

Estudi del cicle de l'aigua en explotacions ramaderes porcines i desenvolupament de nous mètodes per a la seva reutilització

Resum

La comarca d'Osona és una de les zones més afectades per la problemàtica de les dejeccions ramaderes. En aquesta regió, l'aplicació directa del purí al sòl per a la seva fertilització ha estat l'opció més àmpliament utilitzada per a la gestió de les dejeccions ramaderes. Malauradament, l'elevat grau d'humitat del producte fa que el transport i l'aplicació a altres àrees properes on els sòls tinguin un baix contingut en nutrients sigui una opció poc viable. Aquesta situació ha fomentat el desenvolupament i implementació de noves tecnologies per a tractar els residus ramaders per tal d'estabilitzar la matèria orgànica, concentrar i/o eliminar nutrients i produir energia. Tot i això, cap d'aquestes tecnologies ha estat enfocada en la reutilització d'aigües ni ha considerat sistemes integrals valoritzant la totalitat dels efluent obtinguts a partir del concepte "residu zero".

Per aportar una solució a aquesta problemàtica s'ha realitzat l'acoblament dels sistemes de nitrificació-desnitrificació (NDN) amb les tecnologies d'electrodiàlisi (ED) i l'ozonització per al tractament dels efluent líquids, obtenint així, aigua de qualitat que podrà ser reutilitzada en el mateix procés industrial/agrícola o per finalitats ambientals. Per altra banda, s'ha portat a terme un procés de compostatge amb les fraccions sòlides (fracció sòlida del separador i els fangs deshidratats) de les unitats de tractament de NDN amb l'objectiu de valoritzar tots els efluent obtinguts en el procés.

Objectius

L'objectiu principal del projecte és **valoritzar els efluent líquids de les dejeccions ramaderes** mitjançant el tractament per ED i ozonització i així **obtenir una aigua de qualitat sense contaminants**, sals ni nutrients, **que pugui ser reutilitzada** a la mateixa granja o fer-se servir per recarrega d'aqüífers i altres serveis ambientals.

El projecte vol donar solució a una de les principals limitacions de la tecnologia NDN, mitjançant **l'acoblament dels sistemes NDN amb les tecnologies d'electrodiàlisi i ozonització** per tractar els efluent líquids obtinguts.

També es realitza una valorització de les fraccions sòlides mitjançant compostatge i finalment una avaluació tècnica, econòmica i ambiental de la implementació dels resultats obtinguts.

Descripció de les actuacions dutes a terme en el projecte

Per tal d'assolir els objectius establerts, el present projecte s'ha estructurat en 5 activitats principals:

- Activitat 1: Disseny i construcció de la planta pilot d'ED.
- Activitat 2: Tractament dels efluent d'NDN mitjançant ED.
- Activitat 3: Tractament dels efluent ED mitjançant ozonització.
- Activitat 4: Tractament de les fraccions sòlides i fangs per compostatge.
- Activitat 5: Avaluació tècnica, ambiental i econòmica del procés mitjançant tècniques d'anàlisi de cicle de vida i anàlisi de cicle de costos.

Resultats finals i recomanacions pràctiques

Activitat 1: Disseny i construcció de la planta pilot d'ED

Per tal de tenir un ampli coneixement dels efluents principals que calia tractar en aquest projecte i poder fer un disseny a mida de la planta d'ED d'acord amb les necessitats existents, es va dur a terme en primer lloc una caracterització dels diferents efluents de la planta de tractament de purins NDN.

Els valors alts de potassi a la sortida del reactor NDN han fet evident la necessitat de disposar d'un sistema de tractament de l'efluent per a la reducció del contingut de potassi, així com per la reducció de la conductivitat fins a valors permesos, tant per la seva reutilització o la seva descàrrega al medi d'acord amb la legislació vigent. Cal destacar també que la reducció del contingut de sòlids presents en la sortida del NDN és un paràmetre important per al bon funcionament de la tecnologia d'ED.

