos sin transformar en el abonado de fondo. Es decir, se podrían diseñar estrategias donde un volumen del digestato y del purín se aprovecha en abonado de fondo de forma previa a la siembra de los cultivos, y posteriormente el volumen de digestato o purín restante es transformado para su aplicación en fertirrigación. De esta forma, se podrían disminuir los costes variables de transformación del digestato y purín.
- Una de las principales desventajas podría ser la variabilidad en la composición del biofertilizante líquido dependientes de los factores de variabilidad sobre la composición del digestato o purín a transformar. Por tanto, será preciso establecer un sistema de análisis de composición antes de realizar las aplicaciones en campo. Una variabilidad importante en la composición del biofertilizante influirá directamente en la variabilidad en el rendimiento de la cosecha dentro de una misma finca de riego.

Respecto a la absorción de nutrientes del biofertilizante líquido por parte de los cultivos, se concluye que:

- En general, la aplicación de biofertilizantes líquidos de purín o digestato en abonado de cobertera mediante el sistema de fertirrigación permitió obtener mayores rendimientos de los cultivos respecto a la fertilización mineral, considerando un mismo aporte de N. Dichos resultados podrían estar justificados por una mayor absorción de los nutrientes asociada a la propia fertirrigación, una mayor biodisponibilidad del N del biofertilizante para los cultivos en estudio, así como por un aporte adicional de micronutrientes que no son aportados por el fertilizante mineral.

- Considerando las mejoras obtenidas en los rendimientos de los cultivos, se concluye que la absorción de nutrientes de los biofertilizantes líquidos podría ser un 50% superior respecto a la absorción de nutrientes de un fertilizante mineral.

Por último, respecto a la utilización de fitasas en la alimentación animal para reducir la excreción de nutrientes en el purín, se concluye que:

- Un nivel de inclusión de fitasas de última generación de 100 g/t en el pienso de cebo de los cerdos permitió reducir un 25% el contenido en P durante la fase de engorde de 20 a 60 kg PV, lo que equivale a una reducción de un 17% en la excreción media de P por cerdo durante todo el ciclo de cebo.
- En contra de lo esperado, dicha estrategia nutricional redujo en un 23% la excreción media de N por cerdo durante la última fase de cebo (de 90 kg PV hasta sacrificio), lo que equivale a una reducción de un 12% en la excreción media de N por cerdo durante todo el ciclo de cebo. Este efecto fue debido posiblemente a que una mayor destrucción de ácido fólico aporta una mejora en la digestibilidad de otros nutrientes diferentes al fósforo como son los aminoácidos.
- En contra de lo esperado, la inclusión de fitasas de última generación en las dietas de cebo permitió alcanzar una mayor eficiencia en la conversión del alimento del cerdo blanco durante el periodo global de cebo (se redujo el índice de conversión un 2%), incrementando el consumo y la ganancia media diaria en un menor periodo de cebo. Todo ello debido a una posible mejora en la digestibilidad de otros nutrientes diferentes al fósforo como son los aminoácidos y los carbohidratos que está directamente correlacionada con una mejora en los índices productivos.
- En contra de lo esperado, la inclusión de la nueva fitasa permitió disminuir el número de materias primas a incluir en la dieta para cubrir las necesidades nutricionales de los animales, y esto supuso directamente una reducción entre 0,5 y 1,0 €/t sobre el coste de fabricación del pienso, dependiendo de la fase de cebo.
- A nivel práctico se recomienda utilizar la nueva fitasa durante todo el periodo de engorde para mejorar la rentabilidad del proceso de cebo, e incluso se recomienda su utilización en la alimentación de las cerdas reproductoras, lo que incrementaría aún más el potencial beneficio medioambiental.

