

FERTIECO: Implementació del compostatge hipertermòfil per a l'obtenció de fertilitzant de cultiu ecològic a partir de la fracció sòlida de purí porcí**Resum**

L'ús de fems i purins i la seva valorització com a substrat en la producció de biofertilitzants és, tant ambiental com econòmicament interessant, degut a la seva composició rica en matèria orgànica i també en nitrogen, fòsfor i potassi, entre d'altres nutrients. A més, la reutilització d'aquests subproductes revaloritzats és una pràctica ideal per gestionar l'excedent de dejeccions, incrementar la qualitat dels sols agraris i potenciar la bioeconomia circular. D'altra banda, està previst que les necessitats de fertilització de cultius ecològics incrementin considerablement durant els propers anys ja que un dels reptes del Pacte Verd europeu és disposar d'un 25% de la superfície agrària d'Europa dedicada a l'agricultura ecològica l'any 2030. En aquest cas la problemàtica neix quan determinades dejeccions ramaderes de cria intensiva, que es generen a Catalunya en excés, no s'accepten com a matèries primeres per a la producció de fertilitzants aptes per a cultiu ecològic degut, molt probablement, a la possibilitat que continguin fàrmacs (principalment antibiòtics) i gens de resistència a antibiòtics.

Objectius

Aquest estudi té com a objectiu principal optimitzar la tecnologia de compostatge per a higienitzar i estabilitzar la fracció sòlida de purí porcí sota condicions hipertermòfiles, obtenint un biofertilitzant amb baix contingut en fàrmacs i gens de resistència. A través d'aquest estudi es podrà demostrar no només el percentatge de reducció associat a l'aplicació d'aquesta tecnologia, si no que també es podrà comparar l'efecte de l'aplicació d'aquelles dejeccions que sí es poden destinar a la fertilització de cultius ecològics en comparació amb el biofertilitzant obtingut en aquest estudi.

Per aconseguir complir l'objectiu general de la proposta es consideren també alguns objectius específics:

- Avaluar el procés hipertermòfil per a la reducció del contingut de fàrmacs d'ús veterinari i gens de resistència de les fraccions sòlides de purí porcí de mares, d'engreix i del digestat d'aquest últim.
- Demostrar que els biofertilitzants obtinguts de purí porcí tenen continguts equivalents de fàrmacs i gens de resistència als fems de boví i a les dejeccions de porcí ecològic actualment aptes per fertilitzar sòls de cultiu ecològic.
- Demostrar que les qualitats agronòmiques dels biofertilitzants obtinguts són equivalents a aquelles obtingudes amb fems de vaca i dejeccions de porcí ecològic.
- Avaluar en termes de sostenibilitat ambiental i econòmica el que suposaria l'ús de compost hipertermòfil de dejeccions porcines de ramaderia intensiva en cultius ecològics.

Descripció de les actuacions dutes a terme en el projecte

Aquest estudi està dividit en diferents tasques:

1. Optimització del procés de compostatge hipertermòfil de dejeccions no aptes per a cultiu ecològic
2. Estudi comparatiu entre dejeccions i compost aptes i no aptes per a agricultura ecològica
3. Avaluació agronòmica del compost hipertermofílic i de les dejeccions aptes per a agricultura ecològica
4. Estudi de viabilitat tècnica, econòmica, social i ambiental del sistema desenvolupat

Resultats finals i recomanacions pràctiques

Activitat 1. Optimització del procés de compostatge hipertermòfil de dejeccions no aptes per a cultiu ecològic

Per tal de dur a terme els tres processos de compostatge a escala industrial s'han realitzat la recollida i separació de diferents dejeccions ramaderes (fraccions sòlides (FS) de purí de mares, d'engreix i digestat de purí de mares). Les explotacions ramaderes van disposar de separadors mòbils per dur a terme l'obtenció de la fracció sòlida de purí porcí i digestat. Un cop obtinguda la fracció sòlida de purí i digestat, les explotacions ramaderes han estat sotmeses a un procés compostatge hipertermòfil a escala industrial. A la Figura 1 es mostren com a exemple els perfils de temperatura obtinguts a escala industrial, on es pot observar que es van aconseguir condicions hipertermòfiles (70°C per més de 5 dies) donant com a resultat materials o compost completament higienitzats, lliures de patògens com E.coli o Salmonel·la.