Previ a l'inici de les proves d'ED a escala pilot, es varen realitzar experiments d'ED a escala de laboratori per tal de comprovar la seva eficiència com a tecnologia per a la reducció de conductivitat, el contingut de potassi i la reducció de COEs. Es va trobar la necessitat de reduir el contingut de matèria col·loidal donat que es va observar un alt embrutiment de les membranes d'ED que motivaven a una reducció en el cabals de permeat obtinguts. Tot i que la concentració de sòlids d'entrada era superior a l'òptim per a duu a terme el procés, es va observar una disminució significativa tant de la conductivitat com del contingut de potassi. La realització de cicles consecutius d'ED va permetre determinar un percentatge d'aigua recuperada al voltant d'un 80%, demostrant així, l'alta eficiència de la tecnologia d'ED, tant per a la recuperació d'aigua neta com per a la reducció de sals.

Donat que paràmetres fisicoquímics com la quantitat de sòlids (partícules col·loïdals) i la conductivitat en l'efluent NDN depenen poden condicionar el bon funcionament del sistema de ED, es van avaluar possibles escenaris operacionals de concentració de sòlids i conductivitat i es va constatar la necessitat de disposar d'un sistema eficient de pretractament de coagulació/floculació previ a la pila d'ED a escala pilot.

Així, el disseny i construcció de la planta pilot es va fer considerant la necessitat de disposar d'un sistema de pretractament previ a la pila d'ED per tal d'assegurar el seu bon funcionament, evitar problemes operacionals i maximitzar les eficiències del procés. Els elements principals del sistema de pretractament incorporats a la planta van ser un procés de coagulació/floculació, filtració mitjançant filtre de sorra i un sistema de membranes per ultrafiltració (UF).

Activitat 2: Tractament dels efluents d'NDN mitjançant ED

Prèviament a la posada en funcionament de la pila d'ED, es va procedir a realitzar diverses proves operacionals del sistema de pretractament (coagulació/floculació, filtració per filtre de sorra i ultrafiltració). Els resultats van mostrar l'eficiència del filtre de sorra per a la reducció del contingut de sòlids totals fins a un 65 % de sòlids d'entrada, però no una reducció en la terbolesa de l'efluent d'entrada. Per el contrari, el procés d'ultrafiltració va aconseguir reduir la terbolesa de l'aigua per sota del valor límit requerit per a poder tractar l'aigua amb un procés d'ED. En el cas de la DQO, ni el filtre de sorra ni la membrana d'ultrafiltració van permetre obtenir un efluent per sota del valor llindar per a poder tractar l'efluent amb la pila d'ED sense que existís la possibilitat d'un possible embrutiment en les membranes causat per la presència de matèria orgànica.

Per tal d'avaluar el possible embrutiment degut a les elevades concentracions de DQO, i avaluar així la viabilitat de l'ús de la tecnologia per al tractament de l'efluent NDN, va ser necessari realitzar una prova de funcionament sense fer cap neteja química durant un període de 50 hores, que seria l'equivalent a una setmana de funcionament de la pila en continu. No es va observar cap modificació ni descens en els cabals, cap augment de la pressió de la pila d'ED i les condicions operacionals es van recuperar amb les neteges diàries realitzades sense agent oxidants. Aquests tres fets evidencien que

la presència de matèria orgànica a l'efluent d'entrada a la pila, no ocasionaria problemes de biofouling a la superfície de les membranes durant la operació en continu i durant llargues jornades de treball.

També es van fer simulacions per conèixer la concentració de sals (conductivitat) màxima de treball per tal que la deposició de sals no tingui lloc a la superfície de la membrana. Es va determinar un alt risc d'embrutiment de les membranes per la precipitació de carbonat de calci (CaCO_3) en els valors de pH en el que s'estaven realitzant els experiments, de manera que el concentrat de la pila no podria operar a conductivitats superiors als 18000 μS en operacions de llarga durada. Per tal d'evitar problemes de *scaling* sota aquestes condicions operacionals ($\text{CE} > 18000 \mu\text{S}$) és necessària l'addició d'àcid en l'efluent concentrat per tal d'incrementar la solubilitat d'aquestes sals.