## Mejora del impacto medioambiental

Respecto al efecto de los nuevos biofertilizantes líquidos sobre la reducción del impacto medioambiental en la fertirrigación de los cultivos, se concluye que:

- Las emisiones correspondientes a la fertirrigación con fertilizantes minerales (aproximadamente 0,56 kg CO<sub>2</sub> equivalente/litro) son 56 veces superior a las emisiones de la fertirrigación con fracción líquida de purín y digestato (aproximadamente 0,01 kg CO<sub>2</sub> equivalente/litro).
- Los fertilizantes líquidos obtenidos a partir del sistema integral de procesamiento de purines y digestato tienen un claro beneficio medioambiental, ya que en las aproximadamente 75 ha fertirrigadas se ha evitado liberar más de 15 t de CO<sub>2</sub>eq (aproximadamente, 210 kg de CO<sub>2</sub>eq /ha), derivadas de sustituir 26.200 kg de fertilizante mineral y considerado unas emisiones de 0,6 kg CO<sub>2</sub> eq/ kg de fertilizante mineral.
- No se ha detectado ningún efecto de la aplicación de biofertilizantes mediante fertirrigación sobre la calidad del suelo, sin apreciarse diferencias respecto a la composición del suelo de las parcelas en las que se ha utilizado fertilizante mineral.
- Los nuevos biofertilizantes líquidos no aportan P, evitando los riesgos de eutrofización respecto a la utilización directa del digestato y del purín en abonados de fondo, donde si hay un aporte de P al suelo.
- La utilización de fitasas de última generación en una integración porcina con un millón de plazas de cebo podría reducir la excreción de aproximadamente 125 t de P y 860 t de N.

## Replicabilidad de la solución propuesta

Se han realizado entrevistas con un total de 13 empresas ([www.amda.es](http://www.amda.es), [www.coren.es](http://www.coren.es), [www.friselva.com](http://www.friselva.com), [www.kendensha.com](http://www.kendensha.com), [www.catpinsos.com](http://www.catpinsos.com), [www.calafconstructora.com](http://www.calafconstructora.com), [www.sgrsl.es](http://www.sgrsl.es), [www.geniaglobal.com](http://www.geniaglobal.com), [www.apergas.cat](http://www.apergas.cat), [www.jisap.com](http://www.jisap.com), [www.htnbiogas.com](http://www.htnbiogas.com), [www.bonarea.com](http://www.bonarea.com), [www.icpor.com](http://www.icpor.com)), y algunas de ellas podrían estar interesadas en integrar la nueva solución en sus procesos productivos. Respecto a la replicabilidad de la nueva solución para la transformación del digestato y purín, se concluye que:

- Desde el punto de vista medioambiental y social, e independientemente de la viabilidad económica, todas las soluciones testadas podrían ser consideradas viables tanto en plantas de biogás como en granjas para reducir el nivel de emisiones del aprovechamiento del digestato y del purín como fertilizantes orgánicos, como para reducir los malos olores asociados a la aplicación del fertilizante orgánico y para generar puestos de trabajo especializados en la materia que fijen población rural. Es decir, el nuevo sistema de aprovechamiento del digestato y purín en fertirrigación contribuye significativamente a disminuir las emisiones difusas asociadas a la agricultura y ganadería.
- El ahorro de los agricultores en la adquisición de fertilizantes minerales dependerá del cultivo en cuestión y de la distancia de transporte del biofertilizante líquido, y podría tener un valor medio de 0,5 €/ kg de N del fertilizante mineral a aplicar. Dicho ahorro hace más atractivo para los agricultores la retirada del digestato de las plantas de biogás, resolviendo de esa forma la problemática actual.
- Se recomienda realizar nuevas investigaciones sobre nuevas tecnologías de separación de fangos en el tratamiento secundario para reducir los costes energéticos y los costes de inversión, lo que podría aumentar la rentabilidad económica de la solución propuesta de forma significativa cuando es implantada en las explotaciones porcinas.
- Para la replicabilidad en plantas de biogás, la mayor rentabilidad económica depende directamente de la transformación del digestato en un biofertilizante sólido pelletizado gracias al sistema de secado de la fracción sólida que aprovecha el calor residual. Dicho sistema podría ser implantado sin necesidad de un tratamiento secundario para la separación de fangos.
- En el caso de plantas de biogás con baja superficie agrícola asociada, la gestión del digestato podría hacer inviable su actividad o suponer un elevado coste de oportunidad. En este caso, la solución propuesta podría ser rentable económicamente para la solución propuesta para reducción del contenido en N del biofertilizante líquido, reduciendo los costes de transporte y aplicación al reducir la superficie agrícola necesaria. En el caso de plantas de biogás sin superficie agrícola suficiente, la nueva solución podría competir con otros sistemas como la nitrificación-desnitrificación, que tienen un mayor coste de inversión y medioambientalmente no suponen un aprovechamiento del digestato.

