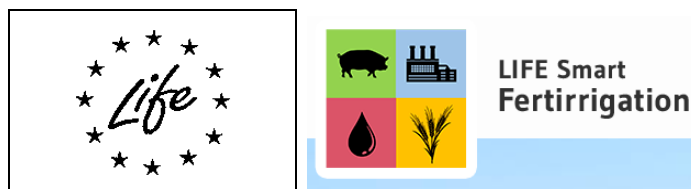




LIFE14ENV/ES/000640

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

ANNEX C2.1. Technical Evaluation Report



Deliverable Action C.2.

“Technical 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	http://smartfertirrigation.eu/
Coordinating beneficiary	COPISO SORIA, S.COOP.
Coordinator	D. Andrés García Martínez (life@copiso.es)

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 aim was to evaluate technically the design of the integral slurry transformation system, the integration of liquid fertilizer in the different crops studied, the implantation of supplementation of fattening pigs with latest generation phytases and the life cycle associated with the new solution for smart fertirrigation of crops.

Design of the Integral Transformation System for slurry and digestate

The monitoring indicators related to the efficiency in the transformation of slurry and digestate into biofertilizers is showed in Table 1, defining the initial hypothesis and the value obtained at the end of the project for each of them.

Table 1. Indicators of environmental sustainability in pilot plant

Indicator	Unit	Hypothesis	Current value	Deviation, %
Reduction of the content in suspended solids in the manufacturing for the liquid biofertilisers	%	99	99	0
Reduction of the N content in the manufacturing for the liquid biofertilisers	%	40	75	▲ 88
Reduction of the P content in the manufacturing for the liquid biofertilisers	%	85	99	▲ 16
Increased dry matter content in the manufacturing for the solid biofertilisers	%	75	80	▲ 7

Monitoring indicators of economic viability related to the efficiency in the transformation of slurry into biofertilizers were established (Table 2).

Table 2. Indicators of economic viability in pilot plant

Indicator	Unit	Hypothesis	Current value	Deviation, %
Energy consumption in the transformation into liquid biofertilizer	kWh/m3	20	15	▼ 25
Cost in flocculants and coagulants in the manufacture of liquid biofertilizer	€/m3	3,50	3,45	▼ 1
Minimum investment in equipment for manufacturing liquid biofertilizer	€	250.000	242.300	▼ 3

Finally, the transformation costs have been broken down into fixed equipment depreciation costs and variable operating costs. Equipment depreciation costs were estimated in approximately 17,000 €/year, with depreciation between 8 and 20 years depending of the type of equipment. Operating costs are showed in Table 3.

Tabla 3. Operating costs for transformation plant

Tipo de coste	Unit/m ³	€/m ³
Energy costs	15,9 kWh/m ³	2,38
Pretreatment	4,4 kWh/m ³	0,66
Floatation	11,1 kWh/m ³	1,67
Filtration	0,3 kWh/m ³	0,04
Pumping	0,1 kWh/m ³	0,01
Coagulants and flocculants	154 ml/l	3,44
Workforce	0,04 h/m ³	0,48
Total	--	6,3

Considering a traditional pig farm with an annual production of 20,000 m³ of slurry, the amortization cost would be € 0.87 /m³, and the total cost of transformation is estimated at € 7.17 /m³.

Integration of liquid fertilizer in crops

Sustainability indicators related to the efficiency and use of resources in the crops under study were established in a scale equivalent to the agricultural area associated with CODEREG (Table 4). CODEREG represents the area of influence of the project with an irrigated agricultural area of 5,000 ha distributed among its approximately 1,000 members. In the tests carried out, it was possible to replace 100% the top dressing mineral fertilizers, and it has been estimated that a potential substitution of 1,500 t of mineral fertilizer per year for the liquid biofertilisers demonstrated in the project, representing an annual saving of approximately € 450,000. On the other hand, with the new solution, it would be possible to avoid releasing 900 t CO₂eq per year, considering 0.6 kg CO₂ eq /kg of mineral fertilizer.

In the tests carried out, the fertirrigation with the new liquid biofertilisers was compared with a positive control that included mineral fertilizers, analyzing the effect on crop yield. Improvements in crop yield were between 20 and 75%, depending on the crop. Therefore, it is estimated that nutrient absorption was improved by approximately 50%.

Table 4. Indicators of environmental sustainability in the crops

Indicator	Unit	Hypothesis	Current value	Deviation, %
Replacement of mineral fertilizers in the top dressing (1)	t/año	1.050	1.500	▲ 43
Reduction of emissions linked to inorganic fertilization (1) (2)	%	70	100	▲ 43
Increased nutrient absorption capacity by crops	t CO ₂ /año	1.300	900	▼ 31

(1) It has been considered an escalation of 5,000 ha and the use of approximately an average 300 kg of mineral fertilizer /ha for the cover fertilizer (in total, 1,500 t of mineral fertilizer per year)

(2) 0.6 kg CO₂ eq /kg of mineral fertilizer has been considered.

