



Beta

Biodiversitat, Ecologia,
Tecnologia Ambiental i Alimentària



UNIVERSITAT DE VIC
UNIVERSITAT CENTRAL
DE CATALUNYA

Estratègies per promoure la recuperació i reutilització de l'aigua en la producció i el processament carni

Guia tècnica per l'assessorament en explotacions
ramaderes i indústries del processament carni





Biodiversitat, Ecologia,
Tecnologia Ambiental i Alimentària

Centre Tecnològic BETA
Universitat de Vic - Universitat Central de Catalunya
Edifici Can Baumann
Ctra de Roda, 70. 08500 Vic
+34 93 881 61 68
info.beta@uvic.cat
www.betatechcenter.com

Amb el finançament de:



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



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

"Activitat finançada a través de l'Operació 01.02.01 de Transferència Tecnològica
del Programa de desenvolupament rural de Catalunya 2014-2022"



Índex

	pàg.
1. Resum	4
2. Objectius	4
3. L'aigua i el sector agroalimentari	5
4. Origen i característiques dels efluent	10
5. Sistemes de tractament convencionals	11
6. Sistemes de tractament avançats	15
7. Casos pràctics	20
8. Conclusions i recomanacions	24
9. Bibliografia	25

1. Resum

Davant la voluntat d'avançar cap a un model d'economia circular i cap a la reducció substancial de la seva petjada hídrica, tant les explotacions ramaderes com el mateix sector carni comencen a plantejar-se el repte de la recuperació i reutilització de l'aigua en activitats dels seus processos productius. És important, doncs, determinar on i com s'utilitza l'aigua en el sector per a poder identificar possibles punts de captació per a la possible reutilització d'aigua tant en el procés productiu com en les explotacions ramaderes.

Donada la inexistència d'un marc legislatiu específic que estableixi els requisits mínims necessaris per garantir la qualitat de l'aigua recuperada a partir de les dejeccions ramaderes i les aigües residuals de la indústria càrnia durant el seu ús posterior com aigua reutilitzada, el sector agroalimentari s'enfronta al gran repte de demostrar la viabilitat tècnica que proporcionen les tecnologies avançades de tractament per assolir qualitats d'aigua comparables a les exigides en temàtica de reutilització d'aigües tractades procedents d'altres orígens (urbà).

El projecte "Ajudes a les activitats de demostració" ha permès al Centre Tecnològic BETA l'elaboració de la present guia tècnica d'assessorament a explotacions ramaderes i indústries del processament carni basada en els resultats i conclusions obtingudes en projectes de recerca i transferència de coneixement desenvolupats en col·laboració entre el CT BETA i indústries del sector agroalimentari i granges i, que han tingut com principal objectiu el tractament de les dejeccions ramaderes porcines, així com efluent procedents d'indústries del processament carni, per a la recuperació d'aigua amb un alt potencial per a poder ser reutilitzada.

Els casos pràctics presentats en la present guia tècnica d'assessorament permeten demostrar la viabilitat tècnica de l'aplicació de diferents tecnologies de tractament avançat per a obtenir aigües recuperades d'alta qualitat comparables amb els estàndards de qualitat establerts en la regulació referent a la reutilització d'aigües, siguin a escala industrial o per a la seva reutilització en el sector agrícola.

2. Objectius

L'objectiu principal de la present guia tècnica és transferir el coneixement generat en el CT BETA durant el desenvolupament de projectes de recerca i transferència de coneixement en termes de recuperació d'aigua en el sector ramader i del processament carni utilitzant tecnologies avançades. Així, aquesta guia permetrà:

- i) La selecció, implementació i validació de tecnologies avançades per a la recuperació d'aigua tant en explotacions ramaderes com en la indústria càrnia (processament carni i escorxadors).
- ii) Donar a conèixer a les empreses el ventall de tecnologies avançades disponibles al mercat per a la recuperació d'aigua i les seves eficiències de tractament.
- iii) Localitzar punts dins el sector ramader i el seu procés productiu amb major potencial per a la seva recuperació.
- iiii) Determinar els possibles usos de les aigües recuperades a partir dels purins i les aigües residuals de la indústria càrnia d'acord amb la normativa vigent.



3. L'aigua i el sector agroalimentari

3.1. Context actual

Catalunya s'enfronta a una sequera prolongada que va començar a la tardor del 2020 i afecta a més de la meitat del seu territori, amb un període continu de trenta-sis mesos de pluges per sota de la mitjana. Aquesta situació d'absència de precipitacions ha propiciat que els nivells dels embassaments hagin disminuït significativament especialment en les conques internes de Catalunya, experimentant un descens sostingut durant els últims anys i registrant mínims històrics en les dades disponibles.

El Pla Especial de Sequera, aprovat per la Generalitat de Catalunya per afrontar els episodis de sequera al territori català, estableix restriccions en el consum d'aigua per a diferents usos en funció de l'estat dels embassaments, sent necessari per usos industrials reduir el consum d'aigua un 15% en estat d'excepcionalitat (estat de les conques internes per sota el 25%) i un 25% en estat d'emergència (estat de les conques internes per sota el 16%), mentre per a usos ramaders la reducció dels consums d'aigua ha de ser del 30% i 50%, respectivament. Actualment, les indústries a Catalunya estan aplicant diferents mesures per reduir el consum d'aigua, principalment basades en l'optimització dels processos productius. Malauradament, necessiten implementar altres solucions amb més impacte per reduir els consums globals d'aigua i assolir amb les exigències establertes en aquest pla.

La reutilització d'aigua és una estratègia promoguda en l'àmbit europeu per a afrontar la situació d'estrès hídric. L'ús d'aigua regenerada (definida com a aigües residuals que han estat tractades en compliment dels requisits establerts en la Directiva 91/271/CEE i que resulten d'un tractament posterior en una estació regeneradora d'aigües) per a certes aplicacions (usos agrícoles, usos industrials, usos urbans, usos recreatius i usos ambientals) s'utilitza de manera habitual en alguns països de la Unió Europea i especialment en aquells situats a la regió mediterrània com Espanya, Itàlia, Grècia i França.

En general, l'aigua regenerada s'ha utilitzat principalment en agricultura (39%), sent el sector industrial el segon en la llista amb un 15% (www.water-reuse-europe.org/). Sobre la base de dades de l'any 2022, a Catalunya es va reutilitzar un 43% de les aigües residuals tractades (bé sigui de manera directa o indirecta) de les 550 depuradores existents al territori, que tracten un volum de 610 hm³ per any. D'aquest 43%, només un 12% es va reutilitzar de manera directa (71,2 hm³) (Figura 1). La depuradora del Prat de Llobregat, la més gran de Catalunya, és un dels exemples de reutilització d'aigua, ja que gairebé tot l'efluent de la depuradora es reutilitza de manera directa, bé sigui per a agricultura (Comunitat de Regants del Canal de la Dreta del Llobregat) o per a

ús ambiental (per a mantenir el cabal ecològic de l'últim tram del riu Llobregat). Amb l'objectiu d'incrementar els recursos hídrics de Catalunya i fomentar l'ús de l'aigua regenerada, l'Agència Catalana de l'Aigua ha presentat una estratègia d'ampliació i millora de les estacions depuradores catalanes per als pròxims anys, amb l'objectiu d'obtenir un cabal d'aigua regenerada de 431 hm³ per a l'any en 2040 (Agència Catalana de l'Aigua, 2023).

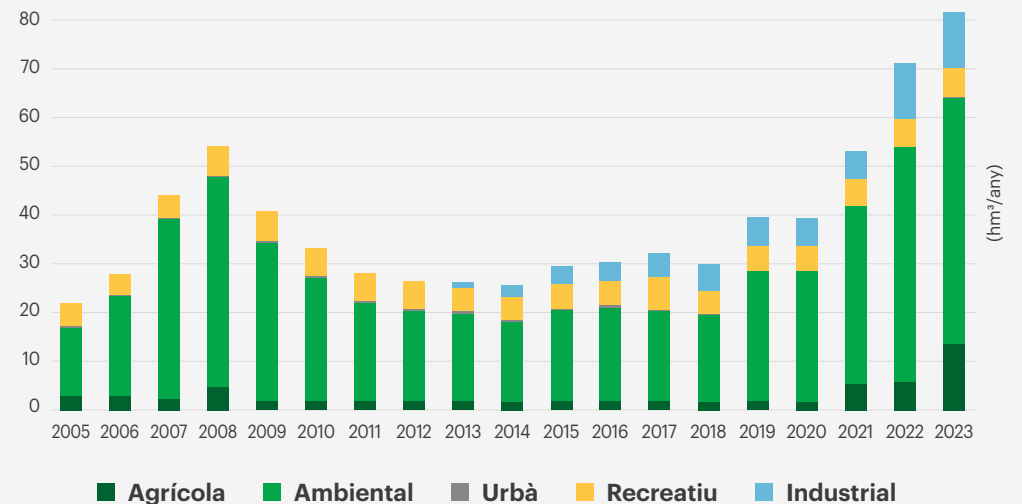


Figura 1: Reutilització de l'aigua a Catalunya (hm³/any). Font: Agència Catalana de l'aigua

El sector agroalimentari, incloent-hi el sector primari i la indústria de transformació, és una de les principals activitats econòmiques de Catalunya amb una facturació global anual per sobre de 48.231 M€ i que contribueix al 19% del PIB català. Dins del sector agroalimentari, la indústria càrnia ocupa la primera posició, ja que representa el 35% del volum de negoci del sector agroalimentari català (www.agricultura.gencat.cat). La disponibilitat d'aigua de qualitat és essencial per assegurar l'activitat econòmica del sector agroalimentari, i per tant, mantenir l'activitat econòmica de Catalunya, pel fet que l'aigua es requereix en la producció de tots els aliments i begudes. En aquest sentit, com a exemple, la petjada hídrica associada a la producció de carn de boví està entorn de 15.400 L/kg mentre que en el cas de la carn de porc està al voltant dels 5.990 L/kg (www.waterfootprint.org).

