

GUIA DELS TRACTAMENTS DE LES DEJECCIONS RAMADERES



Generalitat de Catalunya
Departament de Medi Ambient i Habitatge
Agència de Residus de Catalunya



Generalitat de Catalunya
Departament d'Agricultura,
Ramaderia i Pesca



Centre UdL-IRTA
Àrea d'Enginyeria Ambiental

AUTORS:

Lleida, desembre de 2004

Elena Campos Pozuelo

Josep Illa Alibés

Albert Magrí Aloy

Jordi Palatsi Civit

Francina Solé Mauri

Xavier Flotats Ripoll
(Coordinador)

Amb la col·laboració tècnica de l'Agència de Residus de Catalunya

SUMARI

1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS DEL DOCUMENT	5
2. CARACTERÍSTIQUES DE LES DEJECCIONS RAMADERES	7
3. QUÈ FAN ELS TRACTAMENTS?	11
4. FITXES DE CARACTERITZACIÓ DELS TRACTAMENTS.....	15
4.1. BASSES	16
4.2. ADDITIUS A BASSES I PINSOS	20
4.3. SEPARACIÓ DE FASES SÒLID-LÍQUID	24
4.4. COMPOSTATGE	30
4.5. NITRIFICACIÓ-DESNITRIFICACIÓ (NDN)	34
4.6. DIGESTIÓ ANAERÒBIA	40
4.7. DIGESTIÓ AERÒBIA	45
4.8. EVAPORACIÓ I ASSECATGE	47
4.9. STRIPPING I ABSORCIÓ	49
4.10. FILTRACIÓ PER MEMBRANA I OSMOSI INVERSA	50
4.11. OZONITZACIÓ	55
4.12. COMBINACIÓ DE PROCESSOS PER A L'ELIMINACIÓ DE NITROGEN ...	56
4.13. COMBINACIÓ DE PROCESSOS PER A LA REDUCCIÓ DE VOLUM PER CONCENTRACIÓ TÈRMICA	58
5. TRIA DEL TRACTAMENT	59
6. ESQUEMES D'ESTRATÈGIES DE TRACTAMENT DELS DIAGRAMES 5.1	64

1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS DEL DOCUMENT

De sempre, les dejeccions ramaderes han estat considerades un recurs valuós per a la terra, per aportar nutrients als conreus, per mantenir un sòl esponjós i ric, amb capacitat de retenir aigua i evitar la seva pèrdua per erosió, i, en definitiva, per tenir collites més bones. Aquest coneixement ancestral es va anar enriquint de generació en generació, amb aportacions sobre què s'ha de fer amb els fems per millorar-ne la qualitat, sobre el temps d'espera fins a l'aplicació, sobre com barrejar-los, sobre les qualitats específiques de cada un, sobre com apilar-los i voltejar-los i, fins i tot, sobre com es pot tenir en compte l'efecte de la lluna. D'alguna manera, el concepte de tractament estava implícit en la cultura tecnològica del sector.

El canvi en la manera de fer es va produir quan es va anar passant d'una agricultura i ramaderia de supervivència a una agricultura productiva, amb noves i més necessitats de fertilitzants, i a una ramaderia industrial deslligada de la producció agrícola propera. Aquest augment de la productivitat dels sistemes agraris ha representat una millora econòmica i en la qualitat de vida del sector, però el canvi en els esquemes de treball no ha portat a una substitució dels vells hàbits, en relació amb els fems, per una nova cultura tecnològica que valori adequadament aquests productes. Aquests productes valuosos són un greu problema si no es gestionen correctament. Aquesta gestió necessària obliga a la planificació, a la definició del problema i de les accions que cal emprendre per solucionar-lo.

L'aplicació al sòl en les dosis adequades a cada conreu és la millor via de valorització. Aquestes dosis s'han de calcular basant-se en el contingut en nutrients dels fems i els purins, i les aplicacions s'han de fer en unes èpoques determinades de l'any, que depenen de cada conreu. La planificació de les aplicacions i, també, la planificació de totes les accions que fan referència a què s'ha de fer amb els fems i els purins per tal d'assegurar que no són un problema ambiental constitueixen el pla de gestió de les dejeccions.

Aquest pla no es pot prendre com una trava burocràtica, sinó com una eina important per al ramader per definir exactament quina és la seva situació, quines són les accions que ha d'emprendre per millorar-la i, per tant, quina ha de ser la prioritització en la presa de decisions.

Aquest pla ha de tenir dos eixos d'actuació bàsics: 1) la minimització dels cabals i dels constituents de les dejeccions, ja que això permet estalviar en el transport i en la necessitat de superfície agrícola; 2) la planificació correcta de les dosis a cada conreu en l'espai i en el temps. De resultes d'aquestes dues actuacions, es pot donar el cas que el ramader no disposi de prou superfície accessible, o que el transport a parcel·les llunyanes li representi un cost excessiu, o que necessiti adequar la seva capacitat d'emmagatzematge a les necessitats temporals dels conreus, o que li sobri una part del nitrogen que produeix, o que les males olors que genera creïn un problema addicional que cal resoldre, o una altra problemàtica. En aquest moment cal plantejar-se els tractaments.

Un tractament és una eina tecnològica per adequar la qualitat i la quantitat de les dejeccions a la demanda de matèria orgànica i/o d'elements de fertilitat. Aquesta demanda pot ser pròpia, dels camps propis, o aliena. La definició del tractament adequat depèn de la problemàtica que s'ha de resoldre, de manera que no hi ha solucions úniques aplicables en qualsevol circumstància.

Atès que actualment els nitrats són els compostos més problemàtics, ja que són solubles i lixivien amb facilitat cap a les aigües subterrànies, amb la qual cosa ocasionen greus problemes de contaminació, la legislació actual està molt focalitzada a aquest problema i els plans de gestió s'han de portar a terme basant-se en el balanç de nitrogen. El Codi de bones pràctiques agràries amb relació al nitrogen n'és la guia bàsica de treball. No es pot oblidar, però, que la legislació evolucionarà cap a aconseguir el mínim impacte ambiental amb relació a totes les altres accions i compostos potencialment perturbadors del medi si les dosis són superiors a les que aquest medi pot admetre: metalls pesants, fòsfor, emissions de gasos i compostos orgànics volàtils a l'atmosfera, consum d'energia, etc. En el moment d'escollir el tractament adequat, cal valorar també la problemàtica en la seva globalitat.

Aquest document és una guia simple sobre els tractaments que el mercat pot oferir actualment, i té per objectiu un apropament al coneixement d'aquestes tecnologies per tal de posar a l'abast del lector la terminologia bàsica sobre el tema, els avantatges i els inconvenients de cada solució i les dades bàsiques per decidir cap on s'ha d'enfocar aquesta solució.

2. CARACTERÍSTIQUES DE LES DEJECCIONS RAMADERES

Les característiques dels purins i els fems depenen de molts factors: de l'alimentació, de l'estat fisiològic dels animals, del tipus d'abeuradors, de les pràctiques de neteja, etc. Fins i tot amb una mateixa alimentació, segons la seva edat, els animals l'aprofitaran de manera diferent i, per tant, també serà diferent la composició de les dejeccions en cada època de l'any. Els valors en què es troba la seva composició són molt variables, i es poden moure en uns intervals amplis. Per exemple, a la taula 2.1 s'indiquen aquests valors per a purins de porc.

Taula 2.1. Composició, sobre matèria fresca, de purins de porc

Paràmetre	Unitats	Mínim	Màxim	Mitjana
Sòlids totals (ST)	g/kg	13,68	169,00	62,16
Sòlids volàtils (SV)	g/kg	6,45	121,34	42,33
Percentatge SV/ST	%	46	76	65
Demanda química d'oxigen (DQO)	g/kg	8,15	191,23	73,02
Nitrogen total Kjeldhal (NTK)	g/kg	2,03	10,24	5,98
Nitrogen amoniacal (N-NH ₄ ⁺)	g/kg	1,65	7,99	4,54
Nitrogen orgànic (Norg)	g/kg	0,40	3,67	1,54
Percentatge N-NH ₄ ⁺ /NTK	%	57	93	75
Fòsfor (P)	g/kg	0,09	6,57	1,38
Potassi (K)	g/kg	1,61	7,82	4,83
Coure (Cu)	mg/kg	9	192	40
Zinc (Zn)	mg/kg	7	131	66

Per a purins, i a la vista de la taula 2.1, destaquen els extrems següents:

- Contingut elevat en aigua.** A la taula, aquesta és la diferència entre els sòlids totals i el total de la matèria fresca, això és, $1.000 - 62,16 = 937,84$ g/kg de mitjana, o el 93,8 % d'aigua. Això implica que, quan es transporten purins, majoritàriament s'està transportant aigua.
- Poca matèria orgànica.** Aquesta matèria orgànica es mesura mitjançant els sòlids volàtils (SV) o amb la DQO, que correspon a la quantitat d'oxigen necessari per oxidar aquesta matèria orgànica. El valor mitjà del percentatge SV/ST del 65 % és baix si el comparem, per exemple, amb els fems de vedells, els purins de boví o la gallinassa, que es troben normalment per sobre del 80 %. Els valors baixos de l'interval són deguts a un alt temps d'emmagatzematge sota l'engraellat de les naus, que fa que part de la matèria orgànica es volatilitzï i que aquesta pèrdua afecti negativament alguns processos de tractament que necessitin matèria orgànica, com ara la producció de biogàs, la desnitrificació o el compostatge de la fracció sòlida.

- c. *Contingut alt en nitrogen amoniacal.* El nitrogen amoniacal pot presentar una mitjana del 75 % de tot el nitrogen i pot fer que, junt amb la poca matèria orgànica, calgui considerar els purins més a prop d'un fertilitzant mineral que d'una esmena orgànica. Noteu que si es transporta una cisterna de 10 m³ de purins, s'estan transportant uns 60 kg de nitrogen (5,98 g/kg). Si aquest nitrogen es tingués en forma de fertilitzant mineral, cabria en el maleter d'un cotxe. Aquest fet fa que el transport de purins sigui un limitador important per a la gestió, ja que cal moure molt volum per a poc contingut útil.
- d. *Contingut apreciable en metalls: coure (Cu) i zinc (Zn).* Aquests metalls es van acumulant en el sòl i poden arribar a crear problemes de fitotoxicitat als conreus. Si les concentracions estan en la part alta de l'interval donat a la taula, poden afectar negativament els tractaments que utilitzen bacteris, ja que els pot ser un tòxic per a aquests tractaments. Reduir el contingut d'aquests metalls en les dietes representa obtenir uns purins de més qualitat, que afectarà molt positivament qualsevol acció que es faci, tant en l'aplicació directa al sòl com en la valorització econòmica del compost que es pot obtenir de la fracció sòlida.
- e. *Fòsfor (P) i potassi (K).* Son elements fertilitzants necessaris per als cultius. La concentració de P és especialment elevada en purins de porc, en comparació amb altres dejeccions, i té una elevada capacitat de contaminació si arriba a les aigües superficials. Per aquest motiu, a molts països ja s'ha començat a legislar per a limitar les dosis d'aplicació al sòl. Com que de les dejeccions tan sols es pot separar y concentrar, per transportar, i no eliminar com el nitrogen, els canvis en l'alimentació del bestiar per a reduir la seva concentració en els purins hauria de ser, possiblement, una via d'actuació prioritària.

Cal notar que ni els purins ni altres dejeccions no tenen nitrats. Aquests nitrats es produeixen a partir del nitrogen amoniacal quan en un medi hi ha aire, bacteris nitrificants i bicarbonat (procés de nitrificació), que són les condicions que es troben en les capes superiors del sòl. Qualsevol acció que alenteixi o retardi aquest procés de nitrificació ajudarà a reduir el problema de la contaminació per nitrats: per exemple, intentar tenir el nitrogen en forma orgànica o aplicar en els purins algun retardant del procés.

En general, qualsevol acció encaminada a: 1) reduir el contingut en aigua dels purins, mitjançant el control d'abeuradors o evitant que aigües pluvials vagin a les basses o les fosses; 2) disposar de basses cobertes per evitar emmagatzemar aigua de pluja; 3) reduir el contingut en nutrients, com ara nitrogen o fòsfor, mitjançant la modificació de les dietes; 4) reduir el contingut en metalls, mitjançant

la modificació de les dietes, i/o 5) reduir el temps d'emmagatzematge sota la nau, disposant de basses exteriors, farà que es redueixi la necessitat de transport per a les aplicacions, que s'hagi de moure menys volum per tractar, que calgui menys superfície agrícola i, en definitiva, que la qualitat dels purins millori i que sigui possible apropar-se al concepte que les dejeccions són un recurs i no pas un problema. La taula 2.1 s'ha inclòs aquí per il·lustrar els conceptes descrits. Els valors per defecte que cal utilitzar per calcular els cabals i el nitrogen produït a una granja, i per dur a terme un pla de gestió, s'indiquen en la taula 2.2. Tot i això, la millor manera de conèixer com són les dejeccions pròpies és mitjançant anàlisis periòdiques, les quals han de servir per guiar i valorar les accions que cal emprendre, i per justificar altres composicions si difereixen de les de la taula 2.2.

*Generació de nitrogen i dejeccions per a cada tipus de plaça de bestiar i fase productiva
(Manual de l'aplicació GDR –gestió de les dejeccions ramaderes i fertilitzants nitrogenats–)*

Tipus de bestiar i fase productiva	Kg N /plaça /any	Puri m ³ /plaça /any	Fem t/plaça /any	Densitat del fem (t/m ³)
Vaquí de llet	73,00	14	18	0,8
Vaques alletants	51,10	9	12	0,8
Vedelles de reposició	36,50	5,5	7	0,8
Cria de boví (animals d'1 a 4 mesos en 3 cicles/any /plaça)	7,70	0,5	0,7	0,8
Engreix de vedells/lles (1)	21,90	3,6	4	0,8
Truja en cicle tancat (2)	57,60	17,75	-	-
Truja amb garrins fins a deslletament (0-6 kg)	15,00	5,1	5,4	0,8
Truja amb garrins fins a 20 kg	18,00	6,12	-	-
Truja de reposició	8,50	2,5	2,75	0,8
Garrins de 6-20 kg	1,19	0,41	0,6	0,8
Porc d'engreix (20-50 kg)	6,00	1,8	-	-
Porc d'engreix (50-100 kg)	8,50	2,5	-	-
Porc d'enceball (20-100 kg)	7,25	2,15	2,4	0,8
Verro	18,00	6,12	-	-
Avicultura de posta (per plaça de gallina ponedora, comercial o selecta)	0,50	0,037	0,04	0,9
Polletes de recria (2,5 cicles/any/plaça. Animals de 100 dies fins a 1,4 kg)	0,08	-	<u>0,0073</u>	-
Engreix de pollastres (5 cicles/any/plaça. Durada d'engreix de 48-50 dies)	0,22	-	0,02	0,5
Engreix d'ànecs (3,5 cicles/any/plaça)	0,24	0,088	0,102	-
Producció de conill (3)	4,30	-	0,412	0,75
Bestiar equí	63,80	-	11	0,8
Ovelles de reproducció	9,00	-	0,9	-
Oví d'engreix (2,0 cicles/any/plaça. Conjunt xais/xaies)	3,00	-	0,3	-
Ovelles de reproducció	4,50	-	0,45	-
Cabrum reproducció (amb o sense producció lletera)	7,20	-	<u>0,72</u>	-
Cabrum de reposició	3,60	-	<u>0,36</u>	-
Cabrum sacrifici	2,40	-	<u>0,24</u>	-
Engreix de guatlles (8 cicles/any/plaça. Animals de 200 g de pes final)	0,03	-	<u>0,00267</u>	-
Engreix de perdius (4 cicles/any/plaça. Animals de 800 g de pes final)	0,07	-	<u>0,0064</u>	-
Engreix de paó (3 cicles/any/plaça. Animals de pes final aproximat de 7 kg)	0,46	-	<u>0,1947</u>	-
Oques	<u>0,24</u>	0,088	0,102	-
Estruços adults (animals de més de 12 mesos)	<u>1,72</u>	-	0,73	-
Estruços d'engreix	<u>0,94</u>	-	0,4	-

Les dades de la adjunta referents a generació de nitrogen procedeixen en la seva majoria de l'Ordre de 22.10.1998, del Codi de bones pràctiques agràries en relació amb el nitrogen (DOGC núm. 2761, de 9 de novembre de 1998) i del Reial decret 324/2000, de 3 de març (BOE núm. 58, de 8 de març de 2000). Les dades de volums i pes de fems i purins procedeixen del Manual de gestió dels purins i de la seva reutilització agrícola, del Reial decret 324/2000, del Departament de Medi Ambient, i de fonts bibliogràfiques. Les dades en cursiva i subratllades s'han estimat a partir de les anteriors.