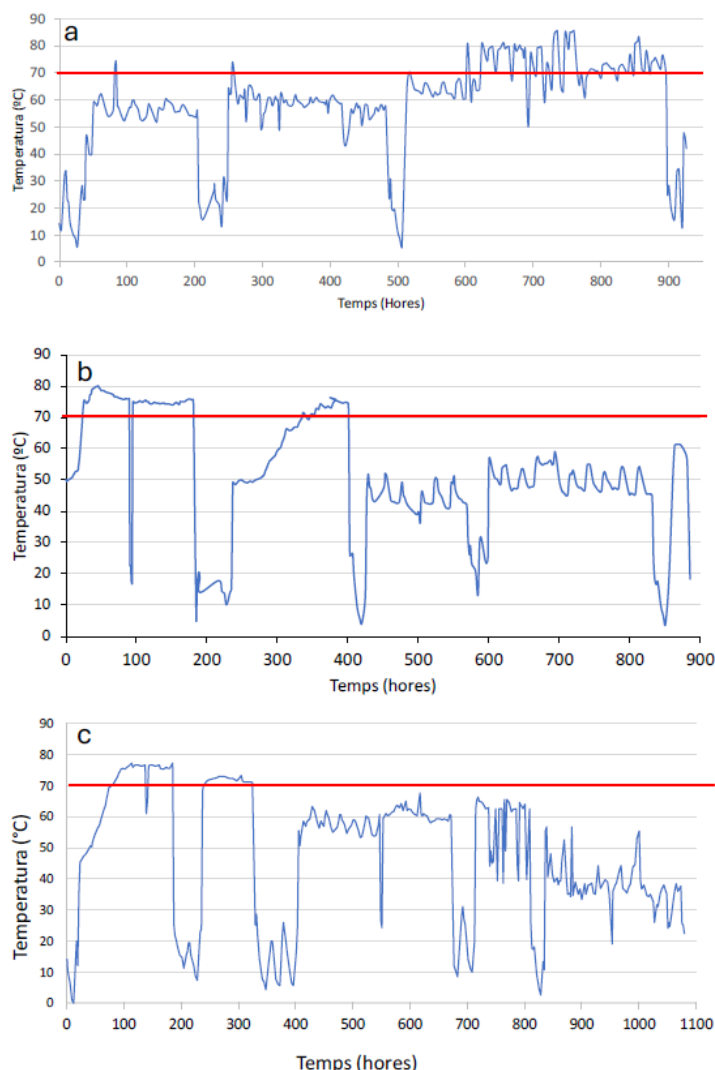


Figura 1. Perfils de temperatura de les piles del procés de compostatge: a) FS de digestat de purí de mares , b) FS purí mares i c) FS purí d'engreix

Activitat 2. Estudi comparatiu entre dejeccions i compost aptes i no aptes per a agricultura ecològica

a) Avaluació de les característiques físico-químiques i microbiològiques

Un cop completat tot el procés de compostatge (fase activa) i la seva etapa de maduració, els compost obtinguts van ser caracteritzats. Es va dur a terme una caracterització físico-química i microbiològica. A

la Taula 1 es mostren tres exemples de compost obtinguts durant l'execució del projecte. Els resultats mostren que el contingut de nutrients pot ser en alguns casos superiors als que s'obté en dejeccions ramaderes que actualment són aptes per a agricultura ecològica com són el fem boví o el purí de granja porcina ecològica. A més a més, l'avaluació per respirometria dinàmica d'aquest compost confirmen la seva estabilitat com a material fertilitzant