During the execution of the project, farms with a total area of 75 ha were used, of which a total of 51 ha were monitored (Table 6), replacing approximately 7,100 kg of Nitrogen Fertilizer Unit (UFN) from mineral fertilizer (approximately 95 kg of UFN /ha). Considering a traditional top dressing liquid mineral fertilizer (27% NAC; with 27% N

content and a price of € 0.3 /kg), approximately 26,200 kg of mineral fertilizer have been replaced and a total savings of € 7,860 (approximately € 105 /ha).

The liquid fertilizers obtained from the integral slurry and digestate processing system have a clear environmental benefit, since in the approximately 75 ha fertirrigated it has been avoided to release more than 15 tons of CO₂eq (approximately 210 kg of CO₂eq /ha), derived from replacing 26,200 kg of mineral fertilizer and considered emissions of 0.6 kg CO₂ eq / kg of mineral fertilizer.

After the soil analysis carried out in the test plots, no negative effect of the application of biofertilizers by fertirrigation has been detected. There is no difference in the composition of the soil between the plots in which mineral fertilizer has been used or fertilizer has not been applied compared to those in which biofertilizers transformed from slurry or digestate have been used.

Doses and fertirrigation schedule were established for each of the crops. It is recommended to organize the number of irrigation events according to the capacity of the transport tank, and optimizing the transport costs of the liquid biofertilisers. The recommendations have been established considering the transport in tanks of 30 m³, an average content of 1.5 kg of ammonia N per m³ of the liquid biofertilizer, and a 1:5 ratio between the liquid biofertilisers with respect to the irrigation water.

Monitoring indicators of economic viability related to the efficiency in the field application of biofertilizers were established (Table 5).

Table 5. Indicators of economic viability in the crops

Indicator	Unit	Hypothesis	Current value	Deviation, %
Total savings in mineral fertilization expenses (1)	€/año	315.000	450.000	▲ 43
Increase in income due to higher harvest yield	€/ha	0	250	--
Transport cost of liquid biofertilizers for a radius of 10 km	€/m ³	2,5	1,1	▼ 56
Optimal distance for the application of liquid biofertilizers in the field	km	10	7	▼ 30

(1) It has been considered an escalation of 5,000 ha and the use of approximately an average 300 kg of mineral fertilizer /ha for the cover fertilizer (in total, 1,500 t of mineral fertilizer per year) and an average price of € 300 /t of mineral fertilizer.

The main associated cost is that of transporting the biofertilisers to the corresponding irrigated farm, and the initial hypothesis was established between 2 and 3 € /m³. However, the cost of transport has been related to the N content of biofertilisers to determine the optimal transport distance. Considering that the liquid biofertilisers obtained has an average of 1.5 kg of UFN, it is considered that the maximum distance below which savings would be generated with respect to the use of mineral fertilizers is 7 km, which is lower than the initial hypothesis of 10 km as optimal transport radius. The UFN reference cost is € 0.8 /kg for mineral fertilizers.

Nutritional strategies to reduce P excretion from fattening pigs

Considering the results obtained in the demonstrative tests, the sustainability indicators related to the efficiency of the use of resources on the farm were established (Table 6).

Table 6. Indicators of environmental sustainability in pig farm

Indicator	Unit	Hypothesis (1)	Current value (2)	Deviation, %
Reduction of the P content in the slurry with nutritional strategies	kg/pig	0,214	0,126	▼ 70%
Reduction of the N content in the slurry with nutritional strategies	kg	3.400	13.011	▲ 282%

(1) Considering a total experimental population of 18,000 fattening pigs

(2) Considering a total experimental population of 103,267 fattening pigs

Considering an annual production of 800,000 fattening pigs /year on which the new nutritional strategy has been implemented, a reduction of 100,800 kg of P /year could be achieved.

Monitoring indicators of economic viability related to nutritional strategies to reduce P excretion in slurry were established (Table 7). Contrary to expectations, it was possible to reduce the cost of the feed and the feed conversion rate. The price of the experimental phytase practically doubles the price of the control diet phytase, since their prices are respectively € 8,500 /tn vs. € 4,200 /tn. However, evaluating the improvement in the digestibility of phosphorus, the inclusion of the new phytase in the feed supposes a reduction in the production process of the feed and a decrease in the number of raw materials necessary to include, in such a way that the experimental diet was be between 0.5 and 1 € /tn cheaper, depending on the fattening period. On the other hand, pigs with the new diet had a lower conversion rate (2.44 vs. 2.39 kg feed /kg body weight).