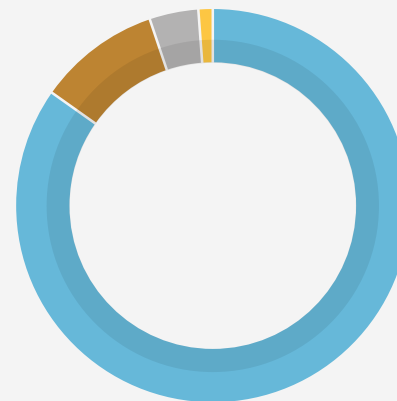
3. L'aigua i el sector agroalimentari

3.2. Consum d'aigua en explotacions ramaderes i indústries del sector carni

Generalment, les explotacions porcínes destinen l'aigua per diferents activitats dintre de la granja com l'abeurament dels animals, neteja de les instal·lacions, sistemes de refrigeració i higiene del personal de la granja (Figura 2).

És important destacar que no es disposa d'un registre de consums de l'ús directe de l'aigua en les explotacions porcínes, fet que dificulta l'estimació del volum total d'aigua amb un potencial per a ser recuperat a partir del tractament dels purins. Tanmateix, es podria estimar el consum d'aigua global a les explotacions ramaderes catalanes considerant les capacitats màximes de les explotacions ramaderes porcínes catalanes sobre la base de dades del Departament d'Acció climàtica, Alimentació i Agenda Rural i la demanda d'aigua segons la fase productiva porcina (Babot et. al., 2020). Així doncs, d'acord amb les dades disponibles, s'estimaria un consum màxim anual entorn de 78 hm³ a les explotacions ramaderes porcínes a Catalunya.

Tot i que el volum d'aigua consumida, majoritàriament, és destinat a l'abeurament dels animals, hi ha una petita part emprada per a tasques de neteja. Aquestes principalment consisteixen en dur a terme una higienització de les naus mitjançant aigua a pressió. Aquest volum d'aigua representaria entorn de 3,5% del consum total que poden tenir les explotacions ramaderes porcínes (Babot et. al., 2020), que traduït en volum d'aigua, suposarien uns 2,3 hm³ de la totalitat de l'aigua consumida en les explotacions ramaderes porcínes catalanes per any. És doncs en aquesta activitat que es podria considerar la reutilització de les aigües recuperades a partir del tractament de les dejeccions ramaderes, sempre que s'assegures la seva qualitat i seguretat tant per la salut humana com per animals en l'aplicació d'aquestes i donat que l'activitat no requeriria la qualitat màxima d'aigües potables per a l'execució de les tasques de neteja.



(Figura 2)

Distribució de consums aigua en explotacions porcínes (cicle tancat)

■ Abeuradors	80,8%
■ Refrigeració	14,6%
■ Neteja instal·lacions	3,5%
■ Altres	1,1%



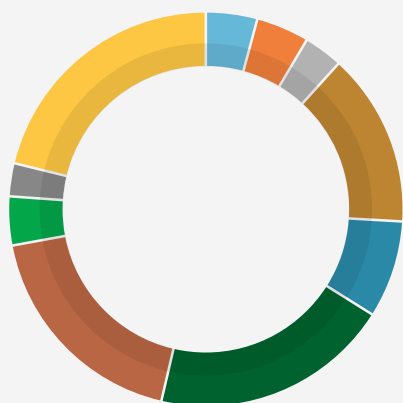
3. L'aigua i el sector agroalimentari

Un cop finalitzades les activitats en la producció porcina a les explotacions ramaderes, les indústries de processament carni també són alts demandants d'aigua. Els escorxadors de bestiar porcí consumeixen fins a 550 litres d'aigua per cap d'animal sacrificat, els quals són destinats principalment al rentat de canals i rentatge i higienització dels equips, així com de les mateixes instal·lacions (Figura 3).

Malgrat això, hi ha un part de l'aigua consumida en escorxadors amb un alt potencial per a ser recuperada i reutilitzada en activitats destinades fora del procés productiu (sense estar en contacte amb els productes carnis) com ara neteja de camions i neteja de corrals on, sempre assolint els paràmetres normatius, no es requeririen les màximes qualitats relatives a l'aigua potable i sempre assegurant que no hi ha cap tipus de risc per a la salut humana, salut animal o medi ambient. En aquest sentit, considerant la producció de carn de porcí en Catalunya (22.058.846 caps l'any 2023), el consum d'aigua en escorxadors estimat seria de 12 hm³/any. Si identifiquem aquelles activitats en el procés productiu que no requereixen la màxima qualitat de l'aigua (assimilable a aigua potable) donat que no es troben en contacte amb el producte (tasques de neteja de camions i corralines), ens trobaríem amb un potencial de reutilització de l'aigua recuperada destinada a aquestes activitats fins a un 15% del consum global dels escorxadors i sales de processament carni, que traduït en volum d'aigua equivaldria a uns 1,8 hm³.

(Figura 3)

Consum d'aigua (en percentatge) en la línia de processament del bestiar porcí (IPPC, 2005)



■ Rentat de vehicles	5%
■ Establució	5%
■ Escaldat	3%
■ Tractament de cotna	14%
■ Especejament	9%
■ Preparació de visceres	20%
■ Netejes	18%
■ Refrigeració	5%
■ Calderes	2%
■ Altres	23%



3. L'aigua i el sector agroalimentari

3.3. Marc normatiu

Davant l'absència d'una normativa que, específicament, reguli els requisits mínims necessaris per garantir la qualitat de l'aigua recuperada a partir de les dejeccions ramaderes i les aigües residuals de la indústria càrnia durant el seu ús posterior, avui el punt de mira està posat a les legislacions europea i espanyola sobre reutilització d'aigües residuals regenerades amb la finalitat d'assegurar que l'aigua recuperada a partir de les dejeccions ramaderes i el tractament de les aigües residuals de la indústria càrnia compleixi, com a mínim, els paràmetres definits en aquestes legislacions per a aigües residuals regenerades d'origen urbà a l'àmbit europeu (Reglament UE 2020/741) i, urbà i/o industrial a l'àmbit estatal (Reial decret 1620/2007 i Reial decret llei 4/2023), així com en futures regulacions sobre reutilització de l'aigua que actualment s'estan revisant tals com el Projecte de Reial Decret pel qual s'aprova el reglament de reutilització de les aigües de novembre de 2023 a l'àmbit estatal.

Per una banda, el Reglament europeu 2020/741 estableix els requisits mínims per a la reutilització de l'aigua urbana regenerada. Aquest document pretén garantir de manera segura, l'ús de les aigües regenerades per al reg agrícola, assegurant un alt nivell de protecció no sols pel medi ambient, sinó que també per a la salut animal i humana.

Donada l'actual i alarmant situació de sequera, a més de l'agreujament de les condicions del sector primari, ha estat necessari adoptar mesures de caràcter urgent en matèria d'aigües per tal de donar resposta a l'escenari actual. És doncs quan s'aprova el Reial Decret llei-4/2023, un nou marc legal de la reutilització de les aigües, adoptant el règim jurídic espanyol de la reutilització de les aigües en usos agrícoles (RD 1620/2007) al reglament europeu (EU 2020/741) i establint un marc idoni per impulsar i promoure l'economia circular basada en el recurs hídric. Aquesta nou RD només afecta els criteris establerts per a usos agrícoles.

Per altra banda, el RD 1620/2007 estableix la normativa bàsica en la matèria definint els criteris de qualitat així com els usos permesos de l'aigua regenerada i fixant tots aquells requisits administratius per tal d'obtenir els permisos necessaris per a la seva reutilització. A més l'actual normativa estableix els valors màxims admissibles dels paràmetres en funció dels usos previstos al que està destinada l'aigua regenerada, diferenciant així cinc tipologies d'ús: urbà, industrial, recreatiu, ambiental i agrícola (Derogat pel Reial Decret llei-4/2023).

(Taula 1)

Resum dels valors límits acceptables d'acord als usos de l'aigua tractada regenerada

Paràmetres	RD 1620/2007		Reglament 2020/741
	Aigües de procés i neteja a la indústria alimentària	Torres de refrigeració o condensadors evaporatius	Agrícola
DBO ₅ (mg/L)	No definit	No definit	A* ≤ 10 B*, C*, D* ≤ 25
Sòlids suspensió totals (mg/L)	35	5	A* ≤ 10 B*, C*, D* ≤ 35
Terbolesa (NTU)	--	1	A* ≤ 5
Legionel·la spp. (UFC /L)			< 1000
Nemàtodes intestinals (ou /L)	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Salmonel·la	Absència	No definit	No definit
Escherichia coli (UFC/100 mL)	1000	Absència	A* ≤ 10 B* ≤ 100 C* ≤ 1000 D* ≤ 10000

* A) Contacte directe amb aliments crus; (B) Contacte no directe amb aliments crus; (C) Contacte no directe amb aliments crus per reg per degoteig; (D) Cultius destinats a indústria o energia.

3. L'aigua i el sector agroalimentari

3.4. Reptes i oportunitats per al sector carni en relació a la reutilització d'aigua

La recuperació d'aigua a partir del tractament de les dejeccions ramaderes i el tractament de les aigües residuals generades a la indústria càrnia és una opció que està guanyant interès especialment en regions sotmeses a estrès hídric on la identificació de recursos hídrics alternatius a l'aigua dolça (ex. embassaments, aqüífers) és clau per garantir la disponibilitat i qualitat d'aigua. Això podria permetre que les indústries del sector agroalimentari, així com altres sectors altament dependents de l'aigua com l'agricultura, no vegin afectada la seva activitat productiva per restriccions en el consum d'aigua en episodis d'absència de precipitacions i sequera.