Taula 1. Caracterització físico-química i microbiològica dels compost obtinguts

	COMPOST A	COMPOST B	COMPOST C
pH	8,48 ± 0,03	8,88 ± 0,01	8,67 ± 0,03
EC (μS/cm)	6569 ± 4	4733 ± 22	5729 ± 3
TS (g/kg)	676 ± 2	604 ± 3	697 ± 4
VS (g/kg)	409 ± 3	313 ± 4	369 ± 3
NTK (g N-total/kg)	18,4 ± 0,4	14,2 ± 0,2	17,6 ± 0,2
NH4+ (g N-NH4+/kg)	3,32 ± 0,06	2,73 ± 0,05	3,19 ± 0,05
P-total (mg P/kg)	9043 ± 69	8383 ± 384	7025 ± 130
Zn (mg P/kg)	318 ± 6,9	206 ± 7,3	223 ± 11
K (mg P/kg)	6217 ± 51	6022 ± 119	7459 ± 89
Cu (mg P/kg)	95 ± 0,6	55 ± 1,2	76 ± 1,0
Calci Ca (% s.m.s)	5,33	6,67	6,66
Magnesi Mg (% s.m.s)	0,602	0,555	0,626
Sodi Na (% s.m.s)	0,92	0,65	0,72
Sofre S (% s.m.s)	1,11	0,94	0,9
Cadmi Cd (mg/Kg s.m.s.)	<0,5	<0,5	<0,5
Coure Cu (mg/Kg s.m.s.)	162	104	128
Crom Cr (mg/Kg s.m.s.)	35,6	18,4	23,2
Crom hexavalent VI (mg/Kg s.m.s.)	<0,5	<0,5	<0,5
Mercuri Hg (mg/Kg s.m.s.)	<0,4	<0,4	<0,4
Niquel Ni (mg/Kg s.m.s.)	19,1	13	14,4
Plom Pb (mg/Kg s.m.s.)	17,6	9,38	17,2
Zinc Zn (mg/Kg s.m.s.)	457	342	352
Arsenic As (mg/Kg s.m.s.)	3,2	3,9	4,7
Salmonella (Presencia en 25g)	No Detectat	No Detectat	No Detectat
Escherichia coli UFC/g	91	<10	<10

b) Seguiment i avaluació dels compostos orgànics d'origen veterinari i gens de resistència

Per tal de poder fer seguiment dels compostos orgànics emergents d'origen veterinari així com la presència de gens de resistència i veure la seva tendència de degradació en el temps a dins la pila, es van recollir mostres integrades de cada una de les piles setmanalment durant la fase activa (S1-7) una en el procés de maduració (CM) i la darrera una mostra del material final tamisat i anomenat compost final (CF) (Figura 2).