Table 7. Indicators of economic viability in the pig farm

Indicator	Unit	Hypothesis	Current value	Deviation, %
Reduction of the manufacturing cost of the feed intended to reduce the excretion of P and N	€/t	0	0,5 – 1,0	--
Reduction of the conversion rate of the feed intended to reduce the excretion of P and N	kg feed/ kg BW	0	0,05	--

Life Cycle Analysis

A total of 5 scenarios to compare in the life cycle analysis were established: Scenario 1: mineral fertilizer applied with fertirrigation (mineral fertilizer); Scenario 2: untreated slurry applied without fertirrigation (untreated slurry); Scenario 3: slurry transformation process and application with fertirrigation (treated slurry); Scenario 4: anaerobic slurry digestion and application of the digestate without fertirrigation (untreated digestate); Scenario 5: anaerobic slurry digestion, digestate transformation process and application with fertirrigation (treated digestate).

A comparison was made between scenarios for potential damage to human health, ecosystem quality, climate change, and resources. Scenarios 3 and 5 (treated slurry

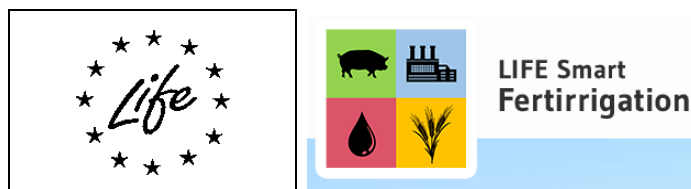
and treated digestate) are the ones that cause the least damage. Specifically, the treated digestate and slurry represent 65 times less overall damage than mineral fertilizers.

In scenario 1 (mineral fertilizer), emissions of 0.561 kg CO₂ equivalent /kg used in fertirrigation have been established. In scenario 2 (untreated slurry), the environmental impact is due to the transport of slurry from the farms to the cultivation farms and to the machinery necessary for its injection into the ground for the bottom subscriber (in this scenario the fertirrigation; 0.384 kg CO₂ equivalent /kg). In scenario 3 (treated slurry), emissions of 0.0111 kg CO₂ equivalent /kg used in fertirrigation have been established, which are significantly lower than those of scenario 1. More than half of the environmental impact of scenario 3 is due to the electrical equipment (55%), whose most important contribution is that of the compressor used as a medium in the DAF system (dissolved air flotation). To reduce the environmental impact of this system, it would be advisable to use alternative systems to the DAF for slurry transformation. In scenario 4 (untreated digestate), emissions of 0.034 kg CO₂ equivalent /kg have been established considering that, in an anaerobic digestion plant, the overall balance of greenhouse gases remains largely negative. Anaerobic digestion units are carbon sinks that reduce greenhouse gases, and the environmental impact due to the transport and application of the digestate in the farms is compensated (fertirrigation is not contemplated in this scenario). Finally, scenario 5 (treated digestate) is considered to be the system with the least environmental impact (0.00952 kg CO₂ equivalent /kg used in fertigation). It is concluded that the emissions associated with the treated digestate and slurry are 56 times less than those associated with mineral fertilizers.

Lastly, a comparative study was made of the use of resources corresponding to each type of fertilizer. Mineral fertilizer has the greatest environmental impact at the level of resource use, mainly due to the resources associated with the extraction of raw materials of chemical origin. Specifically, the treated digestate and slurry represent a resource use 66 times less than mineral fertilizers.

Conclusions

It is concluded that the data generated in the monitoring reports has been used for the estimation of indicators for environmental sustainability and economic viability in the pilot plant, the experimental crops and the pig farm. Also, Life Cycle Analysis (LCA) and Life Cycle Cost Analysis (LCC) have been performed. All of these results will be considered in the elaboration of Final Project Evaluation Report.



Entregable Acción C.2. “Informe de Evaluación Técnica”

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	http://smartfertirrigation.eu/
Organización coordinadora del proyecto	COPIISO SORIA, S.COOP.
Coordinador del proyecto y dirección de e-mail	D. Andrés García Martínez (life@copiso.es)

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)	X

Índice

	Pág
Objetivo.....	3
Diseño del Sistema Integral de Transformación del purín.....	4
Integración del fertilizante líquido en los cultivos.....	6
Estrategias nutricionales para reducir la excreción de P de los cerdos de engorde.	11
Análisis del ciclo de vida del nuevo sistema de fertirrigación.....	13

Objetivo

Se desea evaluar técnicamente el diseño del sistema integral de transformación del purín, la integración del fertilizante líquido en los diferentes cultivos estudiados, la implantación de la suplementación de los cerdos de engorde con fitasas de última generación y el ciclo de vida asociado a la nueva solución de fertirrigación inteligente.

Diseño del Sistema Integral de Transformación del purín

Indicadores de sostenibilidad en la transformación del purín

Se establecieron los indicadores de seguimiento relacionados con la eficiencia en la transformación del purín en biofertilizantes (Tabla 1), definiendo la hipótesis inicial y el valor obtenido al final del proyecto para cada uno de ellos.