Des del punt de vista tècnic s'ha demostrat que existeixen tecnologies que presenten alts rendiments per recuperar aigua d'alta qualitat a partir del tractament de la fracció líquida de les dejeccions ramaderes i les aigües residuals generades a les indústries del sector carni. Tot i això, l'origen de l'aigua recuperada és una barrera que a hores d'ara en limita la reutilització en diferents aplicacions tant industrials com agrícoles des d'una perspectiva legal. En aquest sentit, l'establiment dels requisits mínims necessaris per a la reutilització de l'aigua recuperada a partir de les dejeccions ramaderes i el tractament de les aigües residuals generades a la indústria càrnia en funció de l'ús previst (ex. aigua de procés i neteja en indústries del sector agroalimentari i granges, sistemes de refrigeració i regadiu en agricultura) és una tasca pendent de desenvolupar-se tant a la legislació europea, espanyola com catalana.



4. Origen i característiques dels efluentes

Un cop identificades les possibles tasques amb major potencial per a poder fer un ús de les aigües recuperades en granges i indústries del sector carni, és important conèixer quina tipologia d'efluent s'originen en cada una de les instal·lacions. La naturalesa d'aquests efluentes (dejeccions ramaderes porcines o aigües residuals d'escorxador) determinarà la tipologia del sistema de tractament que permeti la recuperació d'aigua amb potencial per a ser reutilitzat.

Les dejeccions ramaderes porcines es defineixen com aquell material sòlid i/o líquid excretat pel bestiar, o la barreja d'aquestes amb el llit i altres materials (palla i restes de menjar) i l'aigua subministrada als animals. Les dejeccions es caracteritzen per tenir un elevat contingut d'aigua (85-95%) i de nutrients (nitrogen, fòsfor i potassi) i micronutrients. La composició d'aquestes pot ser molt variable, ja que dependrà de factors com: el tipus d'alimentació dels animals, la tipologia dels abeuradors de les diferents pràctiques en les neteges de les instal·lacions, el cicle vital dels animals i de les condicions estacionals.

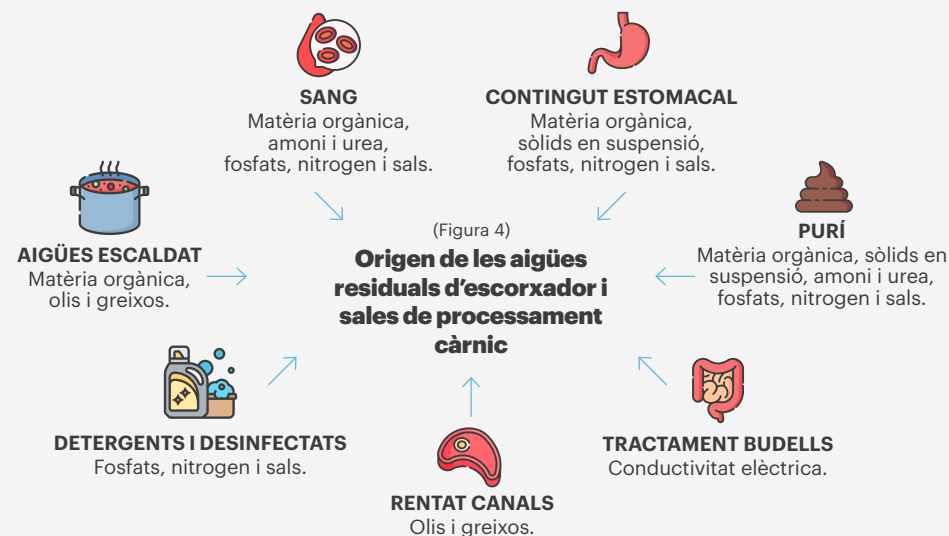
(Taula 2)

Composició dels purins porcins (sobre matèria fresca) (Generalitat de Catalunya 2024)

PARÀMETRES	Unitat (g/Kg)
Sòlids Totals	13-169
Demanda Químic d'Oxigen (DQO)	8-191
Nitrogen total Kjeldahl (NTK)	2 -10
Nitrogen amoniacal (N-NH ₄ ⁺)	1,6 - 8
Fòsfor	0,1 - 6,5
Potassi	1,6 - 7,8
Coure	0,009 - 0,19
Zinc	0,007 - 0,13

L'aplicació al sòl de les dejeccions ramaderes les converteix en uns bons fertilitzants per retornar aquests nutrients (principalment nitrogen) al sòl. Malauradament, cada cop es disposa de menys superfície agrària útil per aplicar aquestes dejeccions en aquelles zones generadores d'excedent de nitrogen. Aquest fet fa que es requereixi una exportació de les dejeccions a aquelles àrees deficitàries de nitrogen, però l'alt contingut en aigua, fa que aquesta estratègia sigui molt costosa i poc eficient. Davant aquest escenari, el tractament de les dejeccions agafa especial rellevància, ja no només per concentrar els nutrients en volums de dejeccions més petits, sinó que també obre la possibilitat d'obtenir aigua amb potencial de ser recuperat i poder ser reutilitzat un cop dut a terme els tractaments necessaris.

Per altra banda, els escorxadors i les sales de processament carni, utilitzen una gran quantitat d'aigua per les operacions en el processament i neteja, donant lloc a la generació de les aigües residuals. La presència de determinades substàncies en aquestes aigües influeix en la composició d'aquesta com per exemple la sang, les aigües d'escaldat i els continguts estomacals augmenta el contingut de matèria orgànica de l'efluent, la preparació de budells incrementa la conductivitat donat a l'ús de sals per a la conservació o els purins augmenten el contingut de compostos nitrogenats, matèria orgànica, sòlids en suspensió i sals (Figura 4).



(Taula 3)

Principals característiques de les aigües residuals d'escorxador (IPPC, 2005)

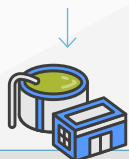
PARÀMETRES	Unitat (mg/Kg)
Nitrogen Total	40-300
Carboni Orgànic Dissolt	1000-5000
Demanda química d'oxigen (DQO)	500-2500
Sòlids en Suspensió Totals	1000-2000
pH	6-9

5. Sistemes de tractament convencionals

Els sistemes convencionals pel tractament de les dejeccions ramaderes i dels efluent precedents dels escorxadors i sales de processament carni són implementats amb un únic objectiu, el de reduir la càrrega contaminant dels diferents efluent residuals. Per una banda, els tractaments convencionals aplicats a les dejeccions ramaderes han estat destinats a reduir el volum d'aquestes per facilitar el seu maneig i transport i, per altra banda, reduir el contingut de nitrogen, especialment en aquelles explotacions localitzades en zones declarades vulnerables per nitrats.

En el cas dels tractaments de les aigües residuals dels escorxadors tenen per objectiu principal reduir la càrrega de matèria orgànica i nutrients, principalment, per tal de complir amb valors màxims admissibles per poder abocar a col·lector públic.

Efluent líquids escorxadors i processament carni



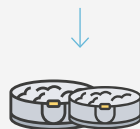
TRACTAMENT FÍSIO-QUÍMIC
I BIOLÒGIC (EDAR INDUSTRIAL)



Efluent tractat



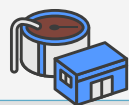
Dejeccions Ramaders porcines



SEPARACIÓ
SÓLID-LÍQUID



Fracció líquida



NITRIFICACIÓ/
DESNITRIFICACIÓ



Efluent tractat



DIGESTIÓ
ANAERÒBICA



Digestat



5. Sistemes de tractament convencionals

5.1. Tractament convencional de les dejeccions ramaderes porcines

Si ens centrem en el tractament de les dejeccions que permeti l'obtenció d'una fracció líquida amb potencial per a ser utilitzada com a precursor per a la recuperació d'aigua, la separació sòlid-líquid i procés biològic de nitrificació-desnitrificació són considerades les principals tecnologies per a la gestió in situ de les dejeccions.

5.1.1. Separació sòlid-líquid

La tecnologia basada en un procés físic, permet separar part dels sòlids presents en el purí i obtenir una fracció sòlida i una fracció líquida. Les tecnologies de separació es classifiquen d'acord amb la tipologia del mecanisme pel qual es duu a terme aquesta separació. Així doncs, a grans trets es diferencia els sistemes per gravetat, per pressió i per centrifugació.

L'ús de cada una de les tecnologies permetrà obtenir rendiments de separació diferents, fet que tradueix en qualitats de fracció líquida diferents, és a dir, sistemes més eficients de separació donaran lloc a l'obtenció de fraccions líquides amb menys càrrega de sòlids, nutrients i metalls. Addicionalment, i per tal d'incrementar l'eficiència de separació d'aquests mecanismes, es pot fer ús de l'addició d'agents químics com coagulants i floculants els quals permeten augmentar la mida i densitat de la matèria orgànica col·loidal i particulada present en el purí, afavorint la seva separació del líquid. Així sistemes més eficients de separació permeten obtenir fraccions líquides amb menys càrrega orgànica i contaminant, fet que potencia la possible recuperació de l'efluent líquid per al seu posterior tractament i obtenció d'aigua regenerada.

Com a resultat final, les tecnologies de separació generen: (i) una fracció sòlida, amb un 20-40% de matèria sòlida i rica en matèria orgànica recalcitrant, Ca, Mg i P; i (ii) una fracció líquida, amb un contingut de matèria sòlida entre un 1-8%, i que conté les espècies de nitrogen, fòsfor i potassi solubles.



Figura 4. Imatge d'un separador sòlid-líquid.

5.1.2. Sistemes biològics: nitrificació – desnitrificació

Els sistemes de nitrificació-desnitrificació són sistemes biològics que s'utilitzen amb l'objectiu d'eliminar el nitrogen present en la fracció líquida de les dejeccions ramaderes per mitjà de microorganismes nitrificants i desnitrificants. Generalment, aquests sistemes es disposen en les explotacions ramaderes per al tractament de la fracció líquida del purí, resultant d'un procés previ de separació sòlid-líquid.