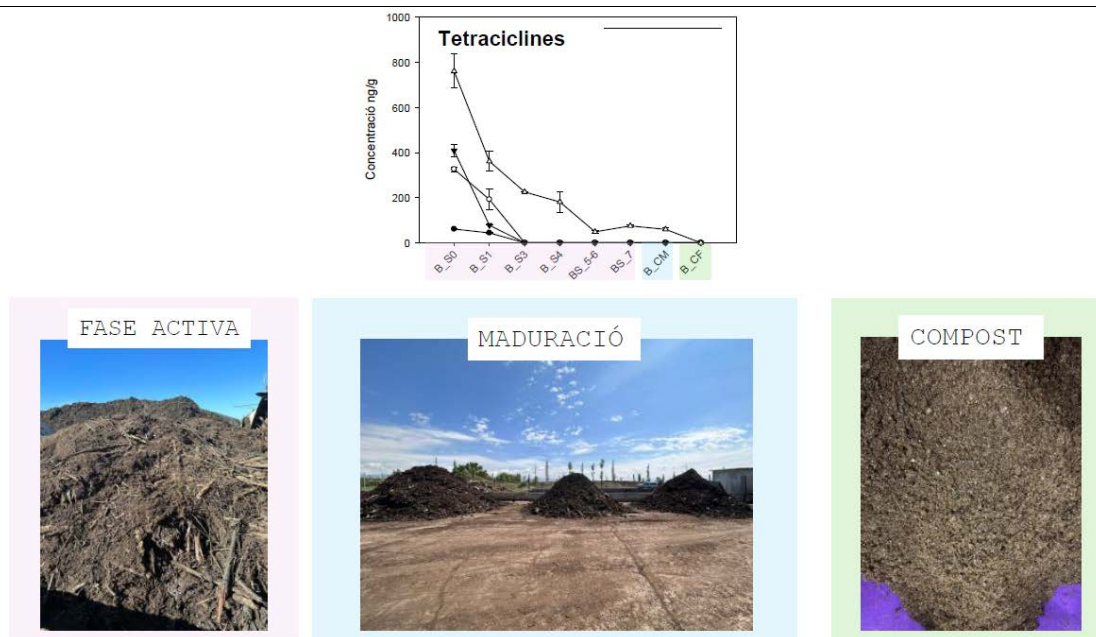


Figura 2. Perfils de degradació de compostos orgànics d'origen veterinari

Els antibiòtics i fàrmacs analitzats a les mostres de fracció sòlida de purí porcí són: antibiòtics tipus tetraciclina (tetraciclina, doxiciclina, oxitetraciclina, clortetraciclina), antibiòtics del grup de les quinolones i fluoroquinolones (flumequina, ofloxacina, ciprofloxacina, enrofloxacina, marbofloxacina, danofloxacina), antibiòtics tipus sulfamida (sulfametoxazol, sulfametazina, sulfamerazina, sulfadimetoxina, sulfadiazina, sulfapiridina), antibiòtics macròlids (eritromicina, tilosina, tilmicosina, azitromicina, claritromicina), antibiòtics tipus liconsamida, pleuromutilines, cefalosporines i altres (lincomicina, tiamulina, ceftiofur i trimetoprim), juntament amb l'anti-helmíntic flubendazol i l'analgèsic i anti-inflamatori flunixina.

A la Taula 2 es mostren els percentatges de reducció obtinguts en una de les tres campanyes de compostatge de les mostres.

Taula 2. Percentatge d'eliminació dels antibiòtics i fàrmacs d'ús veterinari durant el procés de compostatge hipertermofil

Compost	Compost A	Compost B	Compost C
<i>Tetraciclina</i>	100%	-	-
<i>Oxitetraciclina</i>	100%	-	-
<i>Doxiciclina</i>	100%	98%	100%
<i>Clortetraciclina</i>	100%	-	100%
<i>Marbofloxacina</i>	95%	91%	100%
<i>Enrofloxacina</i>	-	100%	100%
<i>Tilmicosina</i>	100%	100%	99%
<i>Tilosina</i>	100%	100%	100%
<i>Azitromicina</i>	-	-	30%
<i>Sulfametazina</i>	n.d.	-	n.d.
<i>Sulfadiazina</i>	100%	100%	-
<i>Lincomicina</i>	100%	100%	99%
<i>Tiamulina</i>	98%	100%	98%
<i>Flubendazol</i>	98%	99%	99%
<i>Flunixina</i>	57%	n.d.	n.d.

Per altra banda es van analitzar 8 gens de resistència: *16S rRNA* (bacteris en general), *sulf1* (Sulfamides),

qnrS (Fluoroquinolones), *ermB* (Macròlids), *blaKPC* (B-lactàmics), *tetW* (Tetraciclins), *int1* (integrasa) i *mcr1* (Colistina). Pel que fa a l'estudi de l'evolució dels gens de resistència a antibiòtics, el projecte FERTIECO ha complert l'objectiu de determinar l'efectivitat del compostatge hipertermòfil per l'eliminació de gens de resistència. A la Taula 3 es mostren com a exemple els percentatges de degradació en tres compost obtinguts. S'han aconseguit eliminacions del 99% en gens com l'*ermB*, *qnrS* i *tetW* i eliminacions rellevants en gens tant prevalents com el *sul1*. Al mateix temps, si comparem les concentracions absolutes al final del procés de compostatge respecte a les concentracions que s'obtenen en mostres de cultiu ecològic, els nivells del resistoma són molt similars, i en alguns casos inferior.

Taula 3. Percentatge d'eliminació de cada gen analitzat al final del procés de compostatge hipertermòfil

Gen	Compost A	Compost B	Compost C
<i>16S rRNA</i>	-8%	+9%	+50%
<i>sul1</i>	-93,6%	+74,6%	-74,8%
<i>int1</i>	-94,9%	+57%	-82%
<i>ermB</i>	-99,8%	-97%	-99,7%
<i>qnrS</i>	-95,9%	-98,5%	-78,5%
<i>tetW</i>	-98,4%	-98,4%	-96,8%

Activitat 3. Avaluació agronòmica del compost hipertermòfil i de les dejeccions aptes per a agricultura ecològica

L'avaluació agronòmica del compost hipertermòfil i les dejeccions es va dur a terme a les instal·lacions del CT BETA sota condicions controlades de llum (12h/12h) temperatura (23°C) i humitat (45-65%). Es van distribuir aleatòriament 36 testos d'un kilogram de sòl on es van aplicar els diferents tractaments aleatòriament, tenint un total de 6 rèpliques (testos) per cada tractament (3 compost obtinguts, fem boví, purí porcí ecològic, control). Seguidament es va sembrar raigràs a dosi de 45 kg/ha. L'aplicació de cada fertilitzant es va calcular tenint en compte el contingut de nitrogen de cadascun i els requeriments del cultiu per a aquest nutrient. Els testos es van regar a capacitat de camp evitant els lixiviats durant els 4 mesos de creixement del cultiu. Durant aquests mesos es van realitzar 4 dalls al cultiu, tallant la biomassa a 2 cm de la base cada 30 dies i mesurant la matèria seca i la matèria humida (Figura 3)