Tabla 1. Indicadores de sostenibilidad medioambiental en planta piloto

Indicador	Unidad	Hipótesis	Valor actual	Desviación, %
Reducción del contenido en Sól. en Susp. en la fabricación biofertilizante líquido	%	99	99	0
Reducción del contenido en N en la fabricación del biofertilizante líquido	%	40	75	▲ 88
Reducción del contenido en P en la fabricación del biofertilizante líquido	%	85	99	▲ 16
Incremento del contenido en MS en la fabricación del biofertilizante sólido	%	75	80	▲ 7

Análisis de viabilidad económica de la transformación del purín y digestato

Se establecieron indicadores de seguimiento de la viabilidad económica relacionados con la eficiencia en la transformación del purín en biofertilizantes (Tabla 2), definiendo la hipótesis inicial y el valor obtenido al final del proyecto para cada uno de ellos.

Tabla 2. Indicadores de viabilidad económica en planta piloto

Indicador	Unidad	Hipótesis	Valor actual	Desviación, %
Consumo energético de la transformación en biofertilizante líquido	kWh/m ³	20	15	▼ 25
Coste en floculantes y coagulantes en la fabricación de biofertilizante líquido	€/m ³	3,50	3,45	▼ 1
Inversión mínima en equipamientos para la fabricación de biofertilizante líquido	€	250.000	242.300	▼ 3

Finalmente, los costes de transformación se han desglosado en costes fijos de amortización de equipos y costes variables de funcionamiento (Tabla 3 y 4).

Tabla 3. Costes de amortización de la planta de transformación del purín

Equipo	Inversión, €	Período de amortización, años	Cuota anual de amortización, €
Agitador	4.300	8	538
Separador mecánico	18.500	8	2313
Sistema de elevación	2.300	8	288
Bomba 1	1.000	8	125
Elevador	700	8	88
Rototamiz	10.000	8	1250
Balsa 1 de producto intermedio	3.000	20	150
Bomba 2	1.000	8	125
Flotador (DAF)	155.000	20	7750
Balsa 2 de producto intermedio	3.000	20	150
Bomba 3	1.000	8	125
Filtro	30.000	8	3750
Balsa de producto final	7.000	20	350
Bomba 4	1.000	8	125
Tuberías	900	8	113
Cuadro eléctrico	600	20	30
Estercolero	3.000	20	150
Total	242.300	--	17.418

Tabla 4. Costes de funcionamiento de la planta de transformación del purín

Tipo de coste	Unidad/m ³	€/m ³
Costes energéticos	15,9 kWh/m ³	2,38
Pretratamiento	4,4 kWh/m ³	0,66
Flotación	11,1 kWh/m ³	1,67
Filtración	0,3 kWh/m ³	0,04
Bombeo	0,1 kWh/m ³	0,01
Coagulantes y floculantes	154 ml/l	3,44
Mano de obra	0,04 h/m ³	0,48
Total	--	6,3

Considerando una explotación tipo con una producción anual de 20.000 m³ de purín, el coste de amortización sería de 0,87 €/m³, y el coste total de transformación se estima en 7,17 €/m³.

Integración del fertilizante líquido en los cultivos

Indicadores de sostenibilidad en la fertirrigación con purín y digestato transformado

Se establecieron los indicadores de sostenibilidad relacionados con la eficiencia y el aprovechamiento de los recursos en los cultivos en estudio, definiendo la hipótesis inicial y el valor obtenido al final del proyecto para cada uno de ellos en un escalado equivalente a la superficie agrícola asociada a la Comunidad de Regantes de Almazán (Tabla 5). La Comunidad de Regantes de Almazán representa el área de influencia del proyecto y supone una superficie agrícola en regadío de 5.000 ha repartidas entre sus aproximadamente 1.000 socios. En los ensayos realizados se consiguió sustituir al 100% los fertilizantes minerales de cobertera, y se ha estimado una sustitución potencial de 1.500 t de fertilizante mineral al año por los biofertilizantes líquidos demostrados en el proyecto, lo que supone un ahorro anual de aproximadamente 450.000 €. Por otro lado, con la nueva solución, se podría evitar liberar 900 t CO₂eq al año, considerando 0,6 kg CO₂ eq/ kg de fertilizante mineral.

En los ensayos realizados, se comparó la aplicación en fertirrigación de los nuevos biofertilizantes líquidos con un control positivo que incluía fertilizantes minerales, analizando el efecto sobre el rendimiento del cultivo. Las mejoras en el rendimiento de la cosecha estuvieron entre un 20 y 75%, dependiendo del cultivo. Por tanto, se estima que se mejoró la absorción de nutrientes en aproximadamente un 50%.