El procés de nitrificació-desnitrificació consisteix en dues etapes. La primera etapa del procés és la nitrificació durant la qual el nitrogen amoniacal s'oxida a nitrat sota condicions aeròbies. La segona etapa permet reduir el nitrat a nitrogen gas en absència d'oxigen. És d'aquesta manera que s'aconsegueix eliminar entre un 50% i un 70% del nitrogen amoniacal present en el purí en un únic sistema.

5. Sistemes de tractament convencionals



Figura 5. Imatge d'un reactor nitrificació-desnitrificació.

5.1.3. Digestió anaeròbia

La digestió anaeròbia és un procés biològic en què la matèria orgànica biodegradable es degrada o descompon en absència d'oxigen mitjançant microorganismes específics que produeixen biogàs. Aquest està compost principalment de metà i diòxid de carboni, el que en permet l'aprofitament energètic. El procés també produeix un material orgànic anomenat digestat. El digestat té un alt contingut en aigua i conté altes concentracions de matèria orgànica i de nutrients (Taula 4). Es considera un material estable i parcial o totalment higienitzat, depenent de la configuració del procés. Donades aquestes característiques, el digestat pot ser destinat en molts casos a usos agrícoles per tal d'augmentar el rendiment dels cultius i millorar la qualitat del sòl. Malgrat això, l'alt contingut en aigua que caracteritza el digestat propicia que la implementació de tecnologies de tractament avançades que puguin permetre que el seu tractament siguin d'alt interès, amb el doble objectiu de concentrar els nutrients i poder obtenir un efluent líquid de menor càrrega i amb un alt potencial per a ser reutilitzat.



Figura 6. Imatge d'una planta de digestió anaeròbia.

(Taula 4)

Característiques del digestat (Reuland et. al. 2021)

PARÀMETRES	Valor (rang/mitjana)	Unitat
Matèria seca	8 - 174	g/kg digestat
pH	8	-
Carboni orgànic total	340	g/kg matèria seca
Nitrogen total	6 - 367	g/kg matèria seca
NH4-N (amoni)	13 - 228	g/kg matèria seca
Coure	8,6 - 1682	mg/kg matèria seca
Zenc	0,2 - 3685	mg/kg matèria seca

5. Sistemes de tractament convencionals

El tractament convencional de les aigües residuals generades en els escorxadors i/o sales de processament carni es duen a terme mitjançant processos físico-químics i biològics també anomenats tractament primari i secundari, respectivament. El principal objectiu del primer és reduir i/o eliminar paràmetres lligats a la presència de matèria orgànica com la DBO i la DQO i a presència de sòlids en suspensió i greixos. Per tal de reduir dita càrrega en l'efluent en una primera etapa, són utilitzats processos físico-químics: el desbast, la flotació i coagulació-floculació.

La primera etapa de tractament de les aigües residuals consisteix en un desbast realitzat generalment per reixes o tamisos rotatius amb l'objectiu de retenir aquells sòlids més gruixuts continguts en l'efluent amb diàmetres superiors als 25 mm aproximadament.

Els sistemes de flotació són utilitzats per separar els sòlids en suspensió, olis i greixos de l'efluent a tractar. Per tal de dur a terme aquest procés, s'injecta aire des del fons del tanc per facilitar el transport dels sòlids més lleugers i partícules hidròfobes a la superfície, on aquestes seran retirades periòdicament en forma d'escumes. Per tal d'afavorir aquesta flotació en alguns casos es poden addicionar reactius químics per millorar el procés.

La coagulació-floculació té com a objectiu eliminar aquelles partícules col·loïdals i de baixa densitat presents en l'efluent que no han pogut ser retirades en la primera etapa de flotació. En aquesta etapa es fa ús de reactius químics denominats coagulants i floculants. L'addició d'agents coagulants, generalment sals d'alumini o ferro, permet neutralitzar les forces repulsives entre les partícules en suspensió, formant agregats generalment més petits i amb major densitat. Posteriorment, l'addició de floculant permetrà que aquests agregats formin flòculs de major densitat que permetran la seva sedimentació. Els processos de coagulació-floculació permeten obtenir altes eficiències d'eliminació de sòlids en suspensió al voltant del 95-99%.

Tot i les altes eficiències dels tractaments primaris, hi ha present a l'efluent una alta càrrega de matèria orgànica que requereix ser eliminada, generalment per tractaments biològics també anomenats tractament secundari. Així doncs, en aquesta etapa la matèria orgànica és oxidada per l'acció de microorganismes sota condicions aeròbies i aquesta pot dur-se a terme per mitjà de diferents configuracions i condicions operacionals. El més habitual és la implementació de sistemes de llots actius per a la degradació de la matèria orgànica i reactors de nitrificació-desnitrificació per a l'eliminació de nitrogen.

La implementació d'aquest tren de tractament convencional en els escorxadors i sales de processament carni permet a les instal·lacions obtenir una qualitat dels efluent final tractats per a ser abocats a col·lectors públics per al seu posterior tractament en estacions d'aigües residuals urbanes EDAR. Així doncs, els efluent de sortida compleixen amb els límits establerts d'abocament pel Decret 130/2003 sobre el Reglament dels serveis públics de sanejament. És precisament aquest Decret que limita i defineix aquells paràmetres físico-químics tractables a les EDAR i amb un impacte poc significatiu sobre els objectius de qualitat del medi receptor (pH, conductivitat, matèria en suspensió, DQO, DBO₅, nutrients, etc.) i, per altra banda, aquells paràmetres contaminants difícilment tractables a les EDAR i amb significatiu impacte sobre els objectius de qualitat del medi receptor (majoritàriament metalls, matèries inhibidores, etc).

Si ens focalitzem en aquells paràmetres que poden ser limitants a l'hora de poder promoure la reutilització de les aigües residuals tractades (sòlids en suspensió, terbolesa, patògens), els valors establerts per al seu abocament a col·lector són superiors als definits per la normativa vigent en reutilització d'aigües tractades. Així doncs, són necessàries tecnologies avançades que permetin obtenir efluent tractats de major qualitat i que compleixin amb els límits establerts per la normativa vigent de reutilització, per a poder considerar-se com aigua regenerada i amb potencial per a ser reutilitzada en aquesta tipologia d'instal·lacions.

6. Sistemes de tractament avançats

Es disposa d'un ampli ventall de tecnologies avançades per al tractament d'efluents líquids amb l'objectiu d'obtenir aigua de qualitat amb potencial per a ser reutilitzada. A continuació es presenten els processos de tractament d'efluents líquids d'aigua més emprats en el sector ramader així com en la indústria càrnia: processos basats en membranes, processos biològics avançats i processos de desinfecció.

6.1. Processos de membranes

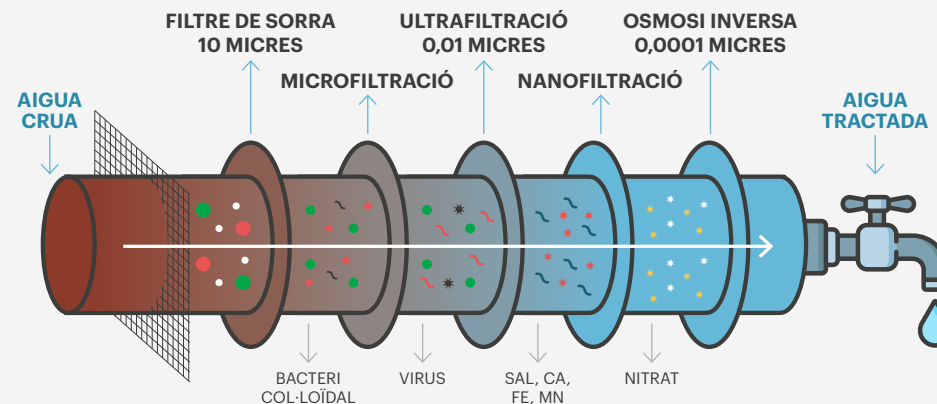
Aplicació: Fracció líquida de dejeccions ramaderes, fracció líquida de digestat, efluents líquids procedents d'escorxador i sales de processament carni.

Descripció de la tecnologia: Els processos de membrana es basen en la filtració de l'efluent a tractar per mitjà de membranes que actuen com a filtre, deixant passar uns components i retenir-ne uns altres. D'aquesta manera, de l'efluent a tractar s'obté un permeat i un concentrat. Per una banda, el permeat serà la part de l'efluent tractat que ha travessat la membrana i, per altra banda, el concentrat la part restant de l'efluent que ha concentrat les substàncies que no han travessat la membrana.

Els processos basats en membranes es classifiquen en funció a la mida de porus de les membranes, les quals determinaran la tipologia de compostos o substàncies retingudes per aquestes. A la Taula 5 es mostra les diferents tipologies de filtració per membranes i els contaminants/impureses retingudes segons el diàmetre de porus de cada una d'elles i el percentatge d'aigua recuperada mitjà que permet cada una de les membranes.

Figura 7.

Esquema funcionament procés de membranes



Taula 5.