Al Setembre de 2020 es va iniciar la posada en funcionament de la planta pilot d'ED a la granja de tractament de purins de Monellots. Amb l'objectiu de comprovar el bon funcionament de la pila d'ED, es va determinar la densitat de corrent límit de la pila mitjançant el registre d'amperatge amb l'increment progressiu del voltatge de la pila. Normalment, es considera el voltatge òptim de treball el 70-80% del valor límit (punt d'inflexió de la corba). En aquest cas, el rectificador de la planta limitava el voltatge a aplicar a 55V. Així doncs, i veient els resultats obtinguts a la corba, es va decidir que podia ser un rang bo de treball entre 40 i 50V. Addicionalment, es va registrar la conductivitat per tal de comprovar l'eficiència i el bon funcionament de la pila en termes de separació.

Per tal de dur a terme l'avaluació en termes de recuperació d'aigua i rebuig de sals en el sistema, es van plantejar 4 escenaris operacionals que van ser escollits considerant la conductivitat de sortida del producte final d'ED i paràmetres operacionals com ara el cabal de rebuig. La conductivitat de sortida de l'ED és el paràmetre clau que determina el destí o ús de l'efluent de sortida. Les baixes conductivitats (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) estan en el llindar per al consum animal, mentre que valors al voltant de 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ s'haurien de destinar a abocament a llera pública.

- Escenari 1 (E1): Obtenció d'un producte final entorn als 2500 μS i un alt cabal de rebuig que permetria treballar sota el valor límit de conductivitat de concentrat en termes d'embrutiment per precipitació de sals.
- Escenari 2 (E2): Obtenció d'un producte final entorn als 2500 μS i un baix cabal de rebuig. En aquest escenari es contempla l'addició d'àcid en el concentrat per a poder treballar amb conductivitats més elevades del llindar de solubilitat del concentrat.
- Escenari 3 (E3): Obtenció d'un producte final entorn als 4000 μS i un baix cabal de rebuig.
- Escenari 4 (E4): Obtenció d'un producte final entorn als 2500 μS i un baix cabal de rebuig on en aquest cas no s'addicionarà àcid tot i obtenir conductivitats per sobre el llindar de solubilitat de les sals.

Amb els resultats obtinguts es va establir E3 i E4 com a possibles escenaris reals en planta per dur a terme l'estudi en detall d'aquests dos amb el conseqüent tractament amb el procés d'ozonització. Es va seleccionar l'escenari E3 per donar resposta a l'obtenció d'un producte apte per a l'abocament a llera en termes de conductivitat i l'escenari E4 per a l'obtenció d'un producte amb un possible ús per a aigües de consum a la pròpia granja.

Activitat 3: Tractament dels efluentes ED mitjançant ozonització

Un cop seleccionats els escenaris E3 i E4 com els idonis per dur a terme l'avaluació de la tecnologia d'ED i ozonització per el tractament de l'efluent NDN, es va dur a terme una caracterització en detall dels efluentes obtinguts en aquests dos escenaris. Aleshores, els productes finals obtinguts en el procés d'ozonització van ser tractats mitjançant un procés d'ozonització a diferents dosis. Els resultats van mostrar com el contingut de potassi dels productes obtinguts en el procés d'ED disminuïa fins al 70%. Pel que fa a altres paràmetres com el fòsfor o el contingut de matèria orgànica, el procés d'ED no va suposar una reducció significativa d'aquests. Per altra banda, tot i que el procés d'ozonització es va

avaluar a diferents concentracions d'ozó, no es van obtenir eficiències d'eliminació de la matèria orgànica superiors al 30%.

Amb l'objectiu d'avaluar el possible ús de l'aigua tractada, no només per a consum animal si no per a una possible reutilització d'aquesta, es va determinar la càrrega bacteriana i patògena dels productes finals obtinguts en els processos d'ED i ozonització en l'escenari E3 i E4. Els resultats obtinguts en l'anàlisi de microorganismes van mostrar que les dosis elevades d'ozó utilitzades en aquest experiment, fins a 2.88 g O₃/L, no eren suficients per eliminar la càrrega bacteriana present en els efluent obtinguts en el procés d'ED. Aquest procés, amb les condicions avaluades d'ozonització, no serien suficients per a reutilitzar els efluent com a aigües de consum animal.