Tabla 5. Indicadores de sostenibilidad medioambiental en campos de cultivo

Indicador	Unidad	Hipótesis	Valor actual	Desviación, %
Sustitución de fertilizantes minerales en el abonado de cobertera (1)	t/año	1.050	1.500	▲ 43
	%	70	100	▲ 43
Reducción de emisiones ligadas a la fertilización inorgánica (1)(2)	t CO ₂ /año	1.300	900	▼ 31
Incremento de la capacidad de absorción de nutrientes por los cultivos	%	20	50	▲ 150

(1) Se ha considerado un escalado de 5.000 ha y la utilización de aproximadamente una media 300 kg de fertilizante mineral/ha para el abonado de cobertera (en total, 1.500 t de fertilizante mineral al año)

(2) Se ha considerado 0,6 kg CO₂ eq/ kg de fertilizante mineral.

Durante la ejecución del proyecto se utilizaron fincas con una superficie total de 75 ha, de las cuales fueron monitorizadas un total de 51 ha (Tabla 6), sustituyendo aproximadamente 7.100 kg de Unidad Fertilizante de Nitrógeno (UFN) procedente de fertilizante mineral (aproximadamente, 95 kg de UFN/ha). Considerando un abono mineral líquido de cobertera tipo (NAC 27%; con un 27% de contenido en N y un precio de 0,3 €/kg), se han conseguido sustituir aproximadamente 26.200 kg de fertilizante mineral y un ahorro total de 7.860 € (aproximadamente, 105 €/ha).

Tabla 6. Sustitución de fertilizantes minerales y ahorro asociado

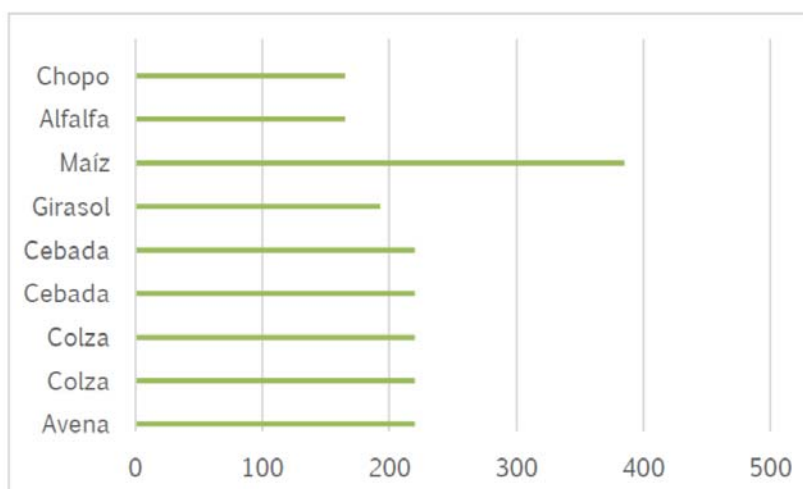
Tipo de cultivo	Superficie total cultivada, ha	Superficie monitorizada, ha	Fertilizantes minerales sustituidos (1)			Ahorro (2)	
			Kg N/ha	Total N, kg	Total, kg	€/ha	Total, €
Girasol	10	10	35	350	1.296	38,88	389
Cebada	5	5	40	200	741	44,46	222
Colza	6	6	43	258	956	47,80	287
Avena	6	6	66	396	1.467	73,35	440
Maíz	3	3	243	729	2.700	270	810
Alfalfa	25	17	175	4.375	16.204	194,45	4.861
Chopo	20	4	38	760	2.815	42,23	845

(1) Considerando la superficie total cultivada.

(2) No se considera el coste de transporte de 0,35 €/kg de UFN de biofertilizante líquido.

La Figura 1 representa la reducción de la huella de carbono, es decir, los kg de CO₂eq. no emitidos por sustituir el uso de fertilizante mineral por los biofertilizantes en diferentes cultivos ensayados en el proyecto. 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 toneladas de CO₂eq (aproximadamente, 210 kg de CO₂eq /ha), derivadas de sustituir 26.200 kg de fertilizante mineral y considerado unas emisiones de 0,6 kg CO₂ eq/ kg de fertilizante mineral.

Figura 1. Emisiones evitadas durante la ejecución del proyecto gracias a la fertirrigación con purín y digestato tratado (kg de CO₂eq)



Por otra parte, se evaluó el impacto de los biofertilizantes sobre la calidad del suelo. Tras el análisis de suelo realizado en las parcelas de ensayo, no se ha detectado ningún efecto negativo de la aplicación de biofertilizantes mediante fertirrigación. No se aprecia ningún tipo de diferencia en la composición del suelo entre las parcelas en las que se ha utilizado fertilizante mineral o bien no se ha aplicado fertilizante con

respecto a aquellas en las que se ha utilizado biofertilizantes transformados de purín o digerido (Figura 2).