Classificació dels processos basats en membranes (Generalitat de Catalunya, 2024)

Tecnologia	Diàmetre porus	Pressions (bar)	Impureses eliminades	% recuperació d'aigua
Microfiltració	0,1 – 10 µm	0,1 - 5	Bactèries i sòlids en suspensió	60-70
Ultrafiltració	0,01 – 0,1 µm	1 - 10	Alguns virus, bacteris i sòlids en suspensió	70 - 80
Nanofiltració	1 nm – 0,01µm	5 -20	Majoria de virus, matèria orgànica i algunes sals minerals	75 - 80
Osmosis inversa	< 1 nm	10 – 100 --	Tots els compostos orgànics i virus i majoria de sals minerals	80 - 85

6. Sistemes de tractament avançats

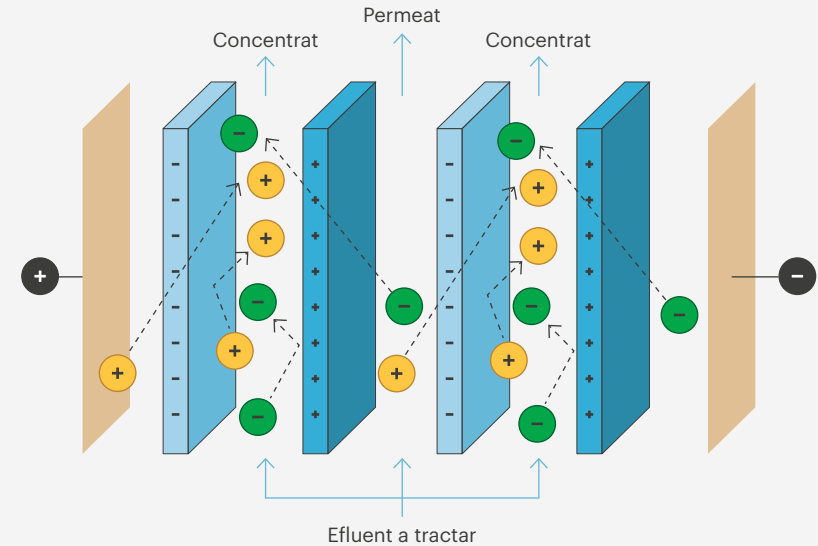
Donat que les membranes amb menor diàmetre de porus poden patir problemes d'embrutiment, reduint l'efectivitat de separació d'aquestes i incrementant el cost energètic del procés, els sistemes de membranes requereixen generalment sistemes de pretractament com processos de coagulació-floculació seguit de filtres de sorra o sistemes de decantació com flotadors amb la principal funció de reduir el contingut de partícules sòlides de l'efluent d'entrada al sistema de membranes.

Els processos de membranes com l'osmosi inversa i l'electrodiàlisi són els sistemes que permeten recuperar l'aigua de puresa més alta donat que tots els compostos orgànics, virus i majoria de sals queden retinguts gràcies a la seva estreta mida de porus. Tot i que les dues tecnologies són emprades amb el mateix objectiu el mecanisme de separació donat que en l'osmosi inversa es realitza per pressió (10 -100 bar) mentre que en l'electrodiàlisi la separació de les sals principalment presents en el líquid es realitza per mitjà de l'aplicació d'una diferència de potencial elèctric entre un ànode i un càtode (Figura 9).



Figura 8. Imatge d'una planta de tractament d'osmosi inversa.

Figura 9. Esquema del funcionament d'una pila de electrodiàlisi



6.2 Bioreactors de membrana

Aplicació: Aigües residuals generades en escorxadors i indústries de processament carni.

Descripció de la tecnologia: El bioreactor de membrana, normalment denominat MBR pel seu acrònim en anglès (Membrane BioReactor), és una tecnologia aplicada per a la degradació biològica de la matèria orgànica i nitrogen en condicions aeròbiques, la qual permet obtenir un permeat d'alta qualitat en termes de sòlids en suspensió i patògens per la integració d'una membrana, normalment d'ultrafiltració (0,01-0,1 μm), que actua com una barrera física per a aquests contaminants retinent-los en el licor mixt.

Els principals avantatges del MBR en comparació amb els sistemes convencionals de fangs activats són la seva major compactació i menor producció de llots. Per als bioreactors de membrana, hi ha dues configuracions relacionades amb la posició de la membrana: i) membrana submergida dins del bioreactor i, ii) membrana externa acoblada al bioreactor.



Figura 10. Imatge d'un bioreactor de membranes

6. Sistemes de tractament avançats

6.3. Processos de desinfecció

Els tractaments de desinfecció tenen com a objectiu principal d'higienitzar, és a dir, l'eliminació de microorganismes nocius (virus, bacteris fongs, etc.) que, els tractaments primaris i secundaris de les aigües residuals, no han estat capaços d'assolir la seva completa eliminació. Existeix un ampli ventall de tecnologies per assolir dit objectiu, on l'elecció de cada una vindrà determinat en funció de diversos factors:

- Tipologia i eficiència dels tractaments previs als processos de desinfecció per tal que aquests siguin portats a terme de manera satisfactòria
- Tipus d'agent patògen específic que cal eliminar
- Quantitat i qualitat d'aigua a tractar
- Formació de subproductes perillosos
- Facilitat de manipulació, seguretat i emmagatzematge
- Costos operacionals totals i de manteniment.

Els processos de desinfecció per mitjà de l'ozó i la radiació UV són actualment les estratègies més implementades per la higienització d'efluents líquids procedents del sector ramader o agroindustrial (escorxadors) (Taula 6).

(Taula 6)

Propietats de les estratègies de desinfecció (EPA, 2011)

CONSIDERACIONS	Ozonització	Radiació UV
Complexitat de la tecnologia	Alta	Mitja
Seguretat	Mitja	Baixa
Inactivació de bacteris	Alta	Alta
Inactivació de virus	Alta	Mitja
Inactivació de protozois	Alta	Alta
Producció sub-productes	Mitja	Cap
Intensitat d'operació i gestió	Alta	Mitja

6.3.1. Ozonització

L'ozonització permet oxidar aquella matèria orgànica encara present en l'aigua de sortida de certes estacions depuradores d'aigües residuals i inactivar microorganismes, fet que disminueix o elimina la càrrega de patògens presents en l'aigua.

El procés d'ozonització es porta a terme per dues vies de reacció: i) la reacció directa de les molècules d'ozó amb els contaminants i, ii) per la descomposició d'aquestes molècules per formar radicals hidroxils que oxidaran els contaminants. Així, els radicals hidroxils són potents oxidants dels compostos orgànics, tot i que la seva completa mineralització (conversió a aigua i diòxid de carboni) és pràcticament impossible donat que s'originen productes de transformació. A més, cal destacar la no selectivitat del radical hidroxil, és a dir, aquest pot reaccionar amb el carboni orgànic dissolt o substàncies inorgàniques com sulfats, nitrats o carbonats, fet que origina una pèrdua en l'eficiència d'oxidació per la matèria orgànica durant el procés.



Figura 8. Imatge d'una planta de tractament d'osmosi inversa.

6. Sistemes de tractament avançats

6.3.2. Radiació ultraviolada

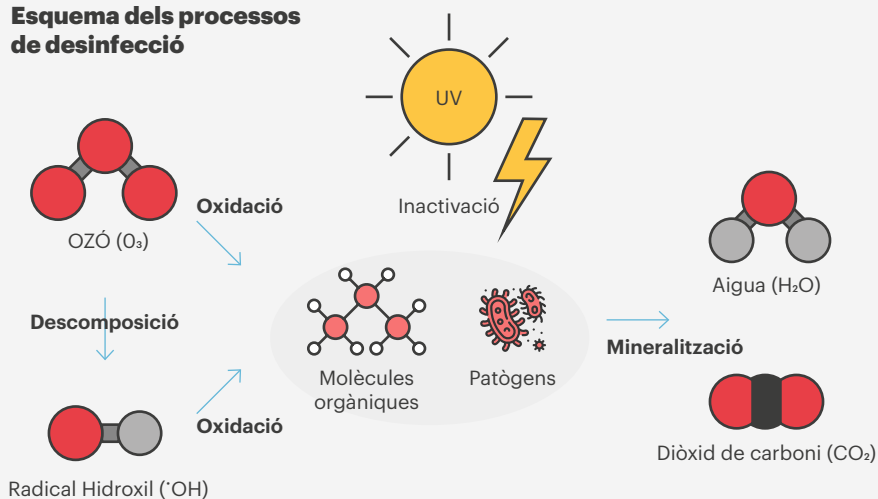
La radiació UV transfereix l'energia electromagnètica d'una làmpada de mercuri al material genètic d'un organisme. Un cop la radiació UV penetra en la paret cel·lular dels microorganismes, destrueix la capacitat de reproducció de la cèl·lula (inactivació).

L'efectivitat de la radiació UV i dels sistemes de desinfecció en general, dependrà de les característiques de l'aigua residual a tractar, la intensitat de la radiació UV i de la càrrega microbiana que contingui l'efluent, però, principalment l'efectivitat es trobarà directament relacionada amb la concentració de substàncies dissoltes en l'aigua, ja que aquestes absorbiran la radiació UV i impediran que la llum passi a través de l'aigua. Principalment, els contaminants dissolts que donen lloc a reduir l'efectivitat del procés és el ferro, els nitrats i la matèria orgànica. Així, els costos de la implementació de sistemes de desinfecció per radiació UV poden veure's significativament incrementats per aquells efluentes amb una concentració de sòlids en suspensió superiors a 20 mg/L.

Així doncs, és d'alta rellevància que l'efluent a tractar per tecnologies d'oxidació avançada com són la radiació UV i l'ozonització hagin estat sotmeses prèviament a tractaments per a l'eliminació de compostos no desitjats que redueixin l'efectivitat d'aquest.

Figura 12.

Esquema dels processos de desinfecció



Les tecnologies avançades descrites en aquesta guia han estat objecte d'estudi en el camp científic, on la seva aplicabilitat ha estat enfocada a la recuperació d'aigua de qualitat amb potencial per a ser reutilitzada (Taula 7). Tot i que multitud d'estudis científics apliquen tecnologies avançades per al tractament d'aquesta tipologia d'efluents (purí porcí, digestat i aigües residuals d'escorxador), gairebé la totalitat té el punt de mira sobre la recuperació de nutrients amb aquestes aplicacions i, per tant, en la majoria de casos, no es disposa de dades en termes de la qualitat d'aigua obtinguda emprant aquests processos de tractament. Així doncs, avui dia, falta profunditzar en estudis focalitzats en la recuperació d'aigua amb el clar objectiu d'obtenir aigua de qualitat per al seu ús potencial com a aigua reutilitzada en l'àmbit industrial, en l'agro-alimentari o en explotacions ramaderes.