(1) 1,2 cicles/any/plaça. Pes mitjà de 200 kg als 6 mesos.

(2) Inclou la mare i la seva descendència fins a la finalització de l'encebament.

(3) Inclou les mares, la reposició, els mascles i l'engreix. Productivitat estimada de 40 llodrigons/gàbia/any.

3. QUÈ FAN ELS TRACTAMENTS?

Una estratègia de tractament és una combinació de processos amb l'objectiu d'adequar les dejeccions ramaderes a la demanda com a productes de qualitat. La demanda correspon a necessitats de fertilitzants, esmenes o substrats, els quals han de tenir una qualitat/composició determinada depenent del conreu.

No hi ha cap tractament que elimini o faci desaparèixer completament els purins o els fems. Els únics components eliminables, mitjançant la seva transformació en compostos gasosos innocus per al medi ambient, són part de la matèria orgànica i part del nitrogen, els quals poden passar a CO₂ i N₂. Tota la resta només es poden separar o concentrar.

Hi ha diverses estratègies, però la idònia dependrà de la problemàtica. La prioritat en la presa de decisions s'indica en la figura 3.1.

La primera actuació fa referència al canvi en els sistemes d'alimentació i maneig a la mateixa granja, per tal de minimitzar la concentració de nutrients i de metalls en les dejeccions i minimitzar el volum d'aquestes dejeccions.

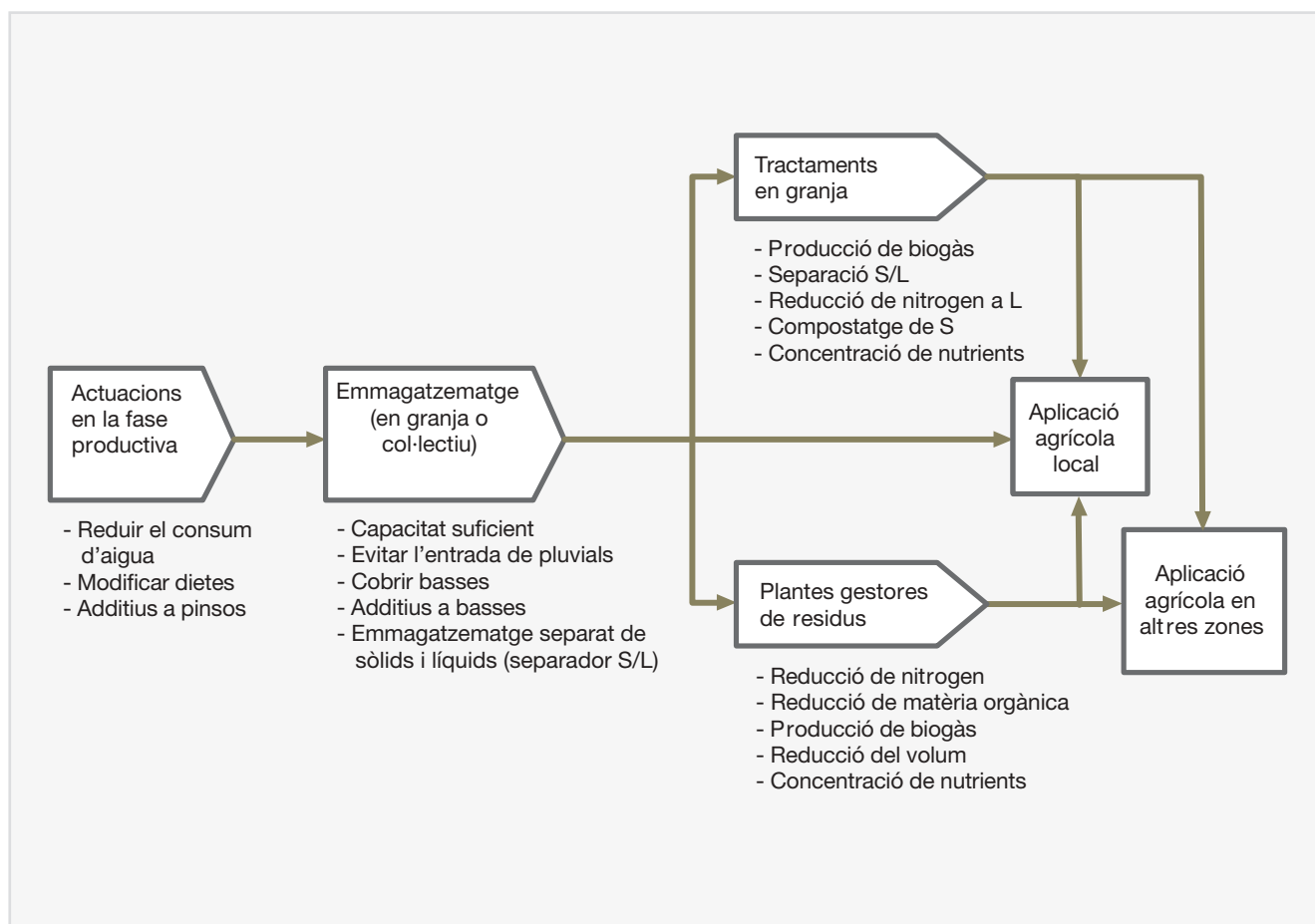


Figura 3.1. Línies d'actuació per a la gestió i el tractament de dejeccions ramaderes

La segona actuació fa referència a la capacitat d'emmagatzematge, la qual ha de ser adequada a les necessitats temporals dels conreus. Aquest emmagatzematge es pot realitzar per a les dejeccions en brut o per a les fraccions sòlida i líquida per separat. També es poden afegir additius al pinso o bé a les basses, per tal de reduir les males olors o bé transformar el nitrogen amoniacal a orgànic durant l'emmagatzematge. També es poden cobrir les basses per evitar molèsties per males olors, pèrdua de nitrogen amoniacal o entrada d'aigües pluvials.

La tercera actuació fa referència a l'ús posterior de les dejeccions. L'actuació prioritària és l'aplicació als conreus. Es pot plantejar la producció de biogàs prèviament a aquesta aplicació, si la instal·lació es pot rendibilitzar substituint un combustible fòssil, per exemple, per cobrir la demanda de calefacció d'una granja de maternitat o cycle tancat, amb la qual cosa, a més a més, s'aconsegueix una reducció significativa de les males olors. Si no hi ha prou superfície agrícola accessible per absorbir els nutrients de les dejeccions, o si el transport fins allà presenta un cost excessiu, caldrà plantejar-se el tractament per reduir el contingut en nitrogen o per concentrar els nutrients (separant aigua) i fer el transport més accessible. L'avaluació realista dels costos de transport és una eina important per prendre decisions.

Quan s'ha arribat a la conclusió que cal aplicar alguna estratègia de tractament, cal decidir si aquest tractament s'ha de fer a la mateixa granja o, de manera col·lectiva, en plantes gestores de residus. Hi ha una altra opció intermèdia, no expressada en la figura 3.1, que és el tractament conjunt entre unes poques granges (dues o tres). La millor opció serà la que aporti un cost global menor, tenint en compte costos totals de transport i de tractament i comptant com a cost de tractament els costos d'operació i els costos financers de la inversió.

Serà plantejable un tractament col·lectiu en plantes gestores de residus si en una àrea geogràfica hi ha excedents que afecten prou ramaders —i, per tant, amb necessitats de tractar un gran volum de dejeccions— per fer més interessant econòmicament aquesta opció que el tractament individual o el conjunt entre unes poques granges veïnes. Gairebé sempre caldrà plantejar aquesta opció quan els excedents obliguen a transportar a llargues distàncies, encara que a resultes d'aquest tractament es podria donar la situació que una fracció de l'efluent tractat s'apliqui als conreus propers. Si la planta de tractament col·lectiu ha de processar un cabal considerable de dejeccions (al voltant de més de 100.000 tones/any), pot ser plantejable incloure una planta de cogeneració elèctrica i tèrmica, i aleshores aprofitar l'energia tèrmica per reduir el volum dels purins i vendre energia elèctrica a la xarxa. Les condicions per fer possible l'èxit d'una planta d'aquest tipus no es donen arreu, i cal fer un estudi detallat previ que englobi els aspectes d'organització, gestió, transport, tecnologia, ús final dels productes obtinguts i, sobretot, preus i costos de l'energia.

En general, els tractaments o els emmagatzematges col·lectius es poden beneficiar de l'economia d'escala; per exemple, un dipòsit conjunt de 10.000 m³ és més econòmic que 20 dipòsits de 500 m³. Però no es pot oblidar el cost de transport, les molèsties o els problemes sanitaris que pot ocasionar, ni els aspectes d'organització i gestió que això comporta.

Quan cal plantejar el tractament individual a cada granja, perquè és la solució més interessant des del punt de vista econòmic o de gestió, es pot plantejar la necessitat de reduir els costos de transport o reduir el contingut en nitrogen de les dejeccions, que també afectarà un menor cost de transport pel fet de requerir una superfície agrícola menor. El sistema més simple per reduir costos de transport és la separació de les fraccions sòlida i líquida, aplicant la fracció líquida en les parcel·les properes mitjançant tècniques de reg, i la fracció sòlida a parcel·les llunyanes. També es pot plantejar el compostatge de la fracció sòlida per ser exportat fora de la zona d'aplicació del pla de gestió, per aconseguir un producte amb valor econòmic, per transferir-lo a un gestor autoritzat de residus quan s'escaigui, o per transferir-lo a una empresa productora de substrats per a horticultura i jardineria.

Quan es pretén reduir el contingut de nitrogen de les dejeccions, són possibles dues opcions:

- 1) Eliminar part del nitrogen mitjançant el procés combinat de nitrificació-desnitrificació. Amb aquest procés es redueix el nitrogen, però tots els altres nutrients (fòsfor i potassi) romanen, de manera que si hi ha un excedent d'aquests altres nutrients, s'hauran de concentrar per transportar-los a llargues distàncies a baix cost. És convenient dimensionar la instal·lació per reduir el nitrogen tan sols en la part que sobra, la part excedent. Pretendre aconseguir aigua completament depurada té un cost excessiu. D'altra banda, si es redueix el nitrogen a valors per sota de les necessitats dels conreus, posteriorment caldrà complementar-lo amb fertilitzants minerals, la qual cosa representarà un cost afegit innecessari.
- 2) Concentrar els nutrients, per poder-los transportar a llargues distàncies, per ser aplicats fora del pla de gestió. El producte concentrat s'ha de posar a la disposició de gestors de residus o d'altres agents amb capacitat per poder valoritzar el producte en el mercat dels fertilitzants. Els mètodes per concentrar poden ser diversos: separar sòlids i líquids amb l'addició d'algun agent coagulant que permeti una concentració elevada a la fracció sòlida; obtenir sals d'amoni, mitjançant l'aplicació del procés de *stripping* i absorció; obtenir sals de fòsfor i amoni, mitjançant la precipitació d'estruvita, i l'evaporació de part de l'aigua, si es disposa d'energia a baix cost. Aquests processos es veuen molt millorats amb la digestió anaeròbia prèvia i la producció de biogàs, ja que modifica les característiques de les dejeccions i, a més a més, pot aportar part de l'energia necessària.

Tot tractament presenta un cost econòmic, però serà interessant si aquest cost més el cost de transport de l'efluent tractat és menor al cost de transport per valorar les dejeccions mitjançant l'aplicació al sòl en les dosis adequades. Avaluar el cost de transport actual dóna un valor molt útil per prendre decisions. En les taules 3.1 i 3.2 s'indiquen alguns valors estimats de costos de transport, que poden servir com a guia.

Taula 3.1. Estimació dels costos de transport (€/h), segons el tipus de vehicle i la capacitat d'aquests vehicles

Tipus vehicle	Capacitat (m ³)	Consum (L gasoil/h)	Potència (CV)	Cost (€/h)
Dúmper	20	15	320	31,9
	25	16	375	34,0
	30	17	400	36,9
Camió amb remolc	16	15	320	30,2
	22	16	375	32,3
	27	17	400	35,1
Tractor	16	16,8	140	26,9

Taula 3.2. Estimació dels costos de transport depenent de la distància, per a una velocitat mitjana de 20 km/h i un cost horari mitjà segons la taula 3.1

Distància (km)	€/m ³
2	0,29
4	0,58
6	0,87
8	1,17
10	1,45
12	1,75
15	2,18
20	2,75

Els costos de les Taules 3.1 i 3.2 s'han calculat a partir de preus de 2001, aplicant l'IPC per actualitzar-los al 2004. Cal notar que son costos i no preus de mercat. Aquests darrers s'obtidrien sumant el benefici industrial i els impostos corresponents. Així mateix, per calcular millor el cost de transport de la Taula 3.2, caldria tenir en compte el temps de càrrega i de descàrrega.

4. FITXES DE CARACTERITZACIÓ DELS TRACTAMENTS

A continuació es detallen els tractaments més importants, amb indicació del que fan i dels rendiments que s'hi poden aconseguir per als paràmetres que caracteritzen la contaminació. L'usuari que ha de decidir quin tractament necessita ha de definir prèviament quin problema té: de transport, de nitrogen, etc.

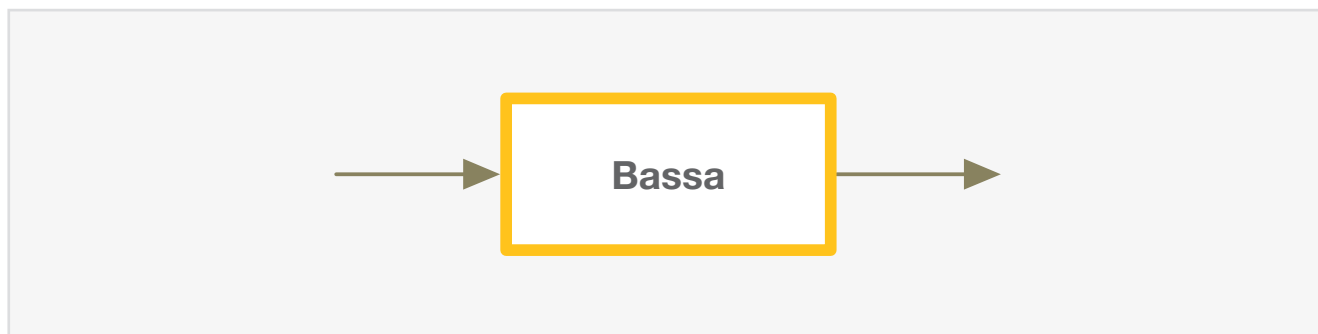
Els processos unitaris són els següents:

- 4.1.** Basses
- 4.2.** Additius (*fluiditzant, activadors del creixement de biomassa, floculant*)
- 4.3.** Separadors sòlid/líquid
- 4.4.** Compostatge
- 4.5.** Nitrificació–desnitrificació
- 4.6.** Digestió anaeròbia
- 4.7.** Digestió aeròbia
- 4.8.** Evaporació i assecatge
- 4.9.** Stripping i absorció
- 4.10.** Ultrafiltració i osmosi inversa
- 4.11.** Ozonització

Els processos anteriors es poden combinar per aconseguir un objectiu determinat. Les combinacions d'interès apareixen en l'apartat 5, i els esquemes corresponents, en l'apartat 6. En aquest apartat es descriuen dues d'aquestes combinacions com a exemple de diferents graus de complexitat tecnològica.