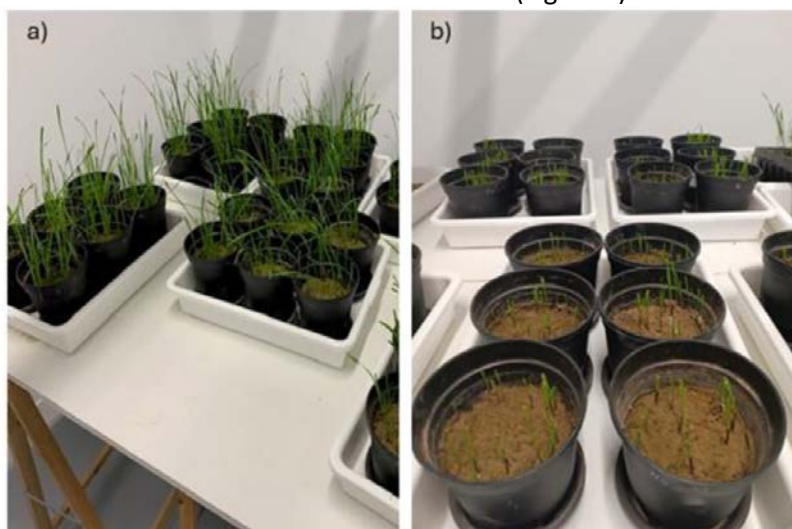


Figura 3. Fotografia de l'experiment a) abans del primer dall i b) després del dall.

La capacitat fertilitzant dels composts provinents de la fracció sòlida tant de purí de mares, com d'engreix, i del digestat procedent de purí de mares de la fase de compostatge va resultar ser adequada per al creixement del cultiu de la mateixa manera que els fertilitzants aptes per a agricultura ecològica, el purí porcí de granja ecològica i el fem boví. Cal tenir en compte que no es van observar diferències

significatives respecte el control (on no s'hi va afegir fertilitzant) i, per tant, que els requeriments nutricionals del cultiu durant els 4 mesos de l'estudi va ser baix i suplert per el contingut de nutrients inicials del sòl.

Activitat 4. Estudi de viabilitat tècnica, econòmica, social i ambiental del sistema desenvolupat

L'avaluació ambiental de la tecnologia va ser avaluada mitjançant una Anàlisi de cycle de vida (ACV) considerant el cycle de vida des de la separació del purí fins a l'ús com a fertilitzant ecològic en assajos de laboratori. La unitat funcional emprada va ser 1 tona de compost produït mitjançant el procés de compostatge hipertermòfil en cadascun de les tres dejeccions principals avaluades actualment no aptes per a cultiu ecològic. Els límits del sistema de cada efluent es troben representats en la Figura 4.