Taula 7.

Resum de la cerca bibliogràfica de tecnologies avançades aplicades a la recuperació d'aigua a partir de purins porcíns i aigües residuals d'escorxadors.

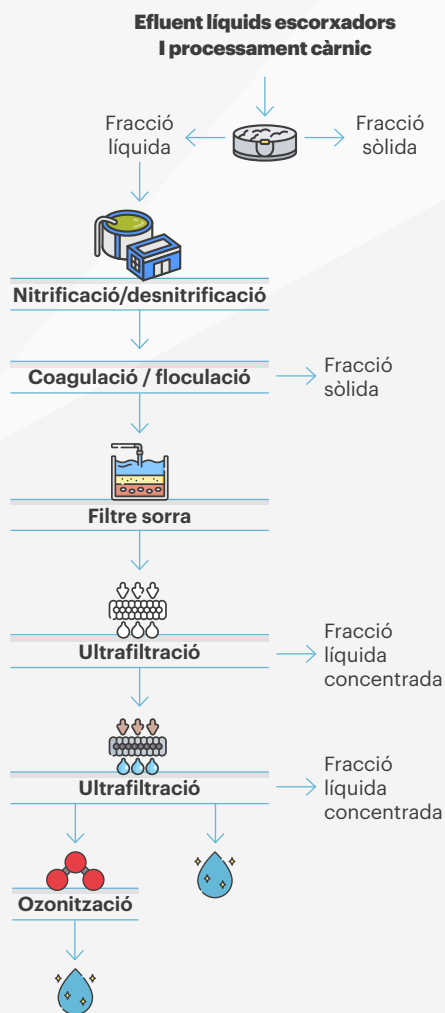
Tipologia efluent	Tecnologia convencional / Pre-tractament	Tecnologia avançada	% Reducció				% Aigua Recuperada	Cost aproximat €/m ³	Referència
			SST	Terbolesa	Patògens	Altres			
Purí porcí	Separació S/L (centrífuga)	UF + NF	n.d	n.d	n.d	DBO5 > 99,9	33	n.d	Konieczny et. al., 2011
Purí porcí	Acidificació	MF + OI	> 99,9	n.d	n.d	NTK = 85,5	77	7	Pieters, et. al., 1999
Purí porcí	Separació S/L (filtre premsa + tamís vibratori)	OI	> 99,9	n.d	n.d	NTK > 99,9	48	4,3	Herrera, et.al., 2023
Purí porcí	No disposa	MF + NF	n.d	n.d	n.d	NTK > 60%	30	n.d	Samanta, et.al., 2022
Purí porcí	Separació S/L (tambor rotatiu) + biològic + ajust pH	Radiació UV	n.a	n.a	>99	--	100	n.d	Bilotta, et. al., 2017
Purí porcí	Separació S/L (centrífuga)	Radiació UV Ozó	n.a	n.a	>99	--	100	n.d	Macauley, et. al., 2006
Digestat	Separació S/L (Hidrocicló)	UF + OI	99,7	n.d	98	NT > 99,9	46,9	n.d	Bao, et.al., 2021
Digestat	Separació S/L (filtre premsa + centrífuga)	UF + OI	n.d	n.d	n.d	ST = 99,1 NTK = 97,3	48	4,2	Ledda, et.al., 2023
Digestat	Separació S/L (centrífuga)	UF + OI UF + ED + OI	> 99,5 > 99,9	> 99,9 > 99,9	n.d	NH4+ = 95,8 NH4+ > 99,9	38 80	n.d	Proskynitopoulo, et. al., 2024
Digestat	Separació S/L (tambor rotatiu)	OI vibrant	n.d	n.d	n.d	NT > 95	80	n.d	Vaneekhaute, et. al., 2012
Digestat	Separació S/L (filtre premsa + centrífuga)	UF + OI	n.d	n.d	n.d	ST > 99,9 NT = 84	43	6,97	Bolzonella, et. al., 2018
Aigua residual d'escorxadors	Desvast i flotació	MBR	> 99,9	n.d	> 99,9	DQO = 98	99	n.d	Keskes, et.al., 2012
Aigua residual d'escorxadors	Biològic	ozó	n.a	n.a	> 99,9	DQO = 93	100	n.d	Alfonso, et. al., 2018
Aigua residual d'escorxadors	Coagulació/floculació + biològic	Radiació UV	n.a	n.a	>99	--	100	n.d	Luiz, et. al., 2009

UF: Ultrafiltració; NF: Nanofiltració; MF: Microfiltració; OI: osmosi inversa; MBR: Bioreactor de membranes; ED: electrodiàlisi; ST: sòlids totals; SST: sòlids en suspensió totals; DQO: Demanda química d'oxigen; NT: Nitrogen total; NTK: Nitrogen total Kjeldahl; n.d: no disponible; n.a: no aplica

7. Casos pràctics

CAS D'ESTUDI 1.

Tractament de la fracció líquida de purí porcí mitjançant processos de membranes i ozonització.



Descripció del procés:

El purí porcí de mares és tractat en la mateixa granja per un sistema convencional de separació sòlid-líquid i un reactor de nitrificació-desnitrificació, amb el doble objectiu de reduir el contingut en matèria particulada sòlida i els compostos nitrogenats presents en la fracció líquida del purí.

L'efluent procedent del tractament biològic de nitrificació-desnitrificació, és tractat mitjançant un procés basat en membranes: ultrafiltració i electrodiàlisi. Prèviament a aquest sistema de tractament per membranes, l'efluent requereix un sistema de pretractament per mitjà de la coagulació-floculació i filtració (llit de sorra) per tal de reduir el contingut de sòlids en suspensió presents en l'efluent d'entrada al tractament amb membranes.

El sistema d'ultrafiltració emprat en aquest cas permet retenir partícules amb una mida aproximada de 0,02 µm, fet que permet també una reducció de la terbolesa de l'efluent. El darrer sistema de membranes consta d'una pila d'electrodiàlisi amb una capacitat de tractament d'aproximadament 1 m³/h, on el seu tractament permet una recuperació d'efluent tractat (permeat) al voltant d'un 87%. L'operació d'aquesta pila d'electrodiàlisi es va dur a terme amb l'objectiu d'obtenir un efluent de sortida amb una conductivitat entorn de 2.500 µS/cm.

Finalment, l'ozonització del permeat obtingut amb el sistema d'electrodiàlisi permet reduir la càrrega de patògens mitjançant l'aplicació d'altres dosis d'ozó.

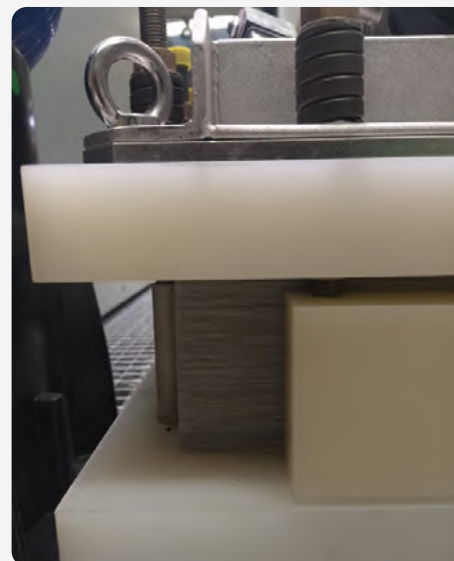


Foto 13. Imatge de la pila d'electrodiàlisi.

	Electrodiàlisi	Ozonització
Sòlids Suspensió totals	75%	No aplica
Terbolesa	> 90%	No aplica
Patògens*	n.a	> 99%
Recuperació d'aigua	86%	No aplica

Origen de l'efluent a tractar:

- Efluent del procés de nitrificació-desnitrificació (NDN) de la fracció líquida de purí porcí de mares.

Característiques físic-químiques (mitjanes) de l'efluent a tractar:

	Efluent NDN
pH	8,1
Conductivitat (mS/cm)	7,29
Sòlids Totals (%)	0,4
Sòlids Volàtils (%)*	13,9
Nitrogen Total Kjeldalh (g/L)	0,03
Fòsfor (mg/L)	698
DQO (mg/L)	572

* % expressat en base seca.

Sistema de tractament avançats:

- Ultrafiltració
- Electrodiàlisi
- Ozonització

Usos potencials de l'aigua recuperada identificats:

- Neteja de vehicles
- Neteja de corralines
- Agrícola

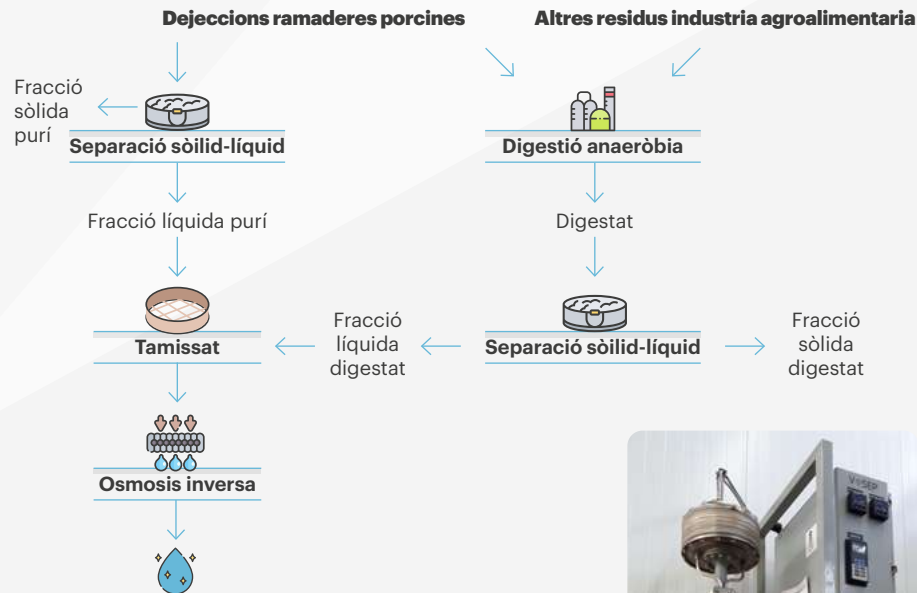
Informació d'interès:

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

7. Casos pràctics

CAS D'ESTUDI 2.