- 4.12.** *Combinació de processos per l'eliminació de nitrogen*
- 4.13.** *Combinació de processos per a la reducció de volum per concentració tèrmica*

4.1. BASSES



Les basses són una eina fonamental per regular l'equilibri entre la producció contínua de purins i l'aplicació estacional als conreus. Aquesta regulació es realitza mercès al volum de la bassa, que ha de ser el necessari per fer una bona gestió dels nutrients, principalment del nitrogen. Per calcular el volum necessari de la bassa s'han de planificar les aplicacions.



Figura 4.1.
*Bassa excavada amb
làmina de polietilè*

A què afecta?

Durant l'emmagatzematge es produeixen efectes interessants, com ara la reducció de patògens i un cert grau de mineralització. Per contra, es produeixen fermentacions no controlades i pèrdues per volatilització d'amoníac i compostos orgànics, per la qual cosa es generen males olors i pèrdua de valor fertilitzant. Per evitar-ho, és convenient cobrir les basses, que siguin exteriors a la nau, per evitar que els animals respirin l'ambient enrarit a causa de la volatilització de l'amoníac i la matèria orgànica, i que, a més a més, la bassa estigui fora del recinte sanitari de la granja, per facilitar l'evacuació sense que hi entrin tractores i cisternes. Això darrer permet estalviar en desinfecció d'aquests equips.

El volum depèn del cabal de purins que es generin. Com més aigualts siguin, més cabal es produirà i més volum caldrà. Un estalvi en aigua a la granja repercutirà sempre econòmicament i d'una manera positiva en el volum necessari de bassa i en el cost de transport.

Avantatges

- Aprofitament del valor fertilitzant dels purins quan els conreus ho necessiten.
- Reducció de patògens i, en general, reducció de la capacitat de contaminació microbiològica, encara que no total.
- Reducció de pèrdua de valor fertilitzant, de males olors i de molèsties al veïnat, si la bassa és coberta.
- Reducció d'aigua de pluja que entra a la bassa, i que incrementarà el cost del transport, si la bassa és coberta.

Desavantatges

- Si el volum necessari és molt gran, la superfície ocupada i la inversió poden ser elevades. En aquesta situació pot ser interessant plantejar basses col·lectives per reduir costos, però sense oblidar que s'han de gestionar.
- Si les basses no són cobertes, s'augmenta el volum dels purins per efecte de la pluja i es produeixen emissions gasoses a l'atmosfera que ocasionen males olors.
- La bassa no és un element estàtic, cal tenir-ne cura: cal revisar possibles fuites i netejar el fons periòdicament per retirar sorres i altres materials que redueixin la capacitat d'emmagatzematge i comprovar l'impermeabilitat de la mateixa. No és estrictament un inconvenient, però implica la dedicació necessària d'un temps per al manteniment.

Intervals de rendiments

El paràmetre més important és el temps d'emmagatzematge, que té un efecte directe sobre la supervivència de microorganismes patògens, com es pot veure en la Taula 4.1.

Taula 4.1. Supervivència de patògens en els purins

Microorganismes Patògens	Temps de permanència
<i>Yersinia enterocolitica</i>	< 1 setmana
<i>Pasteurella multocida</i>	6 dies
<i>Fusobacterium necrophorum</i>	6 dies
<i>Escherichia coli</i>	1-5 setmanes
<i>Salmonella</i>	De 2 setmanes a 5 mesos
<i>Leptospira</i>	4-5 mesos
<i>Clostridium perfringens</i>	> 7 mesos
<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	9 mesos

Exemple de càlcul del volum que ha de tenir una bassa

El temps d'emmagatzematge s'ha de calcular basant-se en el valor fertilitzant dels purins, i sempre amb el valor mínim que dicti la normativa vigent. A Catalunya, aquest temps mínim ve determinat en el Decret 61/1994, de 22 de febrer, sobre la regulació de les explotacions ramaderes, i l'Ordre del 7 d'abril de 1994, per la qual es fixen les normes d'ordenació de les explotacions porcines, avícoles, cunícoles i bovines. En qualsevol cas, el volum ha de ser tal que s'adapti a les necessitats temporals de fertilització de cada conreu, i com més gran sigui, menor serà el perill de transmetre malalties i més seguretat es tindrà.

Les necessitats dels conreus i els mesos en què no es pot adobar estan regulats pel Decret 205/2000, de 13 de juny, d'aprovació del programa de mesures agronòmiques aplicables a les zones vulnerables en relació amb la contaminació de nitrats procedents de fonts agràries. El *Manual del codi de bones pràctiques agràries: nitrogen*,¹ editat pel DARP, aporta també informació molt útil en aquest sentit.

Suposem una granja que produeix cada mes el cabal de purins que s'indica en la taula següent, a la columna A, amb el contingut en nitrogen que s'indica a la columna B. Aquests valors s'obtenen a partir del nombre d'animals, aplicant els valors de la taula 2.2 o una altra correlació.

Taula 4.2. Exemple de càlcul del volum d'una bassa

Mes	Entrades a la bassa		Sortides de la bassa	Entrada acumulada, mes a mes	Sortida acumulada, mes a mes	Nitrogen romanent a la bassa I	Nitrogen romanent a la bassa II	Volum romanent de purins
	m ³ /mes	kgN/mes	kg N/mes	Kg N	Kg N	Kg N	Kg N	m ³
	A	B	C	D	E	F	G	H
Gener	372	2.232	1.200	2.232	1.200	1.032	1.684	281
Febrer	336	2.016	3.700	4.248	4.900	-652	0	0
Març	372	2.232	2.160	6.480	7.060	-580	72	12
Abril	360	2.160	0	8.640	7.060	1.580	2.232	372
Maig	372	2.232	0	10.872	7.060	3.812	4.464	744
Juny	360	2.160	0	13.032	7.060	5.972	6.624	1.104
Juliol	372	2.232	0	15.264	7.060	8.204	8.856	1.476
Agost	372	2.232	0	17.496	7.060	10.436	11.088	1.848
Setembre	360	2.160	5.400	19.656	12.460	7.196	7.848	1613
Octubre	372	2.232	6.400	21.888	18.860	3.028	3.680	613
Novembre	360	2.160	4.720	24.048	23.580	468	1.120	187
Desembre	372	2.232	2.700	26.280	26.280	0	652	109
Total (any)	4.380	26.280	26.280					

1. <http://www.gencat.net/darp>

A: cabal de purins que es produeix cada mes, en m³/mes.

B: contingut en nitrogen dels purins produïts cada mes, en kg N/mes.

C: kg de nitrogen que cada mes s'aplicaran a les parcel·les. Si el nitrogen total que s'aplica a l'any és inferior a la suma del nitrogen que ha entrat a la bassa (suma de columna B), cal planificar altres sortides i incloure-les en aquesta columna. La suma dels valors d'aquesta columna ha de ser igual a la suma de la columna B.

D: suma de B, des de principis d'any, mes a mes. Si no hi hagués sortides de la bassa, seria la quantitat de nitrogen que s'hauria acumulat des de principis d'any, per a cada mes.

E: suma de C, des de principis d'any, mes a mes. Correspon a les necessitats acumulades de nitrogen des de principis d'any, per a cada mes. El valor per al mes de desembre ha de ser igual al valor per al mateix mes de la columna D, i igual a la suma total de B.

F: diferència entre D i E, mes a mes. Aquest valor correspondria a la quantitat de nitrogen que queda com a romanent a la bassa. Els valors negatius corresponen a mesos en què hi ha dèficit. A l'exemple, el mes amb més dèficit és febrer, amb 652 kg.

G: suma de F i el valor del mes amb més dèficit, mes a mes. Per tal que no es produeixi dèficit mai, cal assegurar que sempre hi ha disponible un valor equivalent al màxim dèficit calculat a la columna F. En aquesta columna G, se suma a tots els mesos de la columna F aquest valor, i el valor més elevat obtingut correspon a la capacitat que ha de tenir la bassa en el mes en què cal tenir més nitrogen disponible (a l'exemple, l'agost), per tal de poder cobrir les necessitats de fertilització fins que la bassa quedi buida (en l'exemple, el febrer).

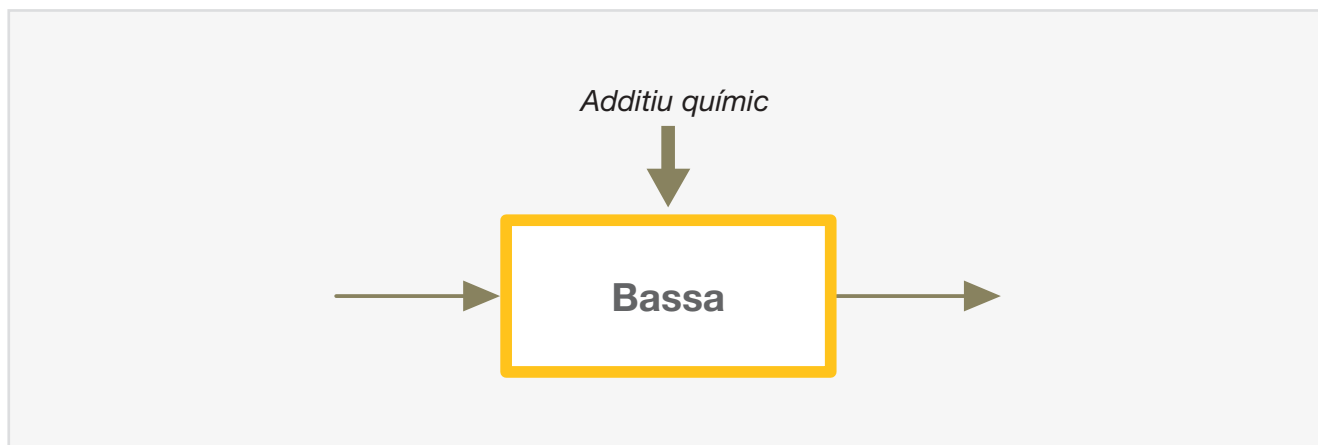
H: si en lloc d'utilitzar com a unitat de càlcul el nitrogen s'utilitza el cabal de purins, la metodologia serà la mateixa, i en lloc de la columna G s'obtindria el valor de la columna H. El valor més alt d'aquest valor correspondrà a la capacitat que ha de tenir la bassa.

A partir del valor màxim de G, es calcula el temps d'emmagatzematge i el volum total de la bassa, que en l'exemple es fa de la manera següent:

$$\text{Temps de magatzem} = \frac{11.088 \text{ kgN}}{26.280 \text{ kgN/any}} \cdot 12 \text{ mesos/any} = 5,06 \text{ mesos}$$
$$\text{Volum de magatzem} = \frac{4.380 \text{ m}^3/\text{any}}{12 \text{ mesos/any}} \cdot 5,06 \text{ mesos} = 1.848 \text{ m}^3$$

Cal notar que si la concentració de nitrogen hagués estat més elevada (a l'exemple s'ha considerat 6 kg N/m³), aleshores el volum necessari de la bassa hauria estat més baix, per a un mateix temps d'emmagatzematge. En tot cas, el volum mínim legal s'ha de respectar.

4.2. ADDITIUS A BASSES I PINSOS



Els additius són productes químics o biològics que s'apliquen als purins o al pinso amb l'objectiu de modificar les característiques de les dejeccions, per a l'aplicació posterior al sòl, millorar el maneig, reduir les emissions de gasos contaminants i/o millorar l'ambient en locals d'estabulació i el benestar dels animals.

Es poden aplicar directament a la corralina, a la fossa, a la bassa, o en el moment de carregar els purins a la bóta. També hi ha compostos que s'afegeixen al pinso; aquests compostos són additius alimentaris i han d'estar registrats com a tals.



Figura 4.2.
Bassa amb agitació i dispositiu per aplicar additius

A què afecta?

Els objectius que pretenen són molt diferents i es poden agrupar en els grups següents:

- Reduir les emissions d'olors.
- Reduir les emissions d'amoníac i altres gasos contaminants.
- Fluidificar, evitar la formació de crostes i el creixement d'insectes.

Tipus d'additius

Additius per als purins

- *Agents emmascaradors*. Són compostos aromàtics (olis) amb una forta olor que emmascara l'olor dels purins o els fems.
- *Agents bloquejants*. Són mescles d'olis aromàtics que neutralitzen els compostos volàtils responsables de les males olors.
- *Additius microbiològics*. Són cultius bacterians o preparats enzimàtics o combinacions de bacteris i enzims que digereixen de manera accelerada la matèria orgànica, principalment les cel·luloses no digerides per l'animal. També poden eliminar alguns compostos olorosos o fixar el nitrogen amoniacal en forma de nitrogen orgànic.
- *Productes adsorbents*. Compostos de gran àrea superficial que adsorbeixen compostos olorosos abans que es volatilitzin.
- *Additius químics*
 - *Agents oxidants*. Clorurs (gas o hipoclorit sòdic), permanganat potàssic, peròxid d'hidrogen. Aquests productes oxiden sulfurs i inhibeixen la producció de sulfhídric. També s'ha usat ozó.
 - *Agents precipitants*. Sals de ferro o zinc que reaccionen amb sulfurs i produeixen compostos insolubles.
 - *Control de pH*. Sosa o calç, augmenten el pH i inhibeixen la producció de sulfurs, prevenen la volatilització de sulfhídric i, com a contrapartida, s'incrementen les emissions d'amoníac. Amb l'addició d'àcids baixa el pH i disminueixen les emissions d'amoníac, però augmenten els problemes d'olors per volatilització de compostos àcids.
 - *Acceptors d'electrons*. Eviten la formació de sulfurs a partir de sulfats i disminueixen les olors, com ara el nitrat sòdic.

Additius per al pinso

- *Agents emmascaradors de l'olor*, com ara l'extracte d'artemisa o l'oli de menta.
- *Enzims, microorganismes i extractes de plantes, per exemple, sarsaponina, extracte de iuca (Yucca schidigera)*. La sarsaponina pot reduir el nitrogen amoniacal, augmentar el nitrogen orgànic i promoure accions beneficioses dels microorganismes a les basses. Sembla que millora el pes i la taxa de conversió dels animals. La *sarsaponina* no és absorbida per l'animal; per tant, és un sistema fàcil d'additivar i perquè arribi a les dejeccions de manera uniforme. A més a més, aporta enzims suplementaris que poden reduir les olors en les fosses.

- *Agents adsorbents*. Poden adsorbir compostos olorosos. Alguns exemples en són les bentonites, les zeolites i el carbó actiu.
- *Agents químics o biològics per baixar el pH* dels purins i reduir l'emissió d'amoniac. Per exemple, l'aplicació de ferments làctics, d'àcids orgànics (fumàric o cítric) i de carbohidrats molt fermentables.
- *Modificació de les dietes* per reduir el contingut d'amoni en els purins, tot augmentant la digestibilitat.

Avantatges i desavantatges

Una síntesi d'avantatges i inconvenients d'aquests productes es presenta a la Taula 4.3.