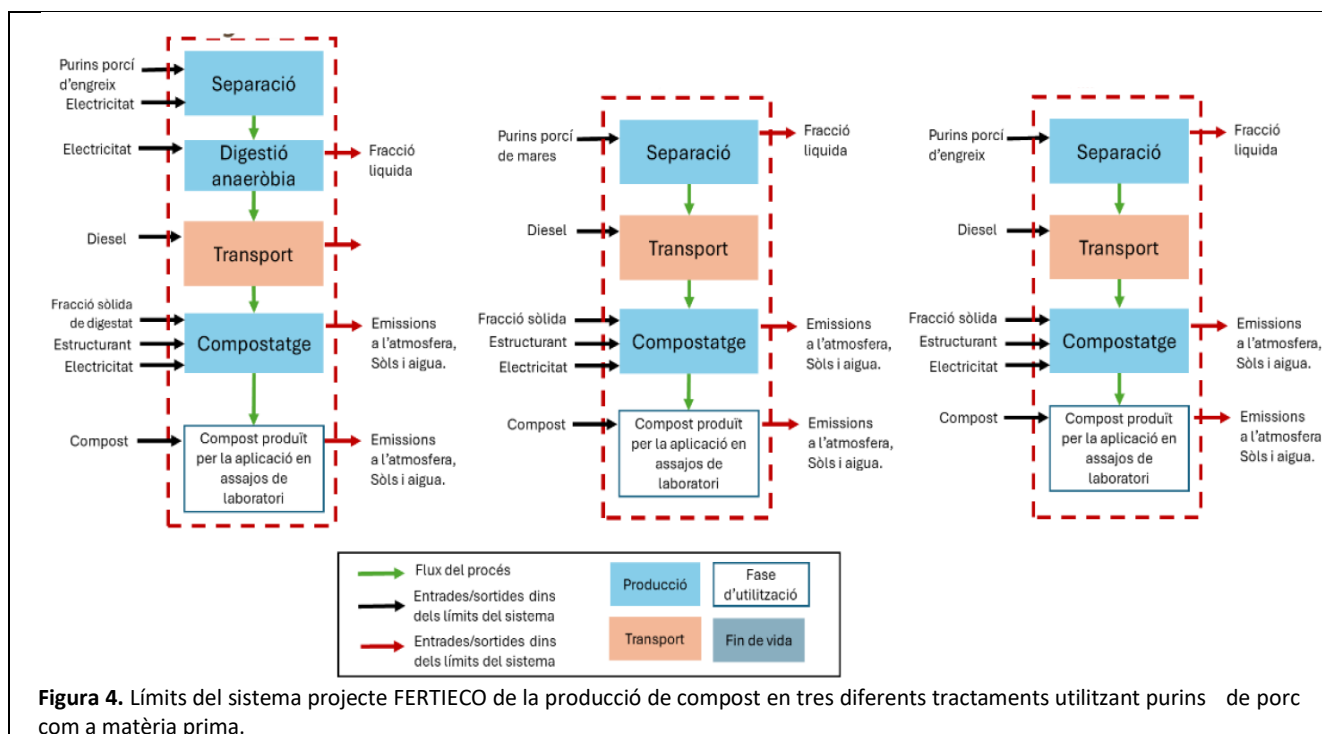
Un cop identificades les entrades i sortides de cada procés, es van associar els conjunts de dades de la base Ecoinvent 3.10 Cut-off System Process, que se centra en l'anàlisi de la petjada ambiental de productes i processos de fons (background) i d'aquesta manera comptabilitzar els seus impactes. El desenvolupament ambiental de la separació de purins i el posterior compostatge de la fracció sòlida va ser calculat en dos escenaris, el primer sense considerar l'aplicació a camp del compost i el segon considerant la fase d'aplicació. Per a aquest últim procés es va modelitzar l'aplicació d'1 tona del compost en camp considerant el seu transport i aplicació amb maquinària agrícola. Els impactes ambientals es van calcular en funció del contingut de NPK de cada compost obtingut evitant la producció de fertilitzants minerals. En el cas específic del N es va estimar un 20% de disponibilitat del NTK obtingut en laboratori.

Finalment, el projecte FERTIECO inclou l'anàlisi de costos per procés, focalitzant-se en la innovació del compostatge hipertermòfil de purins de porc provinents de granges convencionals per a obtenir un biofertilizant que pugui ser utilitzat en cultius ecològics. El procés comença amb la separació dels purins i finalitza en la obtenció del compost per ser aplicat en assajos de laboratori.

Aquest estudi va ser dut a terme mitjançant l'enfocament d'anàlisi de despeses de capital (CAPEX), despeses operatives (OPEX), costos fixos i variables basats en activitats. A més a més, es van tenir en compte metodologies com el mètode factorial per a l'estimació de costos de capital fix i l'amortització lineal. Per a l'avaluació tecno-econòmica, es van considerar els resultats obtinguts en les activitats desenvolupades a cada granja, utilitzant les diferents matèries primeres per a dur a terme l'elaboració de compost d'alta qualitat.

Els resultats obtinguts mostren que els impactes sense l'aplicació del compost a camp genera una major magnitud d'impactes quan no s'utilitza la digestió anaeròbia per tal d'obtenir el digestat del purí de mares, emprat en aquest estudi. A més els resultats revelen que els processos de compostatge i separació són els que contribueixen en grau més alt als impactes ambientals, principalment pels consums elèctrics de la maquinària i el transport de les fraccions sòlides fins a la planta de compostatge.

A mes en termes econòmics, els resultats estimen que la producció de una tona pot arribar a 123 euros depenent de la disponibilitat del sistema de separació del purí en granja. Finalment, l'avaluació realitzada permet afirmar que el projecte es viable tecno-econòmicament segons els costos de producció per tona, tot i que és necessari reduir les incerteses amb un inventari de costos més detallat.