Osmosi inversa vibrant per al tractament de dejeccions ramaderes (fracció líquida de porcí i digestat).



Origen de l'efluent:

- Fracció líquida de purí porcí (mares)
- Fracció líquida de digestat procedent d'una planta de digestió anaeròbia on es tracten diferents residus de la indústria agroalimentaria.

Descripció del procés:

Prèviament al tractament amb la tecnologia d'osmosi inversa vibrant, els efluentes han estat sotmesos a una primera etapa de cribratge per un tamís vibratori per tal de retenir aquelles partícules superiors a 120 µm (SWECO, USA).



Figura 14. Imatge Tecnologia VSEP (New Logig Research, Inc)

Característiques físic-químiques (mitjana) dels efluentes a tractar:

	Fracció líquida de purí porcí	Fracció líquida de digestat
pH	8,1	8,7
Conductivitat (mS/cm)	17,1	28,7
Sòlids Totals (%)	2,7	2,2
Sòlids Volàtils (%*)	53,1	70,7
N-NH ₄ ⁺ (g/L)	2,4	4,4
Nitrogen Total Kjeldalh (g/L)	3,14	6,2
Fòsfor (mg/L)	669	365
Potassi (mg/L)	1542	495

* % expressat en base seca.

Eficiències d'eliminació i recuperació d'aigua tractada:

	Osmosis inversa per el tractament per la fracció líquida purí	Osmosis inversa per el tractament de la fracció líquida de digestat
Sòlids Suspensió totals	> 99%	> 99%
Terbolesa	> 99%	> 99%
Patògens*	> 99%	> 99%
Recuperació d'aigua	75-77%	63 - 70%

(*) E.coli, Salmonella i Legionella

Sistema de tractament avançats:

- Osmosis inversa vibrant

Les fraccions obtingudes després del pretractament de les fraccions líquides de purí i digestat amb un tamís, han estat tractades per una unitat de filtració equipada amb un paquet de membranes d'osmosi inversa (New Logic Research Inc.). La peculiaritat d'aquest sistema resideix en el mòdul de membranes el qual es troba sotmès a una vibració constant mitjançant unes molles de torsió que permeten minimitzar l'embrutiment del medi filtrant.

Usos potencials de l'aigua recuperada identificats:

- Neteja de vehicles
- Neteja de corralines
- Agrícola

Informació d'interès:

- New Logic Research
- Ruralcat (Generalitat de Catalunya)
- MDPI Open Acces Journals

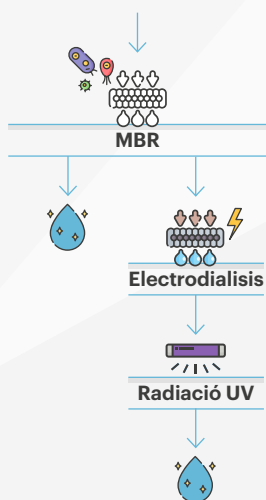
7. Casos pràctics

3

CAS D'ESTUDI 3.

Tractament de les aigües residuals d'escorxador mitjançant bioreactor de membrana, electrodiàlisi i radiació UV.

Efluent escorxadors i processament carni



Descripció del procés:

Les aigües residuals generades en una instal·lació industrial que integra escorxador porcí i processament carni són pretractades mitjançant un sistema de desbast (reixes amb llum de malla per sobre d'1 mm) per a l'eliminació de sòlids en suspensió i, un sistema de flotació per aire dissolt (DAF) per a l'eliminació de sòlids en suspensió més petits, olis, greixos i matèria orgànica col·loidal.

L'aigua residual pretractada es tracta mitjançant un reactor biològic que opera en condicions aeròbies i que integra un mòdul de membranes d'ultrafiltració (0,04 µm de diàmetre de porus) de fibra buida submergit en l'interior del bioreactor. Aquest sistema de tractament permet la degradació de la matèria orgànica i l'oxidació de l'amoni a nitrat, així com la retenció de sòlids en suspensió i patògens (principalment bacteris) en el licor mescla, obtenint un permeat caracteritzat per un baix contingut en sòlids en suspensió, terbolesa i patògens.

El permeat procedent del MBR es tracta mitjançant un sistema d'electrodiàlisi per reduir la seva conductivitat per sota de 0,5 mS/cm i, el permeat obtingut en el sistema d'electrodiàlisi es tracta mitjançant un sistema de radiació UV (emissió a 254 nm) per a assegurar la inactivació de possibles patògens encara presents en l'aigua tractada.



Figura 15. Imatge del bioreactor de membrana.

Origen de l'efluent a tractar:

Aigües residuals d'escorxador i processament carni. Requereix l'aplicació de un pretractament basat en l'ús de reixes (desbast) i un sistema de flotació per aire dissolt (DAF).

Característiques físic-químiques i microbiològiques de l'efluent a tractar:

	Aigües residuals pretractades
pH	6,8 – 8,0
Conductivitat (mS/cm)	4,1 – 8,6
Sòlids en suspensió totals (g/L)	0,03 – 0,6
DQO (mg/L)	1,2 – 3,6
Amoni (mg N-NH ₄ ⁺ /L)	26 – 200
E. coli (UFC/100 mL)	260 - 8600

Tren de tractament innovador:

- Bioreactor de membrana (MBR)
- Electrodiàlisi
- Radiació UV

Eficiències d'eliminació i recuperació d'aigua tractada:

	Bioreactor de membrana	Electrodiàlisi	Radiació UV
Sòlids suspensió totals	> 99%	No aplica	No aplica
Terbolesa	> 99%	No aplica	No aplica
Patògens (*)	> 95%	No aplica	> 99,9
Recuperació d'aigua	> 99%	92 – 95%	> 99%

(*) E.coli, Salmonella i Legionella.

Usos potencials de l'aigua recuperada identificats:

- Neteja de vehicles (en contacte no directe amb el producte)
- Neteja de corrals (en contacte no directe amb el producte)

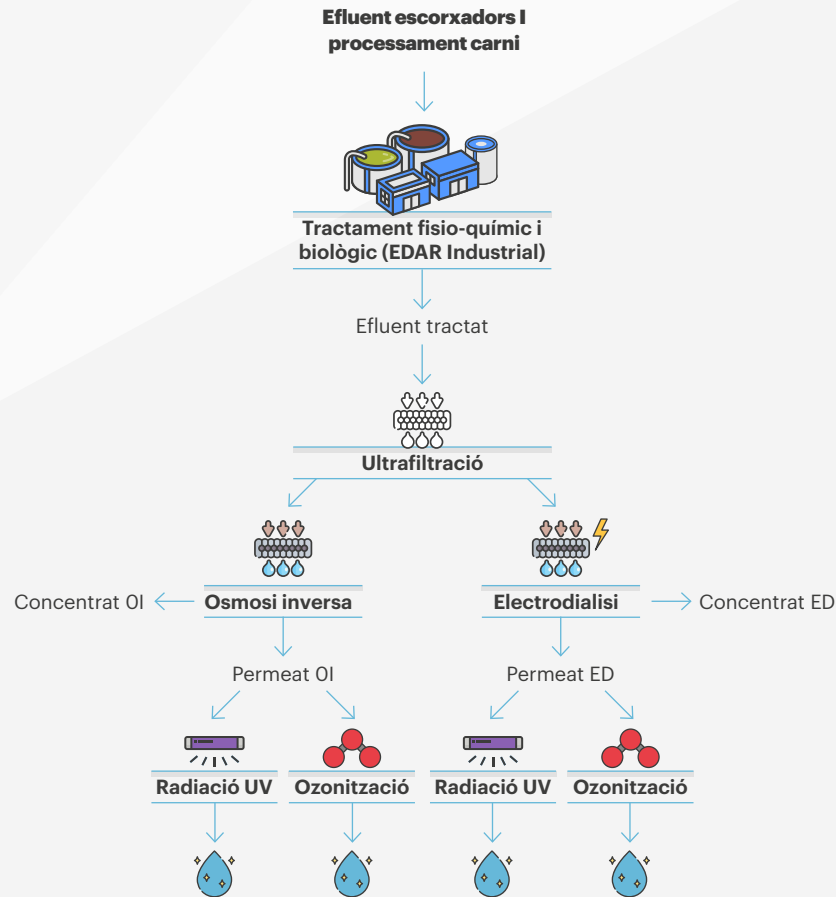
Informació d'interès:

- Pàgina web oficial del projecte: <https://www.accelwater.eu/>

7. Casos pràctics

CAS D'ESTUDI 4.

Post-tractament d'efluents d'escorxador mitjançant processos de membranes i desinfecció.



Origen de l'efluent a tractar:

Efluent d'EDAR industrial d'escorxador i processament càrnic.

Descripció del procés:

L'efluent procedent d'una EDAR d'una instal·lació industrial que integra escorxador porcí i processament carni, ha estat tractat per dos blocs principals, processos de membranes i de desinfecció, combinats entre ells.

El tractament que ha estat avaluat en tots els casos és l'aplicació d'un sistema d'ultrafiltració. El permeat d'aquesta primera etapa de filtració ha estat tractada o bé mitjançant una membrana d'osmosi inversa o bé per un procés d'electrodiallisi. Els permeats (aigua tractada) tant de l'osmosi inversa com de l'electrodiallisi han estat sotmesos a dos processos de desinfecció diferent: ozonització o radiació UV.

El procés de desinfecció per mitjà de l'ozó s'ha realitzat en un rang de concentracions entre 7 -25 mg O₃/L, mentre que el procés de radiació UV s'ha dut a terme a una dosi igual en tots escenaris avaluats.