Per tal d'avaluar l'eficiència del procés d'electrodiàlisi per a reduir la presència de COEs, es va determinar la concentració de 23 compostos orgànics emergents. Dels 23 COEs seleccionats, només 6 compostos van ser detectats a l'entrada de l'ED durant els mostrejos. Durant els tractaments amb ED es va observar una reducció en la carga màssica total en la concentració d'aquests 6 compostos, presentant reduccions mitjanes globals d'un 50 %, independentment del règim operacional de la pila d'ED. Els resultats obtinguts per a l'ozonització van mostrar un alt potencial per reduir la concentració de COEs ja que 3 dels 6 COEs detectats en el producte final d'ED van ser eliminats per sobre del 99% fins i tot aplicant la dosi d'ozó més baixa (0,7 g O₃/L). Pels altres 3 compostos detectats (compostos orgànics més recalcitrants) es va observar una correlació entre la dosi d'ozó aplicada i l'eficàcia d'eliminació d'aquests, arribant a valors d'eliminació per sobre del 95% en l'aplicació d'ozó en dosis més elevades.

Activitat 4: Tractament de les fraccions sòlides i fangs per compostatge

Un altre dels objectius del projecte ha estat valoritzar la fracció sòlida de purí del procés NDN per tal d'obtenir un compost de qualitat. Per tal d'avaluar aquest procés s'han realitzat dos experiments de compostatge:

- Procés de compostatge de la fracció sòlida del purí obtinguda del separador sòlid líquid.
- Procés de compostatge de la fracció sòlida del purí obtinguda del separador sòlid líquid enriquida (addicionat) amb producte concentrat o rebuig obtingut en l'escenari E3.

Al final dels processos de maduració del compostatge de la fracció sòlida com del co-compostatge es van obtenir materials bioestabilitzats amb uns IRD24 inferiors a 1 g O₂ h⁻¹ kg SV⁻¹, valor inferior al de referència per considerar-se estable.

Tenint en compte les concentracions de coure i zinc dels materials finals en els dos processos de compostatge, tant el compost de la fracció sòlida com el co-compostatge amb el concentrat d'ED, serien considerats material de classe B apte per l'agricultura.

El co-compostatge permetria obtenir un compost de qualitat i evitaria la gestió o transport del producte concentrat en el procés d'ED.

Activitat 5: Avaluació tècnica, ambiental i econòmica del procés mitjançant tècniques d'anàlisi de cicle de vida i anàlisi de cicle de costos

Dins el marc del projecte una de les activitats més rellevants ha estat l'anàlisi de cicle de costos que permet valorar la viabilitat de les tecnologies estudiades. Els càlculs s'han realitzat per 4 possibles escenaris diferents que es podrien donar en una situació real i per a les dues opcions d'implementació de les tecnologies (lloguer o compra), així com considerant diferents distàncies alhora del transport dels flux (productes).

Els resultats han mostrat només un estalvi econòmic (sense pèrdues) implementant un sistema ED+O3 on es consideri la recuperació d'aigua per a la seva reutilització, i en el moment en que fos necessari

el transport de l'efluent actual NDN a una distància superior al 95 Km en el cas del lloguer d'equips i de 75 Km en el cas de la compra.

L'anàlisi de cicle de vida (ACV) s'ha realitzat d'acord amb la metodologia PEF2.0 on han estat seleccionats 3 indicadors: canvi climàtic, esgotament recursos hídrics i recursos fòssils. Els resultats han mostrat que els tractaments proposats tindrien un impacte 6 vegades major en la categoria de canvi climàtic respecte a la situació actual on només es transporta l'efluent NDN a una distància de 3 Km. Així, s'ha determinat una relació entre l'impacte en Kg CO₂ i els kilòmetres de transport, que han indicat que, els impactes sobre el canvi climàtic serien equiparables entre les noves tecnologies proposades i l'actual gestió realitzada quan s'excedís un quilòmetratge igual a 18.