Figura 2. Impacto de los biofertilizantes sobre la calidad del suelo de las parcelas experimentales (1)

PARÁMETROS	PARCELA 1 BANIEL (Colza, Avena forrajera)		PARCELA 2 Coscurita (Girasol, Cebada)		PARCELA 5 Bordejé (Maíz)	
	SF	FL_P_D	SF	FL_P_D	SF	FL_P_D
Potasio(solubre en acetato amonico) mg/kg	196,33	138,50	225,50	219,00	348,00	568,00
Caliza activa (CaCO3) %	2,70	1,46	17,69	15,12	7,57	2,87
Conductividad eléctrica - FS μ S/cm	183,33	147,50	190,00	196,67	190,00	170,00
Materia orgánica %	2,60	2,01	7,33	6,23	5,34	4,43
MO oxidable %	0,75	0,69	1,42	1,39	1,39	1,09
Nitrógeno total (N)	0,08	0,07	0,12	0,14	0,12	0,10
pH-H2O	8,23	8,30	8,35	8,37	8,25	8,50
Relación C/N	20,08	17,65	42,21	25,91	25,88	26,44
Fósforo (soluble en NaHCO3)	28,50	28,38	9,08	12,96	24,20	45,35
Materia seca %	89,50	90,75	84,30	86,43	85,75	87,20

(1) Valores medios: SF (sin fertilizar o fertilización mineral); FL_P_D (fertirrigación con biofertilizantes)

Recomendaciones de dosificación de los biofertilizantes líquidos

Se establecieron las dosis y el calendario de fertirrigación para cada uno de los cultivos (Tabla 7). Se recomienda organizar el número de eventos de riego en función de la capacidad de la cisterna de transporte, y optimizando los costes de transporte del biofertilizante líquido. Las recomendaciones se han establecido considerando el transporte en cisternas de 30 m³, un contenido medio de 1,5 kg de N amoniacal por m³ del biofertilizante líquido, y una relación 1:5 entre el biofertilizante líquido respecto al agua de riego.

Tabla 7. Recomendación de dosificación del biofertilizante líquido en cobertera

Tipo de cultivo	Periodo de cultivo	Tipo de riego	Fecha de fertirrigación	Dosis por evento de riego (m ³ /ha)	Número de eventos	Volumen total aplicado (m ³ /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	26	6	156	235
Alfalfa	--	Inyección	Diciembre y Mayo	29	4	116	175
Chopo	--	Goteo	Julio	27	1	27	40

Análisis de viabilidad económica de la fertirrigación con purín y digestato transformado

Se establecieron indicadores de seguimiento de la viabilidad económica relacionados con la eficiencia en la aplicación en campo de los biofertilizantes (Tabla 8), definiendo la hipótesis inicial y el valor obtenido al final del proyecto para cada uno de ellos.

Tabla 8. Indicadores de viabilidad económica en campos de cultivo

Indicador	Unidad	Hipótesis	Valor actual	Desviación, %
Ahorro total en gastos de fertilización mineral (1)	€/año	315.000	450.000	▲ 43
Incremento de los ingresos por mayor rendimiento de la cosecha	€/ha	0	250	--
Coste de transporte de los biofertilizantes líquidos para un radio de 10 km	€/m ³	2,5	1,1	▼ 56
Distancia óptima para la aplicación de los biofertilizantes líquidos en campo	km	10	7	▼ 30

(1) Se ha considerado un escalado de 5.000 ha y la utilización de aproximadamente una media 300 kg de fertilizante mineral/ha para el abonado de cobertera (en total, 1.500 t de fertilizante mineral al año) y un precio medio de 300 €/t de fertilizante mineral.