Intervals de Rendiments

En general, l'eficiència d'aquest tipus de compostos no està contrastada. Molts poden ser efectius per a una cosa, però ser perjudicials per a una altra.

Poden presentar una gran variabilitat de rendiments segons el producte, l'efecte que es pretengui aconseguir i les condicions de treball de cada granja. Els resultats no són sempre satisfactoris.

Intervals de costos

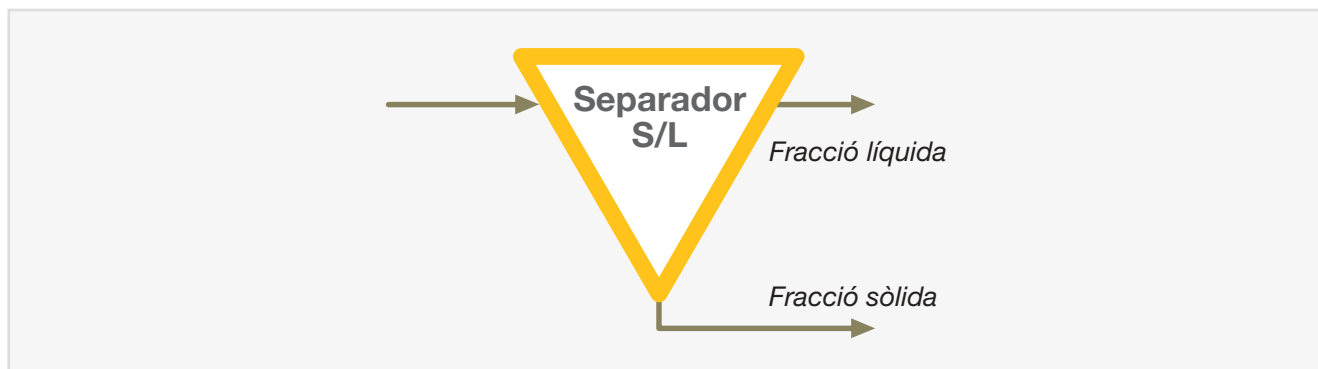
El cost és molt variable i depèn molt del tipus d'additiu de què es tracti. Mentre alguns estudis en l'àmbit europeu estimen costos compresos entre 5 i 30 euros/porc, altres referències donen valors entre 0,25 i 1,25 euros/porc.

Taula 4.3. Síntesi d'avantatges i desavantatges dels additius per a pinsos i dejeccions

	Avantatges	Desavantatges
Additius per als purins o els fems (en fosses o basses)		
Agents emmascaradors	<ul style="list-style-type: none"> - Disminueixen les males olors a curt termini - Baix cost - Fàcil i segur d'utilitzar 	<ul style="list-style-type: none"> - Efectivitat difícil de predir - Només vàlid a curt termini - No té cap efecte sobre les emissions d'amoniac o sulfhídric
Agents bloquejants	<ul style="list-style-type: none"> - Poden disminuir les olors a curt termini - Fàcil i segur d'utilitzar 	<ul style="list-style-type: none"> - Efectivitat difícil de predir - No té cap efecte sobre les emissions d'amoniac o sulfhídric
Additius microbiològics	<ul style="list-style-type: none"> - Poden reduir olors i emissions gasoses - Poden ser efectius per fluiditzar i reduir la formació de crostes - Poden transformar nitrogen amoniacal en orgànic - Poden millorar les eficiències posteriors de separació sòlid-líquid 	<ul style="list-style-type: none"> - Resultats molt variables, poc contrastats i poc reproduïbles - Pitjors resultats en condicions de camp que en laboratori, per competència amb microorganismes autòctons i per absència de condicions ambientals òptimes de desenvolupament dels microorganismes
Productes adsorbents	<ul style="list-style-type: none"> - Pot reduir l'olor en determinades condicions 	<ul style="list-style-type: none"> - Efectivitat difícil de predir
Additius químics	<ul style="list-style-type: none"> - Poden reduir les emissions d'alguns compostos 	<ul style="list-style-type: none"> - Poden tenir efectes indesitjables sobre altres compostos - Són productes perillosos, en algun cas difícils de manipular, i poden ser perillosos per al medi ambient i per a l'ús posterior de les dejeccions
Additius per al pinso (amb registre legal per a aquest fi)		
Agents emmascaradors	<ul style="list-style-type: none"> - Poden reduir olors 	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiència no contrastada
Enzims, microorganismes i extractes de plantes	<ul style="list-style-type: none"> - Poden reduir olors, les emissions i el contingut de nitrogen amoniacal - Milloren la taxa de conversió dels animals 	<ul style="list-style-type: none"> - Procés no conegut amb detall (falta recerca)
Agents adsorbents	<ul style="list-style-type: none"> - Poden reduir l'olor 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmenta l'excreció de N - Poden reduir l'eficiència de conversió de les dietes
Agents químics o biològics per abaixar el pH	<ul style="list-style-type: none"> - Si aconseguen abaixar el pH es redueix el risc d'emissions d'amoniac 	<ul style="list-style-type: none"> - Pot augmentar la concentració d'àcids grassos volàtils i l'olor associada - L'eficiència no està contrastada
Modificació de les dietes	<ul style="list-style-type: none"> - Abaixa el contingut de nitrogen de les dejeccions, les emissions d'amoniac, del sulfhídric i l'olor 	<ul style="list-style-type: none"> - Un nivell excessiu d'aminoàcids sintètics pot augmentar la concentració de compostos olorosos en l'orina

4.3. SEPARACIÓ DE FASES SÒLID-LÍQUID

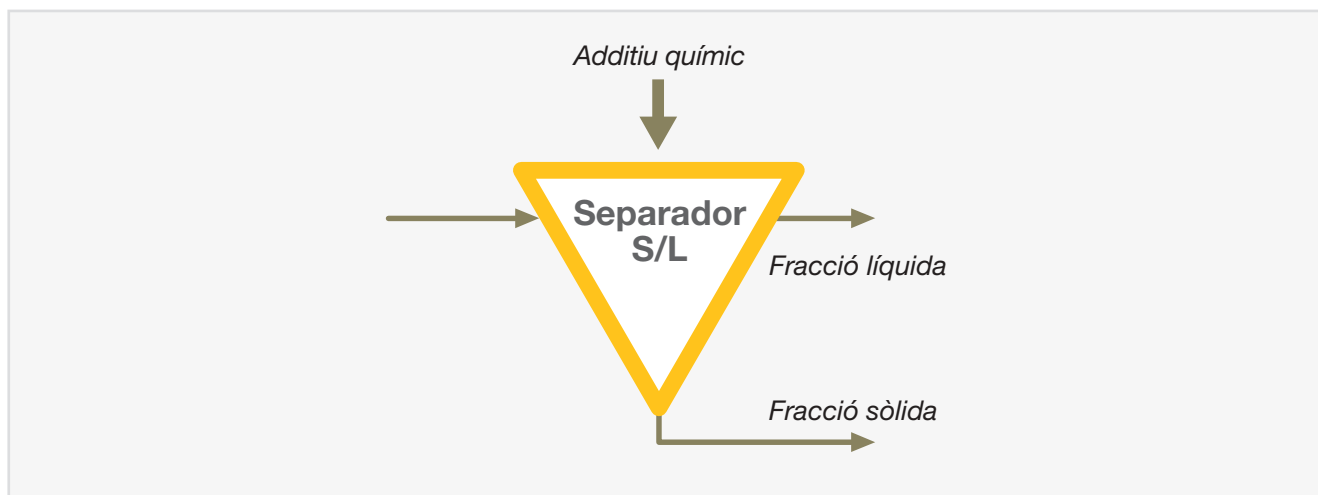
Separació sòlid-líquid física



Procés físic que permet separar els sòlids continguts en unes dejeccions de consistència líquida i generar dues fraccions distintes, una sòlida i l'altra líquida. La fracció sòlida té una concentració de sòlids molt més elevada que les dejeccions originals, i la fracció líquida, una concentració més baixa.

Per augmentar l'eficiència de la separació es pot utilitzar algun tipus d'agent químic. Quan en la separació tan sols s'utilitzin elements mecànics es parlarà de separació física. Quan s'utilitzin agents químics es parlarà de separació fisicoquímica o tractament fisicoquímico, que engloba també processos de precipitació de compostos determinats i la seva separació.

Separació sòlid-líquid fisicoquímica



Els sistemes de depuració o tractament fisicoquímico es refereixen a mètodes de transferència de partícules suspeses en una solució a una fase sòlida, separable mitjançant algun sistema de separació sòlid-líquid. Aquestes partícules es caracteritzen per ser de mida molt petita (col·loides) i per no sedimentar de manera natural, per raó de la seva mida i del fet que tenen càrrega superficial (habitualment negativa), la qual cosa provoca repulsió mútua i la tendència a mantenir la distància entre si en la suspensió. Per aconseguir que aquests col·loides siguin decantables és necessari l'ajut d'agents químics, per provocar la coagulació i/o la floculació.

Els coagulants neutralitzen les càrregues elèctriques repulsives, i permeten que s'aglomerin formant coàguls o flocs, que sedimentaran. Els floculants faciliten l'aglomeració o l'agregació de les partícules, prèviament coagulades o no, per formar flocs més grans i facilitar la sedimentació per gravetat o la separació per flotació.

Les partícules col·loïdals de càrrega superficial negativa normalment estan constituïdes per matèria orgànica. Quan es vol separar un compost en dilució, cal trobar un compost químic amb el qual formi una sal que precipiti. D'aquesta manera, serà habitual en la fracció líquida de dejeccions ramaderes voler separar fòsfor, el qual es pot trobar en forma de fosfat. Si es vol precipitar diferents formes de fosfat de calç, s'ha d'afegir hidròxid de calç com a precipitant. Si es vol precipitar estruvita (fosfat amònic magnèsic), cal afegir hidròxid de magnesi. Obtenir estruvita aporta l'avantatge de separar de manera conjunta nitrogen i fòsfor.

Són coagulants habituals el sulfat d'alumini, el sulfat de ferro o el clorur de ferro. Aquests coagulants produeixen uns flocs voluminosos que, quan sedimenten, provoquen un efecte afegit d'escombrada o arrossegament de compostos que troben en la seva trajectòria. Com a floculants trobem una àmplia família de compostos orgànics amb càrrega superficial, anomenats polielectròlits. És convenient que els precipitants, els coagulants o els floculants no aportin compostos que puguin afectar la qualitat i l'ús posterior de la fracció sòlida separada.



Figura 4.3.
Premsa de cargol



Figura 4.4.
Detall de fracció sòlida



Figura 4.5.
Detall de la fracció líquida

A què afecta?

- L'aptitud de les dejeccions davant d'un tractament.
- Redueix les males olors.
- Distribueix els nutrients, segons el cas, cap a la fracció sòlida o cap a la líquida.

Avantatges

- Augment de la capacitat de gestió de les dejeccions, és a dir, augment de la capacitat de prendre decisions.
- Condicionament de les dejeccions per a l'aplicació posterior d'un tractament. Tenir una bona separació sòlid-líquid implica obtenir una fracció líquida clarificada i la possibilitat d'un procés posterior de nitrificació-desnitrificació amb baix consum energètic.
- Control de males olors gràcies al fet que s'eviten processos de descomposició incontrolats.
- L'ús d'agents químics contribueix al procés físic de separació, i els rendiments de la separació milloren.
- Si s'utilitzen polielectròlits orgànics biodegradables i no tòxics, la fracció sòlida es pot tractar per digestió anaeròbia i/o compostatge.

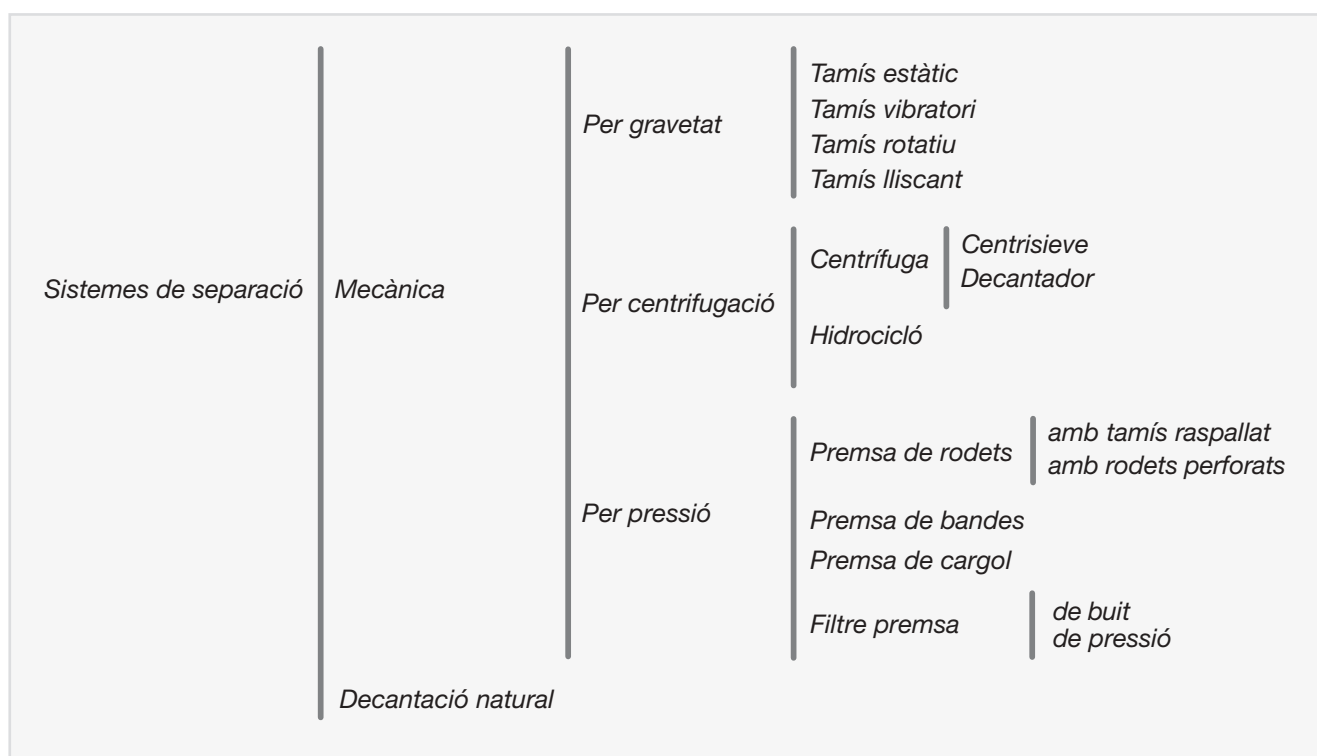
Desavantatges

- L'ús d'agents químics pot representar un cost d'operació important.
- L'eficiència pot dependre del pH, que s'haurà de controlar.
- Tant la separació física com la fisicoquímica són processos de separació i, per tant, no eliminen per si sols ni matèria orgànica ni nitrogen.

Classificació de sistemes

A la Taula 4.4. es presenta una classificació de sistemes en funció del mecanisme utilitzat per a separar. A la Figura 4.6. s'inclouen esquemes d'alguns dels equips.