Conclusions

A través del projecte FERTEICO s'ha demostrat no només el percentatge de reducció d'antibiòtics i gens de resistència als antibiòtics (aproximadament del 100%) associat a la implementació del compostatge hipertermofílic a la fracció sòlida de purí porcí, sinó que també es pot comparar l'efecte de l'aplicació, en termes agrònomic, d'aquelles dejeccions que sí que es poden destinar a la fertilització de cultius ecològics (fems de boví i dejeccions de porcí ecològic) en comparació amb el biofertilitzant obtingut en aquest estudi. Més enllà dels aspectes ambientals comentats l'estudi de viabilitat tècnica, econòmica i social garanteix que aquesta tecnologia pugui aplicar-se en un futur. Així doncs, l'execució del projecte FERTIECO dona evidències científica, que mitjançant aquest tractament, la fracció sòlida de purí porcí pot ser un fertilitzant òptim per a la fertilització orgànica en producció ecològica.

Líder del Grup Operatiu

ENTITAT: AGROPECUARIA CATALANA SCCL

Coordinador del Grup Operatiu

ENTITAT: INNOVACC CLUSTER CATALÀ DE LA CARN I LA PROTEÏNA ALTERNATIVA

Altres membres del Grup Operatiu (perceptors d'ajut)

ENTITAT: SELECCIÓN BATALLÉ SA

ENTITAT: GRUP GEPORK SA

ENTITAT: AGRÀRIA PLANA DE VIC I SECCIÓ DE CREDIT SCCL

ENTITAT: EMBOTITS SALGOT SA

Altres membres del Grup Operatiu (no perceptors d'ajut)

ENTITAT: FUNDACIÓ UNIVERSITÀRIA BALMES (UNIVERSITAT DE VIC-UNIVERSITAT CENTRAL DE CATALUNYA)

ENTITAT: INSTITUT CATALÀ DE RECERCA DE L'AIGUA

Àmbit/s territorial/s d'aplicació

PROVÍNCIA/ES	COMARCA/QUES
BARCELONA GIRONA	BAGES LA SELVA OSONA VALLÈS ORIENTAL LA GARROTXA GIRONÈS

Difusió del projecte (publicacions, jornades, multimèdia...)

S'ha fet divulgació, durant l'execució del projecte FERTIECO, a través de les eines habituals de difusió del clúster:

- Sol·licitud d'ajuts GO21: [xarxa X](#), [pàgina web](#)
- Aprovació d'ajuts GO21: [xarxa X](#), [pàgina web](#) [Objectius del projecte FERTIECO](#)
- Webinars de projectes del clúster:
 - Març 2023: [linkedin](#), [X](#), [pàgina web](#), [youtube](#)
 - Novembre 2023: [linkedin](#), [pàgina web](#), [youtube](#)
 - Abril 2024: [linkedin](#), [pàgina web](#), [youtube](#)
- Assemblees semestral d'INNOVACC: [juny22](#), [des22](#), [juny23](#), [des23](#), [juny24](#).
- Revista anual d'INNOVACC: [2022](#), [2023](#) i [2024](#).

També, se n'ha fet difusió al butlletí d'INNOVACC i a les pàgines web dels participants.

Altra informació del projecte

DATES DEL PROJECTE	PRESSUPOST TOTAL
Data d'inici: Juliol 2021	Pressupost total: 246.506,90 €
Data final: Setembre 2024	Finançament DACC: 113.997,81 €
Estat actual: Finalitzat	Finançament UE: 85.998,34 €
	Finançament propi: 46.510,75 €

Amb el finançament de:

Projecte finançat a través de l'Operació 16.01.01 (Cooperació per a la innovació) a través del Programa de desenvolupament rural de Catalunya 2014-2022.

Ordre ARP/113/2021, de 20 de maig, per la qual s'aproven les bases reguladores dels ajuts a la cooperació per a la innovació a través del foment de la creació de grups operatius de l'Associació Europea per a la Innovació en matèria de productivitat i sostenibilitat agrícoles i la realització de projectes pilot innovadors per part d'aquests grups, i Resolució ACC/1660/2021, de 27 de maig, per la qual es convoca l'esmentat ajut.



Generalitat de Catalunya
Departament d'Acció Climàtica,
Alimentació i Agenda Rural



Fons Europeu Agrícola
de Desenvolupament Rural:
Europa inverteix en les zones rurals