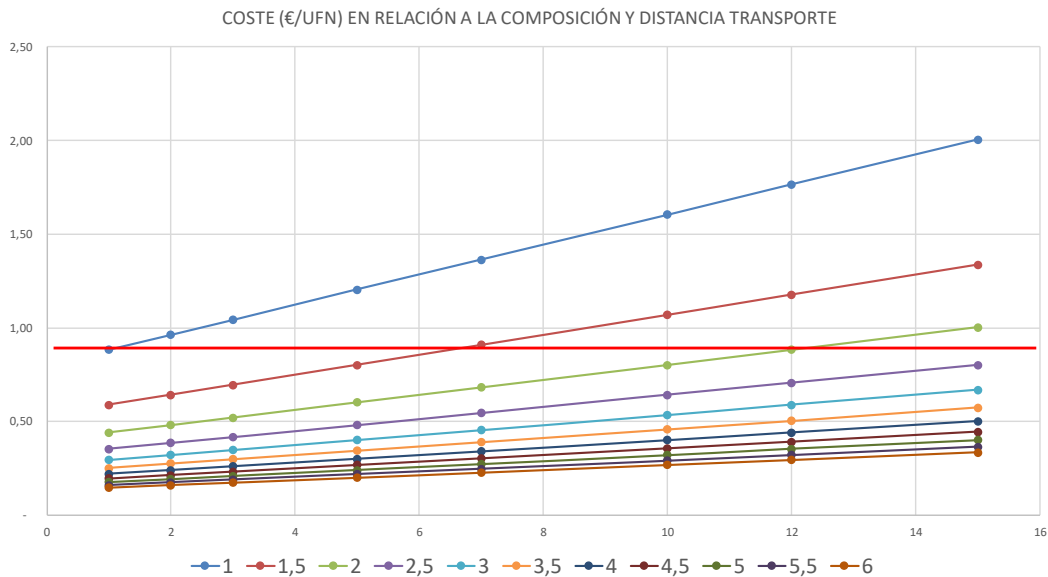
En contra de lo esperado, se detectó un beneficio económico derivado del incremento de producción por el uso de biofertilizantes. El incremento de beneficio obtenido como consecuencia del uso de biofertilizantes transformados de purín y digestato alcanzó un valor medio de 252 €/ha, y resultó especialmente evidente en los cultivos de maíz, colza y alfalfa (Tabla 9).

Tabla 9. Incremento de los ingresos relacionado con un mayor rendimiento de los cultivos en estudio

INCREMENTO DE RENDIMIENTO				
CULTIVO	CAMPAÑA	kg/ha	PRECIO (€/t)	€/ha
GIRASOL	2018	867	350	303
GIRASOL	2019	172	350	60
COLZA	2019	1.417	350	496
CEBADA	2019	1.063	180	191
MAÍZ	2019	3.484	190	662
AVENA	2019	506	100	51
ALFALFA	2017	278	150	42
ALFALFA	2019	1.114	150	212
VALOR MEDIO				252

El principal coste asociado es el de transporte del biofertilizante hasta la finca de regadío correspondiente, y la hipótesis inicial se estableció entre 2 y 3 €/m³. Sin embargo, se ha relacionado el coste de transporte con el contenido en N de biofertilizante para determinar la distancia óptima de transporte. Considerando que el biofertilizante líquido obtenido tiene de media 1,5 kg de UFN, se considera que la distancia máxima por debajo de la cual se estaría generando ahorro respecto al uso de fertilizantes minerales es de 7 km (Figura 3), lo que resulta inferior que la hipótesis inicial de 10 km como radio óptimo de transporte. El coste de referencia de la UFN es de 0,8 €/kg para los fertilizantes minerales.

Figura 3. Costes de transporte del biofertilizante según las unidades fertilizantes de nitrógeno del biofertilizante líquido y la distancia entre la planta y el cultivo.



Estrategias nutricionales para reducir la excreción de P de los cerdos de engorde

Indicadores de sostenibilidad en la reducción del P del purín mediante estrategias nutricionales

Considerando los resultados obtenidos en los ensayos demostrativos, se establecieron los indicadores de sostenibilidad relacionados con la eficiencia el aprovechamiento de los recursos en granja, definiendo la hipótesis inicial y el valor obtenido al final del proyecto para cada uno de ellos (Tabla 10).

Tabla 10. Indicadores de sostenibilidad medioambiental en granja

Indicador	Unidad	Hipótesis (1)	Valor actual (2)	Desviación, %
Reducción del contenido en P del purín mediante estrategias nutricionales	kg/cerdo	0,214	0,126	▼ 70%
	kg	3.400	13.011	▲ 282%
Reducción del contenido en N del purín mediante estrategias nutricionales	kg/cerdo	0	0,858	--
	kg	0	88.603	--

(1) Considerando una población experimental total de 18.000 cerdos de engorde

(2) Considerando una población experimental total de 103.267 cerdos de engorde

Potencial reducción de la excreción de P en el área geográfica en estudio

Considerando una producción anual de 800.000 cerdos de cebo/año sobre la que se ha implantado la nueva estrategia nutricional, se podría conseguir una reducción de 100.800 kg de P/año.

Análisis de viabilidad económica de la suplementación con fitasas de última generación

Se establecieron indicadores de seguimiento de la viabilidad económica relacionados con las estrategias nutricionales para reducir la excreción de P en el purín (Tabla 11), definiendo la hipótesis inicial y el valor obtenido al final del proyecto para cada uno de ellos. En contra de lo esperado, se consiguió reducir el coste del pienso y el índice de conversión del pienso. El precio de la fitasa experimental (Setnazyme fitasa QT) prácticamente duplica el precio de la fitasa de la dieta control (Setnazyme Fitasa EC), ya que respectivamente sus precios son de 8.500 €/Tn vs 4.200 €/Tn. Sin embargo, valorando la mejora en la digestibilidad del fósforo, la inclusión de la nueva fitasa en el pienso supone un abaratamiento del proceso de producción del pienso y una disminución del número de materias primas necesarias a incluir, de tal manera que la dieta experimental resultó ser entre un 0,5 y un 1 €/Tn más barata, dependiendo del periodo de cebo. Por otro lado, los cerdos con la nueva dieta presentaron un menor índice de conversión (2,44 vs 2,39 kg/kg).