Taula 4.4. Classificació de sistemes de separació sòlid - líquid



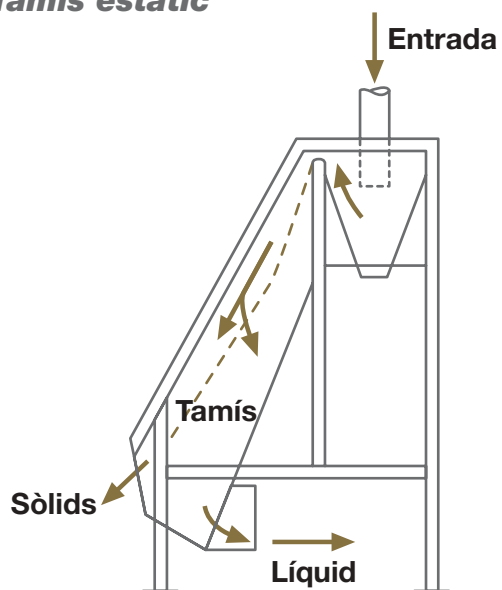
Si la mida dels sòlids és molt heterogènia pot ser interessant treballar amb una combinació de sistemes de separació. En aquest sentit, es pot plantejar un desbast previ del producte que s'ha de separar mitjançant tamisatge seguit d'un procés de separació més fina (per centrifugació o bé per pressió).

Intervals de rendiments

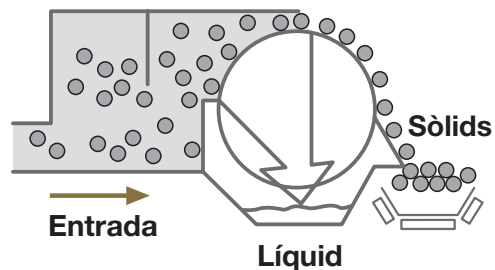
L'eficiència del procés de separació sòlid-líquid depèn de diversos factors: la tipologia de les dejeccions i la seva composició, el tipus de separador utilitzat i les condicions d'operació, l'ús d'agents floculants, etc. Aquesta dependència explica la gran variabilitat en els rendiments i el fet que poques empreses garanteixin eficiències determinades en qualsevol circumstància.

A la Figura 4.7 i a la Taula 4.5 es mostren valors de rendiments de diferents equips, segons dades bibliogràfiques, y a la Taula 4.6 un exemple per a prensa cargol.

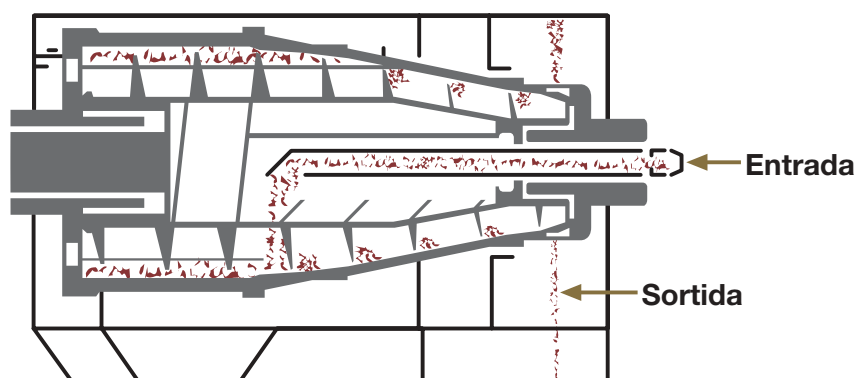
Tamís estàtic



Tamís rotatiu



Decantador centrífug



Premsa de cargol

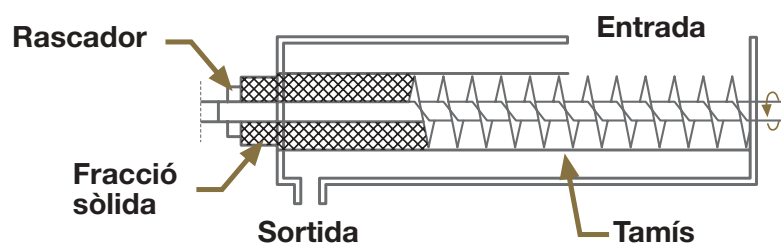


Figura 4.6. Esquemes de sistemes de separació sòlid - líquid

Taula 4.5. Valors bibliogràfics de l'eficiència de la separació (percentatge de component separat de la fracció líquida)

Separador	Eficiència (%)			
	Sòlids	DQO	Nitrogen	Fòsfor
Tamís estàtic	0-40	0-40	0-10	0-10
Tamís vibratori	0-50	0-50	0-10	0-30
Prensa de bandes	10-60	30-60	10-40	20-80
Prensa de cargol	20-60	30-60	10-40	30-80
Decantador centrífug	20-60	30-60	10-40	40-80

Taula 4.6. Exemple de càlcul de rendiments per a una prensa de cargol

Paràmetre	Fracció líquida (% de l'entrada)	Fracció sòlida (% de l'entrada)
Cabal màssic	75-85	15-25
Sòlids totals	40-80	20-60
Sòlids volàtils	30-70	30-70
DQO	40-70	30-60
Nitrogen	60-90	10-40
Fòsfor	20-70	30-80

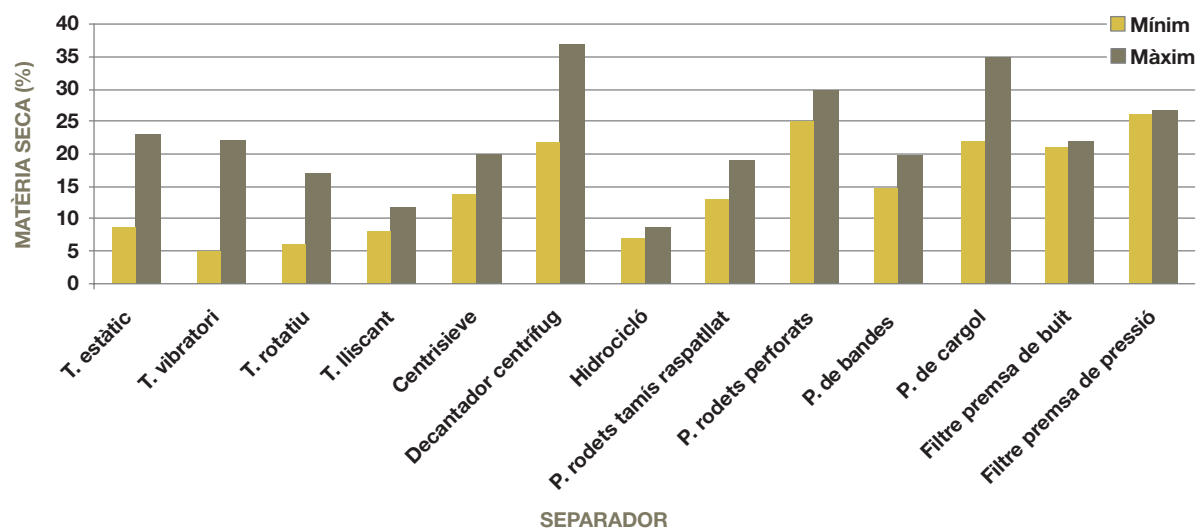
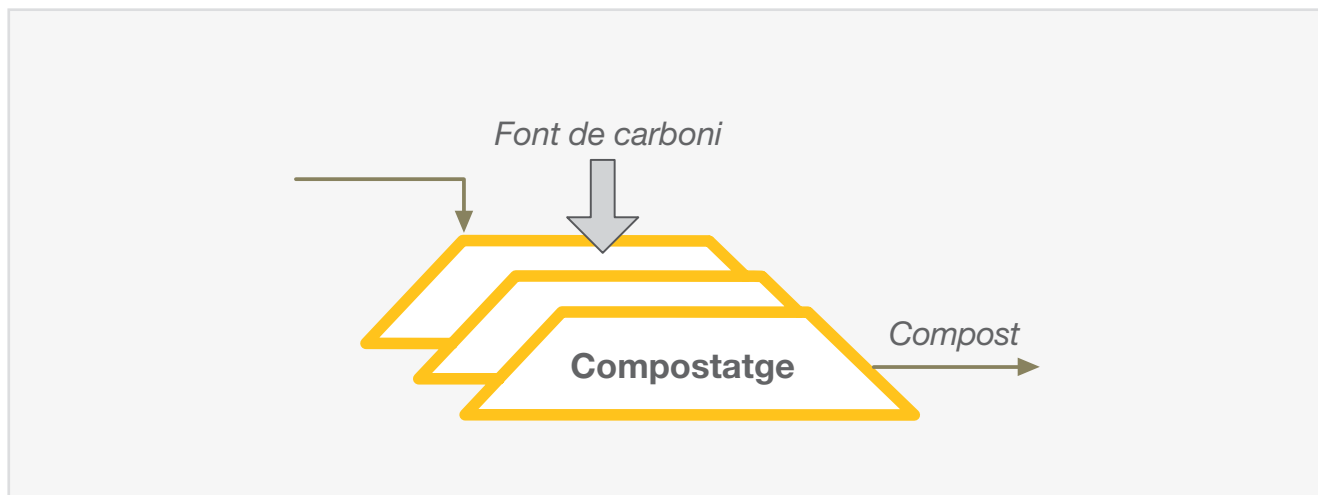


Figura 4.7. Contingut en matèria seca de la fracció sòlida segons el tipus de separador

Interval de costos

El cost pot estar comprès entre 0,55 i 1,1 euros/tona de dejecció líquida tractada. Aquest cost pot arribar als 3 euros/tona segons la sofisticació de l'equip.

4.4. COMPOSTATGE



El procés de compostatge consisteix en la descomposició biològica aeròbia i l'estabilització de substrats orgànics, sota condicions que permetin el desenvolupament de temperatures termòfiles (entre 50 i 70 °C), com a resultat de la generació d'energia calorífica d'origen biològic, de la qual s'obté un producte final estable, lliure de patògens i llavors, i pot ser aplicat al sòl beneficiosament.



Figura 4.8. Piles de compostatge

A causa de l'acció dels microorganismes, es consumeix oxigen i es produeix diòxid de carboni, aigua i calor (veieu Figura 4.9). El sistema té, doncs, un requeriment d'aire que pot ser subministrat per volteig de la pila o per sistemes més complexos, com ara l'aireig amb un bufador.

L'aeració té diverses funcions: proporcionar oxigen als microorganismes i regular l'excés d'humitat per evaporació, que, a la vegada, mantindrà la temperatura adequada.

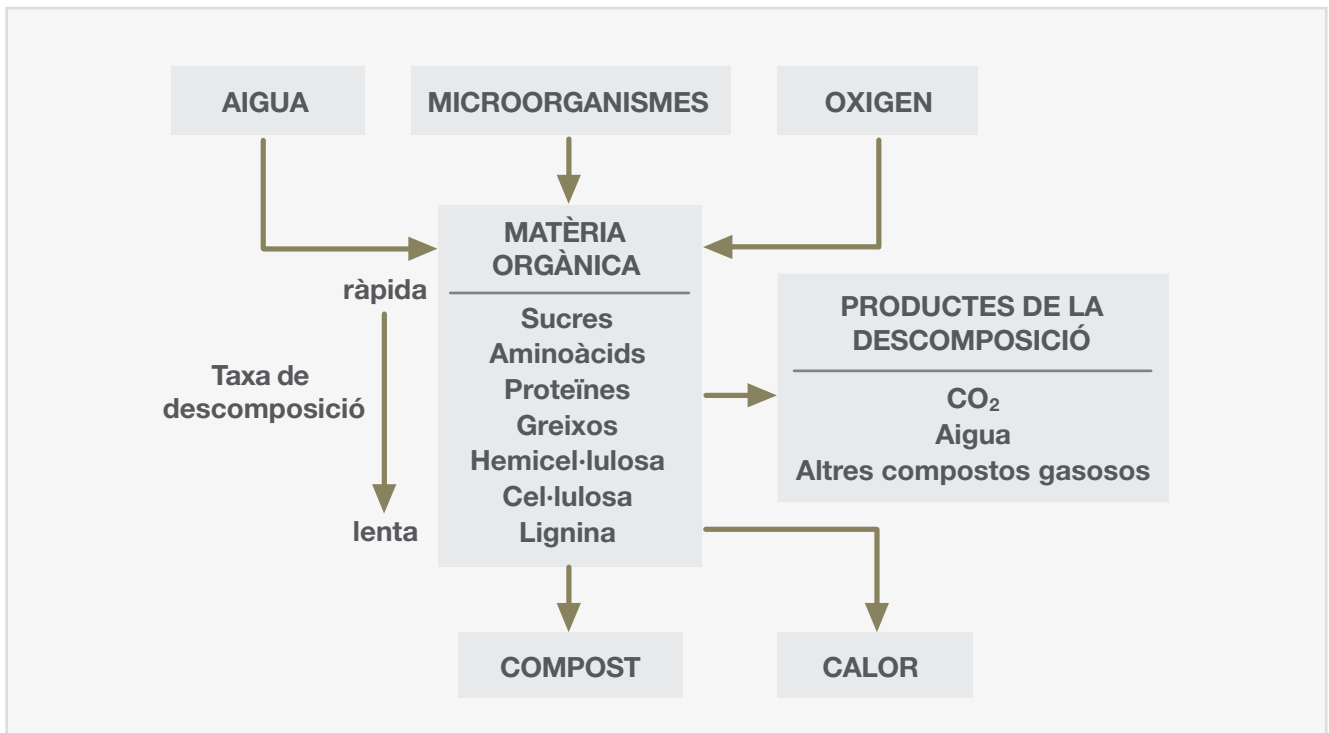


Figura 4.9. Esquema conceptual del procés de compostatge

Condicions inicials

Perquè el procés es pugui iniciar, s'han de complir unes condicions inicials d'humitat, estructura i composició.

Humitat. Si es dona una manca d'aigua, el procés s'alenteix i la matèria orgànica no es pot descompondre totalment. Si, per contra, hi ha un excés d'aigua, l'aigua impedeix que l'oxigen entri als porus i limita el creixement dels microorganismes. Es considera un interval òptim per començar el procés entre el 30 i el 65 % o, en tot cas, sempre per sota del 80 %.

Porositat. Tant la porositat com l'estructura, la textura o la grandària de partícula afecten el procés, ja que limiten o afavoreixen l'aeració i, a la vegada, la descomposició. Normalment, caldrà una mescla dels fems amb matèria vegetal (palla, restes de poda, escorça de pi, etc.) per aconseguir aquesta porositat.

Relació C/N (carboni/nitrogen). Aquesta relació se situarà entre 25 i 35 per començar el procés. Les dejeccions ramaderes acostumen a tenir massa nitrogen, de manera que s'han de barrejar amb materials que tinguin, per contra, molt carboni i poc nitrogen. Cal mesclar amb material vegetal, tant per regular la humitat inicial com la porositat i la relació C/N. En la Taula 4.7 es mostren valors orientatius de la relació C/N per a diferents materials.

Taula 4.7. Valors orientatius de la relació C/N per a diferents productes

Material	C/N
Fracció sòlida de purins	9
Fems de boví	18
Gallinassa	13
Residus de jardí	23
Palla	128
Serradures	511
Escorça de pi	723

Mètodes

A part del sistema més simple i assequible, que consisteix en la formació de piles o fileres d'uns 2 metres d'altura (veieu Figura 4.8), que es voltegen periòdicament i s'humitegen quan cal (fileres voltejades), hi ha altres sistemes que permeten un procés més ràpid i un control més exhaustiu, però a un cost més alt.

El sistema de fileres voltejades és el més simple i universal. Aquestes fileres poden tenir una secció transversal triangular o trapezoïdal, i una longitud que pot ser de més de 20 metres. Si són massa altes (més de 3 metres), la compressió no deixa entrar aire; si són massa baixes, o en general petites, la temperatura costa de pujar perquè, a la pila, li és molt fàcil refredar-se. Per oxigenar es volteja, ja sigui amb una pala de tractor o amb una màquina voltejadora especial. Aquest volteig es fa segons quina sigui la temperatura o la humitat o bé es fa periòdicament.