L'impacte associat a l'esgotament dels recursos hídrics en cada un dels escenaris ha indicat que en l'operació actual i la implementació única de la ED, escenaris on l'aigua tractada és utilitzada per agricultura, l'impacte és molt major donat que el model no considera un retorn de l'aigua al sistema degut a l'evapotranspiració. La reducció en l'impacte és només notable en pràctiques on els efluentes són abocats a llera i on l'aigua és reutilitzada en les instal·lacions donat que comporta un estalvi en l'extracció del recurs hídric.

Conclusions

Del desenvolupament d'aquest projecte s'extreuen les següent conclusions:

1. El procés d'electrodiàlisi per al tractament del l'efluent NDN ha demostrat una alta eficiència en la reducció de la **conductivitat** i el contingut de potassi, obtenint percentatges de reducció d'aquests en un 60% i 70% , respectivament, en les condicions operacionals òptimes.
2. El tractament mitjançant la electrodiàlisi permet obtenir percentatges de **recuperació** d'aigua tractada fins a un 85%.
3. Les dues tecnologies en cascada (ED + ozonització) permeten reduir la càrrega de **compostos orgànics emergents** entorn al 99%, mentre que només l'ús d'ED assoliria uns percentatges de reducció del 50%.
4. La gran càrrega orgànica residual present en la sortida del procés d'ED dificulta l'eliminació total de **microorganismes**, impeding assolir la qualitat necessària de l'aigua per a ser reutilitzada per ús animal.
5. La ozonització permetria obtenir, sota les condicions estudiades, un producte final amb qualitat suficient per ser reutilitzada com a **aigua de neteja** en les pròpies instal·lacions segons la normativa vigent.
6. El procés de **co-compostatge** de la fracció sòlida permetria obtenir un compost bioestabilitzat i apte per l'agricultura i evitaria el transport de la fracció concentrada del procés d'ED, reduint així part dels costos de gestió.
7. **L'estalvi econòmic**, tenint en compte la inversió inicial realitzada amb els tractaments proposats, només s'aconseguiria en el cas que el transport de l'efluent actual NDN hagués de ser transportat a més de 75 Km de distància respecte el punt d'origen.
8. L'anàlisi de cicle de vida mostra la **petjada de carboni** del tractament actual és inferior a la implementació de les tecnologies proposades i que aquestes tindrien el mateix impacte que la situació actual quan el transport superés els 18 km. En el cas d'utilitzar energies renovables com a font d'energia, aquesta petjada de carboni es reduiria notablement, i els escenaris serien equiparables en el cas de tenir la necessitat de transportar els efluentes a 9,3 Km.
9. Les tecnologies proposades on es retornés l'aigua a la llera o es reutilitzes per a usos de neteja, tindrien un impacte molt inferior sobre l'esgotament de **recursos hídrics**, reduint l'impacte gairebé en un 75%.

Líder del Grup Operatiu

ENTITAT: Granges Terragrisa SL

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

ENTITAT: Fundació Universitària Balmes (UVIC)

E-MAIL DE CONTACTE: sergio.ponsa@uvic.cat**Àmbit/s temàtic/s d'aplicació**

- Gestió de l'aigua
- Gestió de residus i subproductes

Àmbit/s territorial/s d'aplicació

PROVINCIA/ES: BARCELONA

COMARCA/QUES: OSONA

Difusió del projecte: publicacions, jornades, multimèdia... (Indicar enllaços)

Participació a la "Feria Internacional para la producción animal 2021 (FIGAN 2021, <https://www.feriazaragoza.es/figan-2021>) del dia 22 de setembre de 2021 a la ciutat de Saragossa. Ponència titulada "Implementación de tecnologías innovadoras para la recuperación de agua en el tratamiento de purín porcino".

Pàgina web del projecte

<https://betatechcenter.com/ca/projectes/study-of-the-water-cycle-in-pig-farms-and-development-of-new-methods-for-its-reuse/>

Altra informació del projecte

DATES DEL PROJECTE	PRESSUPOST TOTAL
Data d'inici: juliol 2019	Pressupost total: 135.761,91 €
Data final: setembre 2021	Finançament DACC: 54.151,05 €
Estat actual: Executat	Finançament UE: 40.850,79 €
	Finançament propi: 40.760,07 €

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 2014-2020.

Ordre ARP/133/2017, de 21 de juny, 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 ARP/1282/2018, de 8 de juny, 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