Tabla 11. Indicadores de viabilidad económica en granja

Indicador	Unidad	Hipótesis (1)	Valor actual (2)	Desviación, %
Reducción del coste de fabricación del pienso destinado a reducir la excreción de P y N	€/t	0	0,5 – 1,0	--
Reducción del índice de conversión del pienso destinado a reducir la excreción de P y N	kg pienso/ kg PV	0	0,05	--

(1) Considerando una población experimental total de 18.000 cerdos de engorde

(2) Considerando una población experimental total de 103.267 cerdos de engorde

Análisis del ciclo de vida del nuevo sistema de fertirrigación

Se establecieron 5 escenarios a comparar en el análisis del ciclo de vida:

- Escenario 1: fertilizante mineral aplicado con fertirrigación (fertilizante mineral)
- Escenario 2: purín sin tratar aplicado sin fertirrigación (purín sin tratar)
- Escenario 3: proceso de transformación del purín y aplicación con fertirrigación (purín tratado)
- Escenario 4: digestión anaerobia de purín y aplicación del digestato sin fertirrigación (digestato sin tratar)
- Escenario 5: digestión anaerobia de purín, proceso de transformación del digestato y aplicación con fertirrigación (digestato tratado)

Se hizo una comparativa entre escenarios para los potenciales daños en salud humana, calidad del ecosistema, cambio climático y recursos (Tabla 12). Los escenarios 3 y 5 (purín y digestato tratados) son los que menos daños originan. En concreto, el digestato y purín tratado suponen un daño global 65 veces menor que los fertilizantes minerales.

Tabla 12. Comparativa de daños entre escenarios

Daños en micropuntos	Fertilizante mineral	Purín sin tratar	Purín tratado	Digestato sin tratar	Digestato tratado
Salud humana	75,7	3,97	1,1	3,49	0,936
Calidad del ecosistema	11	0,579	0,16	0,51	0,137
Cambio climático	56,7	3,88	1,12	3,43	0,961
Recursos	39,8	2,33	0,657	2,05	0,561
TOTAL	183,2	10,759	3,037	9,48	2,595

En el escenario 1 (fertilizante mineral) se han establecido unas emisiones de 0,561 kg CO₂ equivalente/litro utilizado en fertirrigación. En el escenario 2 (purín sin tratar), el impacto medioambiental es debido al transporte del purín desde las granjas hasta las fincas de cultivo y a la maquinaria necesaria para su inyección en el suelo para el abonado de fondo (en este escenario no se contempla la fertirrigación; 0,384 kg CO₂ equivalente/litro).

En el escenario 3 (purín tratado) se han establecido unas emisiones de 0,0111 kg CO₂ equivalente/litro utilizado en fertirrigación, que son sensiblemente inferiores a las del escenario 1. Más de la mitad del impacto ambiental del escenario 3 es debido a los equipos eléctricos (55%), cuya contribución más importante es la del compresor que se utiliza como medio en el sistema DAF (flotación por aire disuelto). Para reducir el impacto ambiental de este sistema sería recomendable la utilización de sistemas alternativos al DAF para la transformación del purín.

En el escenario 4 (digestato sin tratar) se han establecido unas emisiones de 0,034 kg CO₂ equivalente/litro considerando que, en una planta de digestión anaerobia, el balance general de gases de efecto invernadero sigue siendo en gran medida negativo. Las unidades de digestión anaerobia son sumideros de carbono que reducen los gases de efecto invernadero, y se compensa el impacto medioambiental debido al transporte y aplicación del digestato en las fincas de cultivo (en este escenario no se contempla la fertirrigación). Por último, el escenario 5 (digestato tratado) se considera como el sistema con menor impacto medioambiental (0,00952 kg CO₂ equivalente/litro utilizado en fertirrigación).

Se concluye que las emisiones asociadas al digestato y purín tratado son 56 veces menores que las asociadas a los fertilizantes minerales.

Por último, se hizo un estudio comparativo del uso de recursos correspondiente a cada tipo de fertilizante (Figura 4). El fertilizante mineral tiene el mayor impacto ambiental a nivel del uso de recursos, debido principalmente a los recursos asociados a la extracción de materias primas de origen químico. En concreto, el digestato y purín tratado suponen un uso de recursos 66 veces menor que los fertilizantes minerales.

Figura 4. Uso de recursos para cada escenario en estudio.