Procés

A l'inici del procés, si hi ha oxigen disponible per volteig o un altre mètode, les reaccions biològiques de descomposició de la matèria orgànica donen lloc a un increment de la temperatura, que al seu torn provocarà una evaporació de part de la humitat. Cal anar aportant l'aire necessari perquè aquest procés continuï fins que la matèria orgànica descomposable s'exhaureixi i baixi la temperatura. Aquesta és la fase de descomposició. Més tard té lloc la fase de maduració, més lenta, en la qual acaba de tenir lloc el procés d'estabilització a temperatura ambient (veieu Figura 4.10)

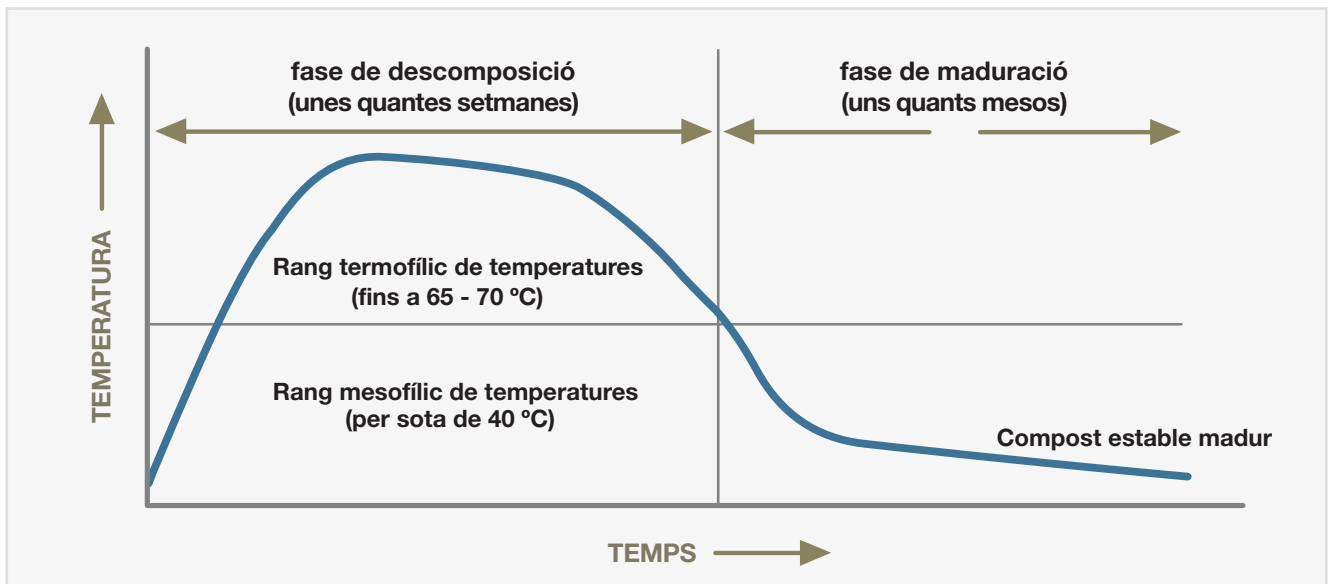


Figura 4.10. Fases del procés de compostatge

A què afecta?

- Les altes temperatures que s'assoleixen durant el procés permeten la higienització de les dejeccions, eliminant patògens, llavors de males herbes, ous i larves d'insectes. Per això, cal assegurar que es mantenen temperatures superiors als 55 °C durant dues setmanes, o superiors als 65 °C durant una setmana.
- S'eliminen també les males olors, per descomposició de compostos volàtils.
- Es redueix el pes, el volum i la humitat.
- En condicions de treball ideals no afecta el nitrogen total, i part del nitrogen amoniacal passa a orgànic. En situacions no ideals, hi ha pèrdua de nitrogen amoniacal, que cal evitar sempre.

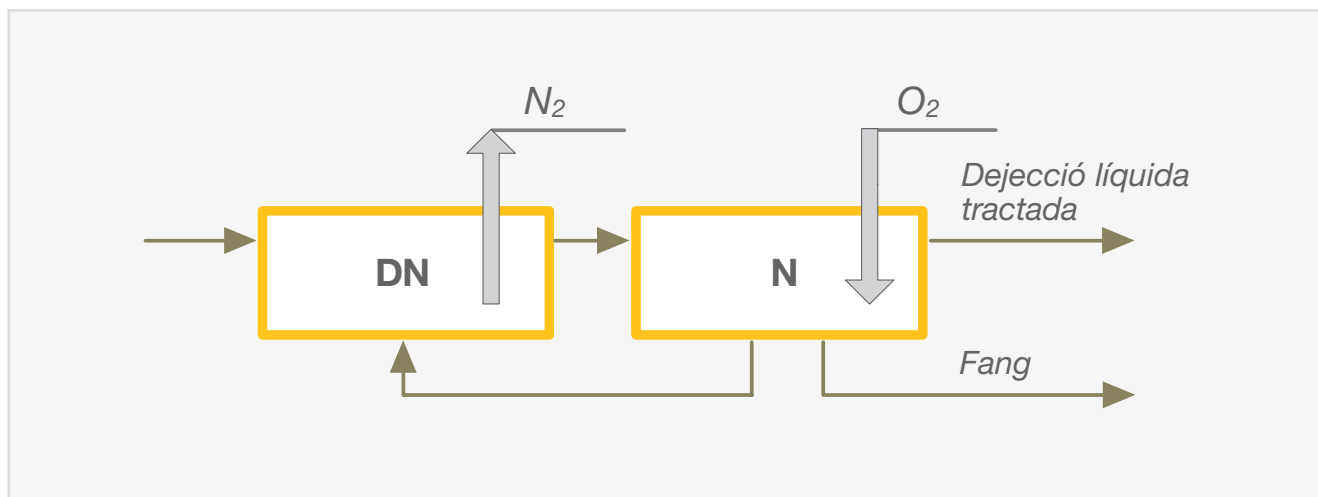
Avantatges

- Obtenció d'una esmena orgànica (compost).
- Redueix pes i volum (entre el 40 i el 50 %), per descomposició de matèria orgànica i evaporació d'humitat. Això facilita la gestió i el transport.
- Pot produir materials alternatius a substrats no renovables, com ara la torba.
- Disminució de les males olors.
- Higienització per efecte de les temperatures assolides.

Desavantatges

- Cal disposar d'espai suficient, una superfície impermeabilitzada i un sistema de recollida de lixiviats, que es podran reutilitzar per regar el compost.
- Si es parteix d'unes dejeccions que continguin una concentració apreciable de metalls pesants, o fins i tot si es barregen amb altres residus que en puguin contenir, aquests metalls es concentren en el compost, amb la qual cosa es perd valor agronòmic.
- Si la relació C/N és molt baixa es perdrà nitrogen per emissió d'amoniac a l'atmosfera.

4.5. NITRIFICACIÓ-DESNITRIFICACIÓ (NDN)



El procés de nitrificació-desnitrificació (NDN) té com a objectiu bàsic l'eliminació del nitrogen que hi ha en un residu. Es tracta d'un procés microbiològic en el qual l'amoni és oxidat per bacteris autòtrofs a nitrat en presència d'oxigen i carboni inorgànic (nitrificació) i, a continuació, aquest nitrat és reduït per bacteris heteròtrofs a nitrogen molecular gas, en absència d'oxigen i presència de carboni orgànic (desnitrificació). El nitrogen molecular (N_2) és un gas inert, component majoritari de l'atmosfera.

Aquest procés s'esquemmatitza a la Figura 4.11, i a les Figures 4.12 i 4.13 s'il·lustra amb imatges de dues plantes tractant la fracció líquida de purins de porc.

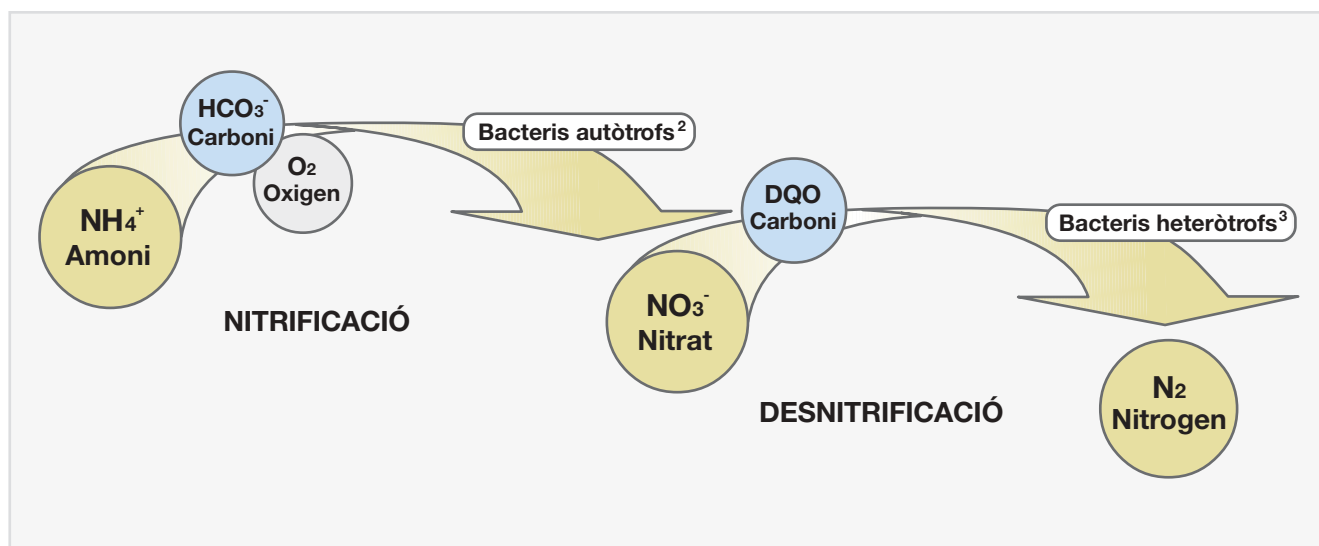


Figura 4.11. Reaccions d'oxidació (nitrificació) i reducció (desnitrificació) que tenen lloc en el procés de tractament NDN

2. Bacteris autòtrofs: com a font de carboni per al seu creixement utilitzen una font inorgànica, com ara el CO_2 o el bicarbonat.

3. Bacteris heteròtrofs: com a font de carboni per al seu creixement utilitzen compostos orgànics.



Fig. 4.12. Instal·lació de nitrificació-desnitrificació



Figura 4.13. Detall reactor aerobi (esquerra) i reactor anòxic (dreta)

A què afecta?

- Transformació de nitrogen orgànic i amoniacal en nitrogen gas inert i no contaminant.
- L'eliminació de la matèria orgànica.
- Pot afectar la volatilització d'amoníac si no es vigila.
- Redueix males olors, o se'n poden generar si no se'n té cura.
- Es modifica el pH i l'alcalinitat.

Avantatges

- Eliminació de nitrogen.
- Eliminació de matèria orgànica sense necessitat d'aportar oxigen.
- Reducció d'emissions de gasos d'efecte hivernacle.
- Reducció de males olors.

Desavantatges

- No permet tancar el cicle del nitrogen, a diferència dels processos de recuperació.
- Cost d'inversió relativament elevada, depenent del nombre d'equips que cal considerar.
- Cost d'explotació que depèn molt del consum elèctric per aeració. Aquest consum acostuma a ser un dels factors que limiten el sistema.
- Necessitat de control a causa de la gran quantitat de variables que hi intervenen: composició del residu, càrregues aplicades, diferents poblacions bacterianes, temperatura, etc.
- Procés sensible a la presència de tòxics i inhibidors, entre els quals hi ha el mateix substrat durant la nitrificació.

- Es genera un fang que caldrà gestionar.
- Com qualsevol procés biològic, ha de funcionar de manera contínua, sense aturades.
- Cal assegurar que les dejeccions aporten suficient carboni orgànic per a la desnitrificació, i carboni inorgànic per a la nitrificació.

Intervals de rendiments

L'eficiència del procés de nitrificació-desnitrificació depèn de diversos factors, un fet que justifica la variabilitat en els rendiments que es presenten. Alguns d'aquests factors serien:

- Composició de les dejeccions.
- Biodegradabilitat de la matèria orgànica.
- Disponibilitat de suficient matèria orgànica durant la desnitrificació.
- Objectiu del tractament (eliminació parcial o total del nitrogen).

El sistema té una entrada, la fracció líquida dels purins (FLP), i dues sortides: l'efluent líquid tractat i els fangs. El nitrogen no eliminat en forma de nitrogen gas (N₂) es distribuirà entre aquestes dues sortides. Intervals usuals, de distribució dels diferents compostos entre les dues sortides, es mostren a la Taula 4.8.

Taula 4.8. Distribució dels diferents components de la fracció líquida dels purins (FLP) entre l'efluent líquid i els fangs en un sistema de nitrificació-desnitrificació.

Paràmetre	Efluent líquid (% de FLP)	Fangs (% de FLP)
Sòlids totals	10-70	40-60
Sòlids volàtils	5-50	40-60
Conductivitat	30-50	-
DQO	5-50	40-60
Nitrogen	5-70	20-30
Fòsfor	10-80	20-90

Els consums elèctrics es mouen entre 10 i 25 kW·h/m³ de purins. Si hi ha hagut una separació prèvia de sòlid/líquid molt bona, amb una gran transferència d'amoni a la fracció sòlida, el cost energètic pot baixar per sota dels 10 kW·h/m³. Aquesta gran variabilitat depèn dels factors següents:

- Eficiència del sistema d'aeració utilitzat.
- Consum d'oxigen per nitrificar (al voltant de 4,6 kg O₂/kg N).
- Consum d'oxigen per oxidar matèria orgànica a la fase aeròbia (que cal evitar, si és possible).
- Contingut de matèria orgànica dels purins.
- Contingut de nitrogen amoniacal i disseny del sistema utilitzat.

Classificació de sistemes i possibles configuracions

A la Taula 4.9 es mostra una classificació de sistemes de nitrificació-desnitrificació, on el terme *biomassa* indica bacteris responsables del procés. A la Figura 4.14 s'il·lustren cinc esquemes de configuracions usuals per a portar a terme aquest procés.

Taula 4.9. Classificació de sistemes de nitrificació-desnitrificació.