Característiques físic-químiques (mitjanes) de l'efluent a tractar:

	Efluent EDARi
pH	7,9
Conductivitat (µS/cm)	2492
Terbolesa (NTU)	9
DQO (mg/L)	84
E. coli	Presència

Sistemes de tractament avançats

- Ultrafiltració + Osmosi inversa + Ozonització
- Ultrafiltració + Osmosi inversa + Radiació UV
- Ultrafiltració + Electrodiallisi + Ozonització
- Ultrafiltració + Electrodiallisi + Radiació UV

Usos potencials de l'aigua recuperada identificats:

- Neteja de vehicles (en contacte no directe amb el producte)
- Neteja de corrals (en contacte no directe amb el producte)

Informació d'interès:

- Projecte REAQUA

Eficiències d'eliminació i recuperació d'aigua tractada:

	Ultrafiltració	UF + Osmosi inversa	UF + Electrodiallisi	Radiació UV	Ozonització
Sòlids suspensió totals	≥ 99	≥ 99	≥ 99	No aplica	No aplica
Terbolesa	85	89 - 92	91 - 95	No aplica	No aplica
Patògens*	n.a	> 99	100	100	100
Recuperació d'aigua	65	55	58	100	100

n.a: no avaluat; * Determinació de: E.coli, Legionel·la, ous nematodes i Salmonel·la.

8. Conclusions i recomanacions

Davant el context actual de sequera, existeix la necessitat d'identificar recursos hídrics alternatius que permetin garantir l'activitat econòmica de les indústries de processament carni i les explotacions ramaderes donat que el sector agroalimentari és un dels sectors afectats per les restriccions d'aigua arran del Pla Especial de Sequera.

Les indústries del sector agroalimentari i les explotacions ramaderes han identificat la reutilització de l'aigua recuperada a partir dels purins i del tractament de les aigües residuals industrials com una oportunitat essencial per reduir la dependència dels recursos hídrics convencionals i reservar-los per a usos que requereixin la qualitat d'aigua potable.

Els resultats dels casos pràctics demostren que l'aplicació de tecnologies avançades per al tractament d'efluents de la indústria agroalimentària, així com per al tractament les dejeccions ramaderes porcines, permet l'obtenció d'aigua amb potencial per ser reutilitzada donat que presentarien qualitats equiparables als valors establerts en la normativa vigent en referència a la reutilització d'aigües regenerades.

Les tecnologies basades en membranes ofereixen alts rendiments en termes de recuperació d'aigua, independentment de l'origen de l'efluent a tractar, ja siguin fracció líquida de purí, digestat o aigües residuals d'escorxador. L'ús de l'osmosi inversa asseguraria l'obtenció de les qualitats necessàries establertes en la normativa vigent per a la reutilització de les aigües tractades per a usos de neteja en indústries i explotacions ramaderes i usos agrícoles.

Els processos de desinfecció presenten alts rendiments per a la inactivació de patògens detectats en efluents residuals procedents de les dejeccions ramaderes i d'escorxador. Aquest punt és d'especial rellevància, ja que es donarien les garanties necessàries per minimitzar el possible risc microbiològic associat a la reutilització d'aigua regenerada.

Cal destacar que les eficiències de les tecnologies avançades podrien variar depenent de les característiques dels efluents a tractar i del rendiment tecnologies convencionals emprades en una primera etapa de tractament.

En instal·lacions de nova construcció de la indústria carnia, es recomana focalitzar el disseny de la planta de tractament d'aigües residuals en la implementació de tecnologies avançades ja orientades a l'obtenció d'aigua d'alta qualitat com poden ser els bioreactors de membrana.

En instal·lacions ja existents, l'aplicació de sistemes de posttractament basats en membranes és l'opció preferent, ja que permeten reduir en una única etapa sòlida en suspensió, terbolesa i patògens; assolint els estàndards de qualitat de l'aigua necessaris per la seva realització d'acord amb la normativa vigent. En les explotacions ramaderes porcines, caldria realitzar una bona selecció dels pretractament donat que aquests jugaran un paper important en l'eficiència de les tecnologies avançades implementades que permetrien la recuperació de l'aigua a partir de les dejeccions ramaderes.



9. Bibliografia

Agència Catalana de L'aigua (2023) Pla de reutilització de l'aigua regenerada a Catalunya. Estratègia 2040.

Alfonso-Muniozguarena, P., Leea, J., Bussemakera, M., Chadeesingha, R., Jones, C., Oakley, D., Sarojb, D. (2018) A combined activated sludge-filtration-ozonation process for abattoir wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering* 25, 157-163 <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.07.009>

Babot, D., Sancho, V., Pascual, S., Cartanyà, J., Parera, J., Ferrer, N., García, E., Moreno, J. A., Blanco, B. (2020) Guia para la gestión del agua en la explotación porcina. Interporc Spain.

Bao, Y., Fu, Y., Wang, C., Wang, H. (2020) An Effective Integrated System Used in Separating for Anaerobic Digestate and Concentrating for Biogas Slurry. *Environmental Technology* 42(2), 1-24. <https://doi.org/10.1080/09593330.2020.1761457>

Bilotta, P., Steinmetz, R., Kunz, A., Mores, R. (2017) Swine effluent post-treatment by alkaline control and UV radiation combined for water reuse. *Journal of Cleaner Production* 140, 1247-1254 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.033>

Bolzonella, D., F. Fatone, F., Gottardo, M., Frison, N. (2018) Nutrients recovery from anaerobic digestate of agro-waste: Techno-economic assessment of full scale Applications. *Journal*

of Environmental Management

 216 111- 119 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.08.026>

European Commission (2005). Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques in the Slaughterhouses and Animal By-products Industries.

European IPPC Bureau. Reference Document on Best Available Techniques in the Slaughterhouses and Animal By-Products Industries; European IPPC Bureau: Seville, Spain, 2005. Available online: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-01/sa_bref_0505.pdf (accessed on 1 October 2021).

Environmental Protection Agency (EPA) (2011) Water Treatment Manual: Disinfection. An Ghníomhaireacht um Chaomhnú Comhshaoil PO Box 3000, Johnstown Castle, Co. Wexford, Ireland.

Generalitat de Catalunya - Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural (2024) Guia de les tecnologies de tractament de les dejeccions ramaderes a Catalunya.

Herrera, A., D'Imporzano, G., Clagnan, E., Pigoli, A., Bonadei, E., Meers, E., Adani, F. (2023) Pig Slurry Management Producing N Mineral Concentrates: A Full-Scale Case Study. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2023, 11, 7309-7322 <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c07016>

Ledda, C., Schievano, A., Salati, S., Adani, F. (2013) Nitrogen and water recovery from animal slurries by a new integrated ultrafiltration, reverse osmosis and cold stripping process: A case study. *Water Research* 47, 6157 - 6166 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.07.037>

Luiz, D., Genena, A., Jose, H., Moreira, R., Schröder, H. (2009) Tertiary treatment of slaughterhouse effluent: degradation kinetics applying UV radiation or H₂O₂/UV. *Water Science and Technology* 60(7), 1869-74 <https://doi.org/10.2166/wst.2009.583>

Macauleya, J., Qiang, Z., Craig D. Adams, C., Surampallie, R., Mormilea, M. (2006) Disinfection of swine wastewater using chlorine, ultraviolet light and ozone. *Water Research* 40, 2017 - 2026 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.03.021>

Pieters, J.G., Neukermans, G.J., Colanbeen, M. B. A. (1999) Farm-scale Membrane Filtration of Sow Slurry. *J. Agric. Engng Res.* 73, 403-409. <https://doi.org/10.1006/jaer.1999.0435>

Proskynitopoulou, V., Vourros, A., Garagounis, I., Toursidis, P., Lorentzou, S., Zouboulis, A., Panopoulos, K (2024) Enhancing nutrient and water recovery from liquid digestate: A comparative study of selective electrodialysis and conventional treatment methods. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 12, 112675 <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112675>

Reuland, G.; Sigurnjak, I.; Dekker, H.; Michels, E.; Meers, E. (2021) The Potential of Digestate and the Liquid Fraction of Digestate as Chemical Fertiliser Substitutes under the RENURE Criteria. *Agronomy*, 11, 1374. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071374>

Samanta, P., Schönnetin, H.M., Horn, H., Saravia, F. (2022) MF-NF Treatment Train for Pig Manure: Nutrient Recovery and Reuse of Product Water. *Membranes* 12, 165 <https://doi.org/10.3390/membranes12020165>

Vaneekhaute, C., Meers, E., Michels, E., Christiaens, P., Tack, F.M.G. (2012) Fate of Macronutrients in Water Treatment of Digestate Using Vibrating Reversed Osmosis. *Water Air Soil Pollut.* 223, 1593-1603 DOI: 10.1007/s11270-011-0967-6

Keskes, S., Hmaied, F., Gannoun, H., Bouallagui, H., Godon, J., Hamdi, M. (2012) Performance of a submerged membrane bioreactor for the aerobic treatment of abattoir wastewater. *Bioresource Technology* 103, 28-34 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.09.063>

Konieczny, K., Anna Kwiecinska, A., Gworek, B. (2011). The recovery of water from slurry produced in high density livestock farming with the use of membrane processes. *Separation and Purification Technology* 80, 490 - 498 <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.06.002>



Biodiversitat, Ecologia,
Tecnologia Ambiental i Alimentària

Centre Tecnològic BETA
Universitat de Vic - Universitat Central de Catalunya
Edifici Can Baumann
Ctra de Roda, 70. 08500 Vic
+34 93 881 61 68
info.beta@uvic.cat
www.betatechcenter.com

Amb el finançament de:



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



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

"Activitat finançada a través de l'Operació 01.02.01 de Transferència Tecnològica
del Programa de desenvolupament rural de Catalunya 2014-2022"