- Para la replicabilidad en granja, el sistema de secado de la fracción sólida no resulta viable económicamente en latitudes como las de nuestro país, donde el secado al sol en los estercoleros es una estrategia válida.
- El sistema de transformación de la fracción líquida del purín en granja se considera económicamente viable, y las prioridades de replicación deben centrarse en dicha aproximación a la problemática existente. De hecho, como acción inmediata de replicación se ha decidido implantar la nueva solución en la empresa JISAP ([www.jisap.com](http://www.jisap.com)). Se trata de uno de los principales productores porcinos de España y de Europa, localizado en el Sureste de la península Ibérica. En concreto, en la Región de Murcia existe una importante concentración de productores porcinos y la gestión del purín resulta clave, considerando el importante desarrollo en los últimos años de la agricultura de regadío en la zona. Para la replicación se ha previsto un proyecto piloto con un plazo de ejecución entre 2020 y 2022, coordinado técnicamente por uno de los participantes del presente proyecto.
- Se ha demostrado que la fertirrigación con los biofertilizantes líquidos podría ser implantada por cualquier Comunidad de Regantes, tanto de nuestro país como de cualquier otro país de la UE. Evidentemente, la nueva solución tiene especial interés para aquellos países de la cuenca mediterránea donde el cultivo de regadío podría suponer una mejora significativa en el aprovechamiento de los recursos hídricos disponibles.
- Las tecnologías testadas podrían ser replicadas en nuestro país, pero también en otros países de la UE. En particular, el sistema secado de la fracción sólida podría ser replicado con viabilidad económica en las plantas de biogás de los países del Norte de Europa con una importante cabaña porcina (Alemania, Holanda, Francia y Polonia, principalmente). Mientras que el sistema de tratamiento de la fracción líquida, sin secado de la fracción sólida, podría ser replicado en explotaciones ganaderas de cualquier país europeo donde la fertirrigación mineral de cereales, oleaginosas y leguminosas ya esté implantada. La viabilidad económica en este último caso dependerá del tamaño de la explotación, como ya se ha argumentado anteriormente.
- Durante la ejecución del proyecto se ha publicado el Reglamento CE 2019/1009, que potencia la sustitución de fertilizantes minerales por fertilizantes orgánicos. Dicho reglamento establece unos criterios de calidad para los fertilizantes orgánicos sólidos y líquidos, con valores máximos para determinados contaminantes (Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, As, Cu, Zn, *Salmonella spp.* y *E. coli*). En este sentido, serán necesarias nuevas investigaciones para demostrar que el nuevo sistema de transformación del digestato y del purín permite obtener fertilizantes orgánicos que cumplen con dichos requisitos.
- Considerando los resultados del proyecto, la Administración Pública podría primar a las instituciones similares a las Comunidades de Regantes de las diferentes regiones nacionales y europeas que implanten el uso de la fertirrigación con biofertilizantes líquidos de digestato y purín, siendo esta una estrategia válida para su replicabilidad a gran escala a medio plazo. Se considera

que las Comunidades de Regantes o instituciones similares son entidades con capacidad tractora suficiente para que los agricultores potencien el uso de la fertirrigación con biofertilizantes líquidos de digestato y purín. La demanda por parte de los agricultores fomentará la inversión en plantas de biogás y explotaciones ganaderas, que podrían encontrar una nueva oportunidad en la gestión de sus residuos. Por otra parte, se considera que la nueva solución podría suponer una oportunidad a las Comunidades de Regantes para incorporar personal especializado en la materia, que preste nuevos servicios técnicos a sus agricultores asociados, fijando mano de obra cualificada en las áreas rurales.