Sistemes de separació	Biomassa suspesa (fangs activats)	Continus	Mescla completa Flux pistó Reals
		Discontinus	SBR
	Biomassa fixada	Biodiscs rotatoris Filtres percoladors Filtres submergits Llits fluiditzats Reactors air-lift	
Sistemes desnitrificants	Biomassa suspesa	Contacte anòxic	Continus Mescla completa Flux pistó Reals
			Discontinus SBR
	Biomassa fixada	Altres Filtres anòxics Llits fluiditzats	UASB

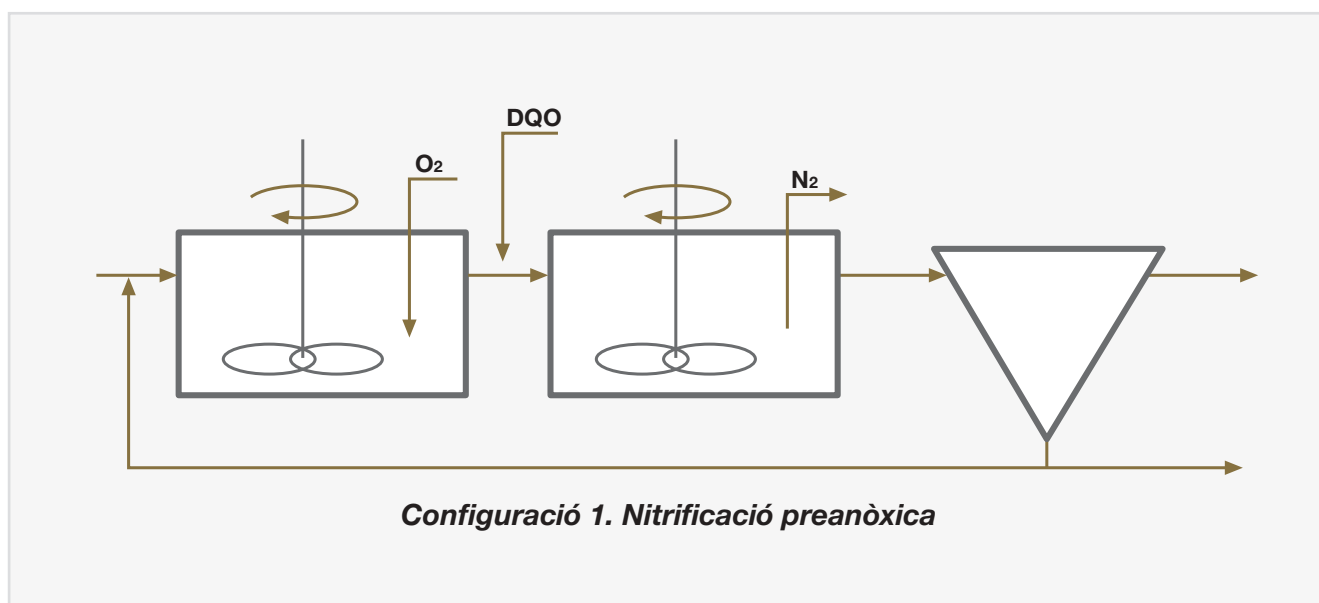
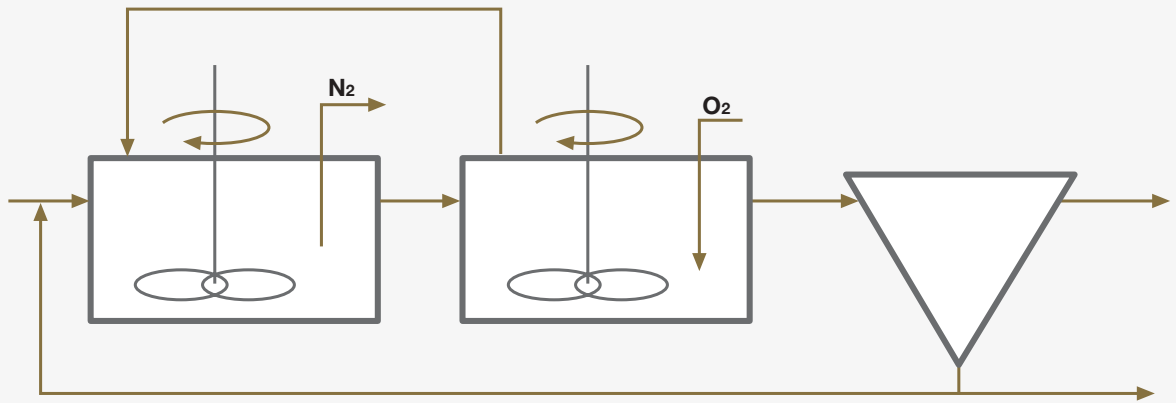
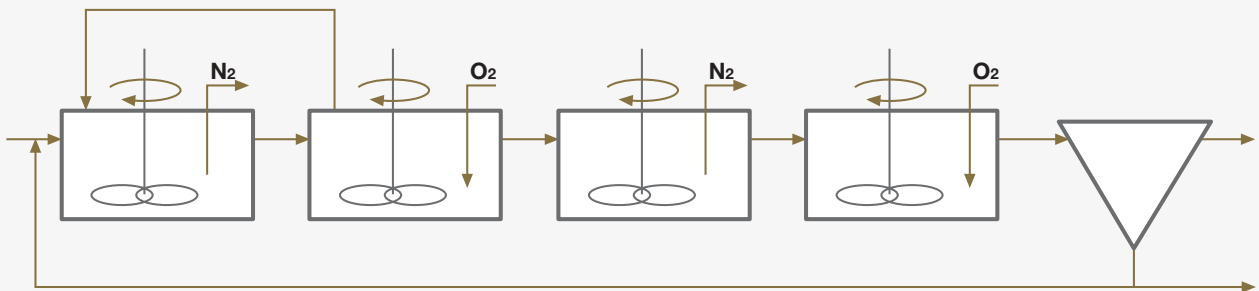


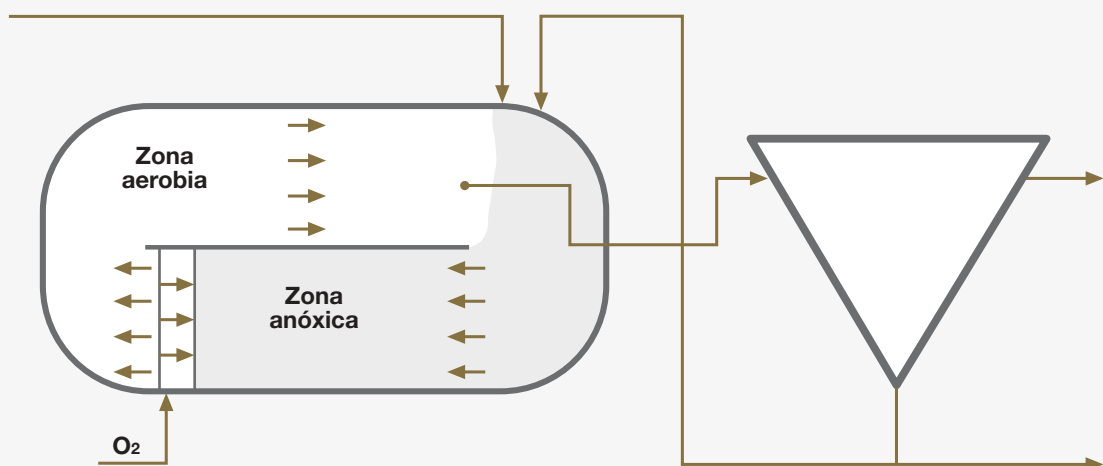
Figura 4.14a. Algunes configuracions de sistemes de nitrificació-desnitrificació



Configuració 2. Nitrificació postanòxica



Configuració 3. Sistema Bardenpho



Configuració 4. Canal d'oxidació

Figura 4.14b. Algunes configuracions de sistemes de nitrificació-desnitrificació

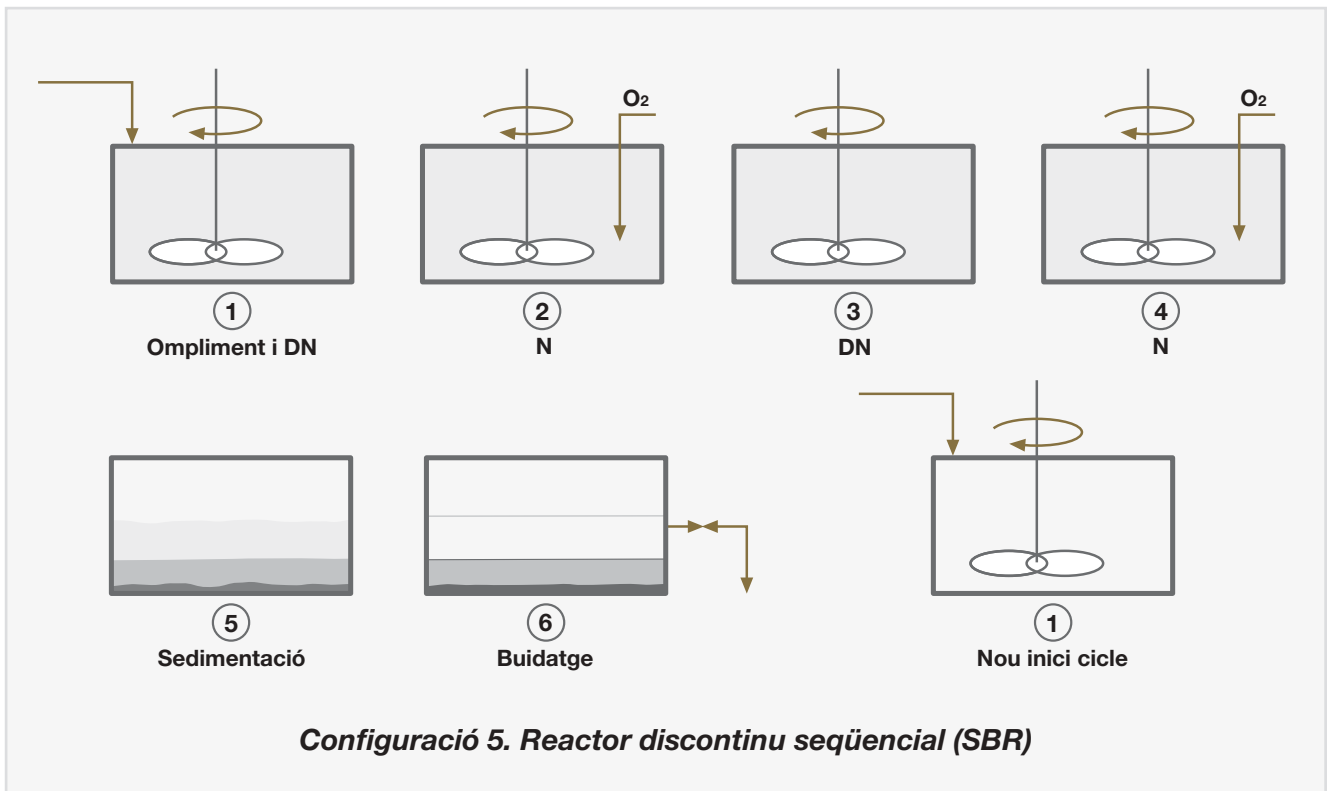
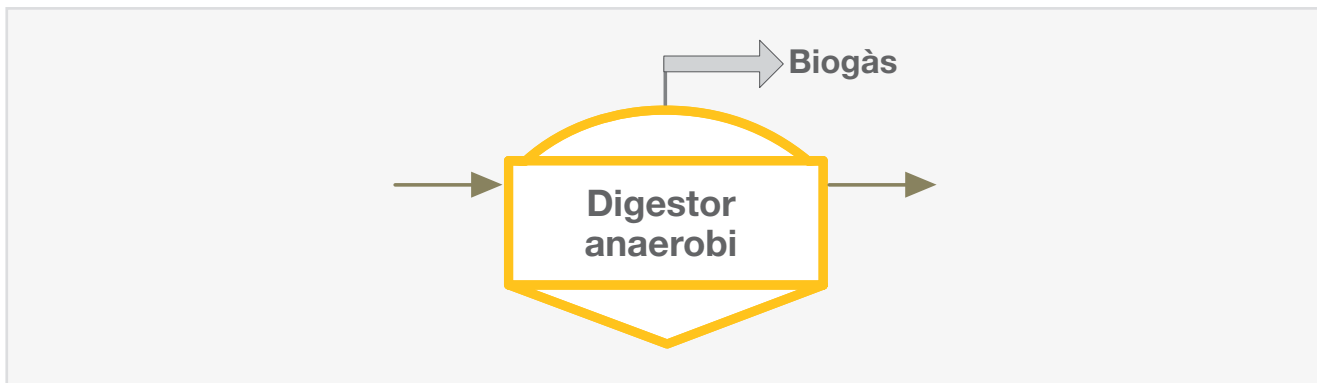


Figura 4.14c. Algunes configuracions de sistemes de nitrificació-desnitrificació

Interval de costos

El cost d'aquest tractament per a purins de porc depèn de l'objectiu plantejat. Considerant exclusivament el procés de nitrificació-desnitrificació, el cost per a un tractament parcial pot estar entre 0,5 i 2,1 euros/tona. Si el tractament és total, considerant la separació prèvia entre sòlid i líquid, i el tractament posterior de la fracció sòlida per compostatge, el cost pot augmentar fins a 2,5 – 5,2 euros/tona.

4.6. DIGESTIÓ ANAERÒBIA



La digestió anaeròbia, també anomenada biometanització o producció de biogàs, és un procés biològic, que té lloc en absència d'oxigen, en el qual part de la matèria orgànica de les dejeccions es transforma, per l'acció de microorganismes, en una mescla de gasos (biogàs), constituït principalment per metà i diòxid de carboni.

Es tracta d'un procés complex en el qual intervenen diferents grups de microorganismes. La matèria orgànica és descomposta a compostos més senzills que són transformats en àcids grassos volàtils, que són els principals intermediaris i moduladors del procés. Aquests àcids són consumits pels microorganismes metanogènics que produeixen metà i diòxid de carboni. Tots aquests processos tenen lloc de manera simultània en el reactor.

L'esquema d'una instal·lació tipus per a residus ramaders es mostra en la Figura 4.15.

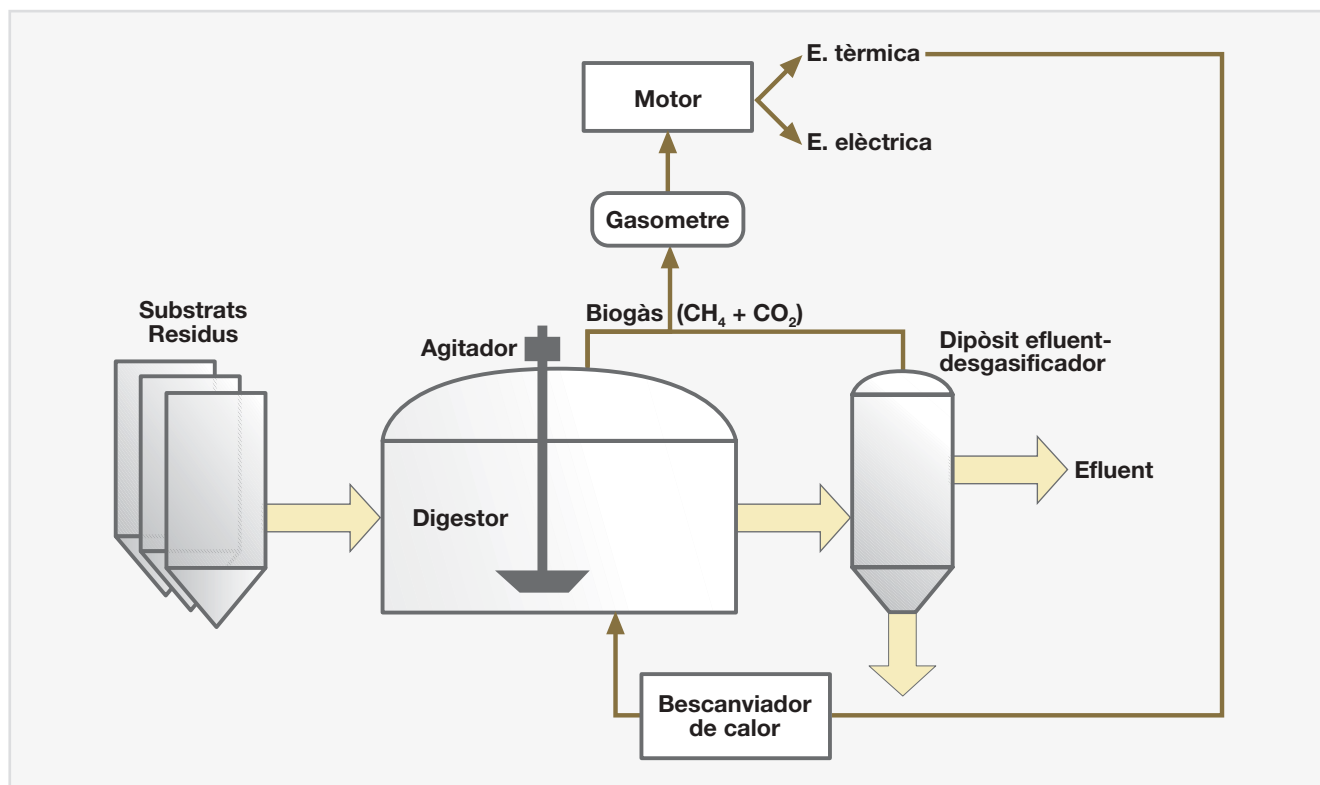


Figura 4.15. Esquema d'una instal·lació tipus per a residus ramaders

El biogàs és combustible, i un metre cúbic de biogàs correspon energèticament a uns 0,6 L de gasoil. El procés es pot fer al voltant dels 35 °C (règim mesofílic) o al voltant dels 55 °C (règim termofílic). Part del biogàs produït s'utilitza per mantenir aquesta temperatura.



Figura 4.16. Planta centralitzada de digestió anaeròbia



Figura 4.17. Planta de digestió anaeròbia en una explotació

A què afecta?

- Redueix la concentració de matèria orgànica.
- Redueix les males olors de les dejeccions.
- Redueix el contingut de sòlids.
- Redueix el contingut de microorganismes patògens (especialment si es fa a 55 °C, és a dir, en règim termofílic).
- La fracció de nitrogen en forma amoniacal augmenta.

Avantatges

- Producció d'energia si s'aprofita el biogàs produït. Balanç energètic positiu.
- Estabilització parcial de la matèria orgànica.
- Mineralització parcial de la matèria orgànica (carboni i nitrogen).
- Homogeneïtzació.
- Higienització parcial.
- Control i reducció de males olors.
- Disminució d'emissions incontrolades de gasos d'efecte d'hivernacle.
- Millora de l'eficiència d'altres processos de tractament a què es poden sotmetre les dejeccions després de passar per la digestió anaeròbia, com ara concentració/evaporació o *stripping* (arrossegament) d'amoníac.

Desavantatges

- Per ser sistemes tancats, estancs, i amb la infraestructura necessària per al control i l'aprofitament del gas produït, requereix inversions elevades.
- Per raó de l'equilibri necessari entre poblacions bacterianes, necessita supervisió tècnica periòdica.
- Baixa velocitat de creixement de microorganismes (requereix temps elevats de retenció — de 15 a 20 dies — i grans volums de reactors).
- Sensible a la presència de molts compostos inhibidors o tòxics (nitrogen amoniacal, metalls pesants, àcids grassos volàtils, àcids grassos de cadena llarga, pH, antibiòtics i desinfectants, sulfurs, etc.).
- No s'elimina nitrogen.

Rendiments

A part de la producció de biogàs, el procés afecta al contingut de matèria orgànica de l'efluent digerit i a la transformació de nitrogen orgànic en amoniacal. A la Taula 4.10 es mostren algunes dades típiques.

Taula 4.10. Rendiments típics que es poden obtenir en la digestió anaeròbia de purins de porcs d'engreix a 35 °C amb un temps de retenció de 20 dies

Paràmetre	Sortida del digestor (% del valor d'entrada)
Cabal	95-98
Sòlids totals	20-45
Sòlids volàtils	40-60
Nitrogen orgànic	60-40
Nitrogen amoniacal	140-160
Nitrogen nítric	0
Fòsfor	100
DQO	40-60

Exemples de càlcul de rendiments

Per a purins de porc d'engreix amb el 6,5 % de MS i 55 g DQO/L, es poden obtenir entre 11 i 18 m³ de biogàs per tona de purí, amb un contingut de metà entre el 65 i el 70 %. A partir dels valors de la Taula 2.2 es poden fer estimacions amb els valors de potencial de producció de biogàs de la Taula 4.11. S'ha de comptar sempre amb un temps de retenció mínim entre 15 i 20 dies. D'aquesta manera, si mitjançant la Taula 2.2 es conclou que cada dia es produeixen 20 m³ de purins, si el temps de retenció és de 20 dies, el volum necessari del digestor serà de 400 m³.

Taula 4.11. Potencials de producció de biogàs per gram de sòlid volàtil de l'influent

Orígen del residu	G ₀ (L biogàs/g SV) Pla d'energia de Catalunya	G ₀ (L CH ₄ /g SV) Hill, 1982
Boví de carn	0,300	0,35
Vaquí de llet	0,300	0,20
Porcí	0,410	0,45
Aviram	-	0,39

Si els purins o els fems han estat emmagatzemats durant força temps, el seu potencial de producció de biogàs és molt inferior als valors indicats, ja que s'ha començat a transformar en biogàs d'una manera incontrolada, i part d'aquest gas ja s'ha perdut prèviament.

Opcions per augmentar el potencial de producció de biogàs

- Aplicar el procés de digestió anaeròbia tan aviat com es produeixin les dejeccions, i emmagatzemar després de la digestió.
- Codigestió dels purins amb altres residus amb més potencial de producció.
- Sotmetre els purins a un procés previ (tèrmic o físic) per millorar la descomposició de les partícules.

Intervals de costos

En la Taula 4.12 s'indiquen valors aproximats per a la inversió segons el volum necessari de reactor. Cal notar que el cost per unitat de volum del digester baixa com més gran sigui. Això vol dir que cal un cabal de purins mínim per assegurar un cert grau de rendibilitat.

Taula 4.12. Costos orientatius d'instal·lacions depenent de la grandària de la instal·lació i de motors i calderes segons la potència necessària per a l'aprofitament de l'energia produïda

Cost obra civil i instal·lacions		Cost motors cogeneració		Cost caldera	
Volum del reactor (m ³)	Pressupost d'execució/volum digester (€/m ³)	Potència elèctrica (kW)	COST (€)	Potència nominal (kW)	COST (€)
50	1.999,85	30	46.000	35	579
200	910,60	70	86.000	100	1.422
800	413,47	100	112.000	300	2.567
1.200	356,39	300	252.000	2.000	11.135

L'ús de motor de cogeneració o caldera dependrà de les característiques de la instal·lació, dels requeriments d'energia tèrmica o elèctrica i de la grandària de la instal·lació, com també dels costos associats. Sempre cal sol·licitar un estudi econòmic a les empreses subministradores.

La normativa sobre producció d'energia elèctrica en règim especial fixa anualment el preu de venda de l'energia elèctrica produïda a partir del biogàs.

Els costos de manteniment por estar al voltant del 2,5 % de la inversió inicial. Pel que fa als beneficis, depenen de la producció de gas, de l'aprofitament d'aquest gas i de les necessitats de la granja. En el cas d'aprofitament de l'energia tèrmica en caldera, l'estalvi és equivalent a 9 L de gasoil per metre cúbic de purins tractats (suposant una producció de biogàs de 15 m³/m³ de purins), és a dir, un estalvi de 4 euros/m³ de purins tractats.

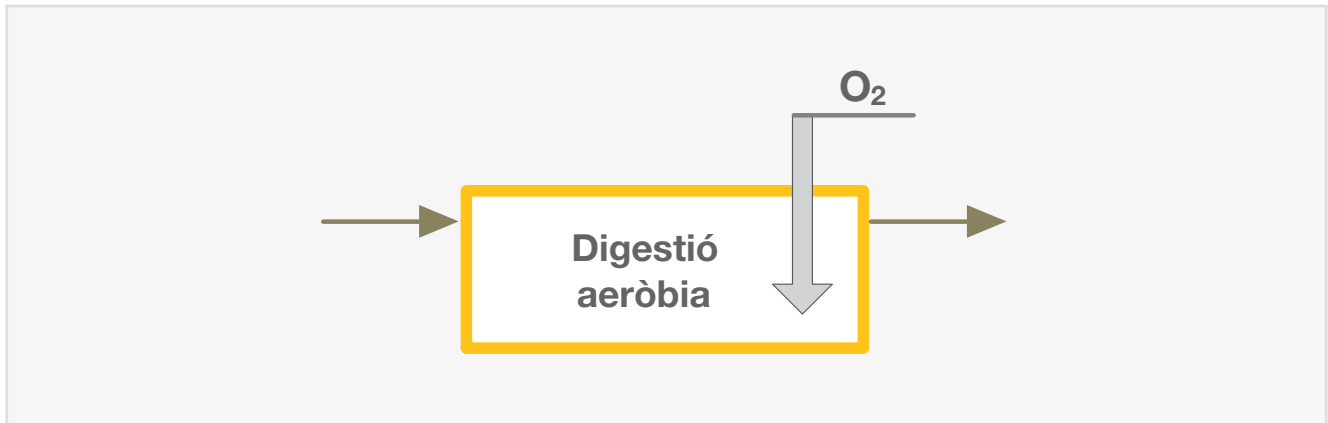
Els terminis d'amortització varien molt depenent del tipus d'instal·lació, de la grandària i de les necessitats energètiques, però de mitjana poden estar al voltant de 10 anys. Algunes dades econòmiques orientatives es mostren a la Taula 4.13.

Taula 4.13. Exemple per a una granja de cycle tancat de 500 mares, amb una producció de purins de 9.000 m³/any

Inversió instal·lacions (€)	211.900
Costos de manteniment (€/any)	4.895
Estalvi energètic (€/any)	19.993
TIR sense subvenció	4,78 %
Payback sense subvenció	13 anys
TIR amb 20 % de subvenció	7,41 %
Payback amb 20 % de subvenció	10,4 anys

Una altra opció més assequible és el cobriment de basses, amb aprofitament del biogàs produït. El cost de cobriment per a una bassa de 1.500 m³ de capacitat, amb una àrea de 375 m², és del voltant dels 18.000 euros. El cost total de la instal·lació, incloent la bassa coberta, un reactor petit per inocular la bassa i les instal·lacions de recollida i aprofitament del biogàs, és del voltant de 3,77 euros/m³ de purins produïts. La producció de gas en aquestes instal·lacions és molt més baixa que en un reactor de mescla completa, i està al voltant de 4-6 m³/m³ de purins, per la qual cosa l'estalvi energètic màxim teòric serà de 3 L de gasoil/m³ de purins tractats. Les produccions de biogàs més importants es donaran a l'estiu, quan la possibilitat d'aprofitar l'energia tèrmica és més baixa.

4.7. DIGESTIÓ AERÒBIA



La digestió aeròbia consisteix en la descomposició biològica de la matèria orgànica en presència d'oxigen, el qual cal que s'aporti per agitació superficial o per bombolleig a una bassa de purins. Aquest procés és equivalent al de compostatge d'una dejecció de consistència sòlida, però aquí el medi és líquid i només es pretén una reducció de matèria orgànica, sense buscar una relació C/N adequada ni una qualitat del producte final obtingut.

Si la concentració de matèria orgànica és elevada, es pot arribar a aconseguir una pujada significativa de temperatura i produir un ambient termofílic (temperatures superiors als 45 °C), amb els avantatges consegüents pel que fa a la higienització. Si la calor generada de la descomposició de la matèria orgànica permet mantenir temperatures termofíliques d'una manera contínua, el procés s'anomena ATAD (Autoheated Thermophilic Aerobic Digestion).

A què afecta?

- Reducció de la càrrega orgànica (fins al 60 % dels sòlids volàtils).
- Reducció del nitrogen amoniacal; part del nitrogen amoniacal passa a orgànic i s'incorpora en els microorganismes aerobis que hi creixen.
- Els microorganismes aerobis que hi creixen formen agregats (flocs), fàcils de sedimentar, i fan que el producte final presenti unes millors propietats de decantació en un procés de separació sòlid-líquid.
- Reducció d'organismes patògens.
- Estabilització de la matèria orgànica i reducció de les males olors.

Avantatges

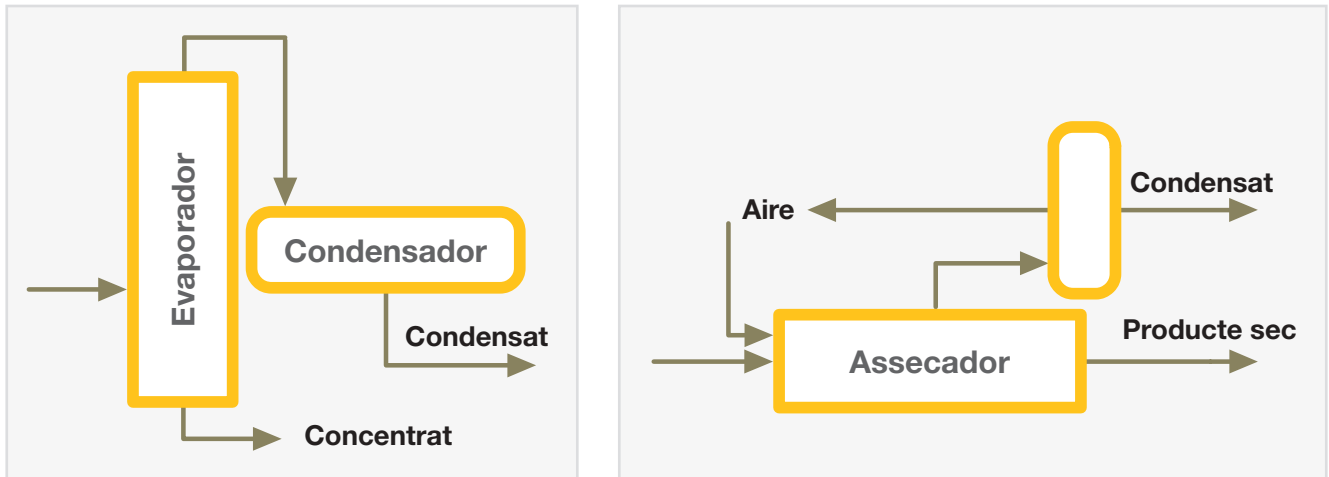
- Reducció de microorganismes patògens.
- Maneig senzill. Tan sols es requereix un sistema d'aportació d'aire a les basses.

- Millora la separació posterior de fases, i s'afavoreix el pas del nitrogen a la fracció sòlida, en forma de nitrogen orgànic.

Desavantatges

- Cost elevat de l'aeració, per consum d'energia elèctrica.
- Es poden presentar problemes de formació d'escumes.
- La millora en la separació (deshidratabilitat) és menor si es mantenen temperatures en el rang termofílic.

4.8. EVAPORACIÓ I ASSECATGE



Procés pel qual se separa aigua mitjançant evaporació. Per tal que els vapors no causin problemes de contaminació a l'atmosfera, l'evaporació s'ha de fer al buit (baixa pressió, o depressió), a temperatura moderada (50–60°C) i amb condensació posterior dels vapors (recuperació d'aigua condensada). Si la matèria primera és un líquid amb matèria dissolta o en suspensió, el procés s'anomena evaporació, i els productes obtinguts són un xarop, o concentrat, amb un contingut en sòlids totals al voltant del 25–30 %, i els condensats (aigua).

Si la matèria primera és un sòlid humit (concentració en sòlids totals superior al 20–30 %), el procés s'anomena assecatge, i en aquest cas s'utilitza aire per evacuar la humitat. Atès que aquest aire pot estar carregat d'amoniac i altres compostos volàtils, és convenient fer-ne el rentatge i el tractament posterior en un biofiltre, si s'escau, després de la recuperació d'aigua condensada.

El concentrat d'una evaporació contindrà tot el nitrogen, si abans el pH s'ha baixat amb l'ajuda d'un àcid. D'altra banda, l'aigua condensada serà més neta i, per tant, reutilitzable o abocable, si abans s'ha eliminat la matèria orgànica més volàtil mitjançant, preferentment, un sistema de digestió anaeròbia i producció de biogàs. D'aquesta manera, es pot produir part de l'energia necessària per al procés a partir del mateix material que cal tractar. També és així per al procés d'assecatge. A la Figura 4.18 es mostra un equip d'evaporació al buit.



Figura 4.18.
Imatge d'evaporadors al buit

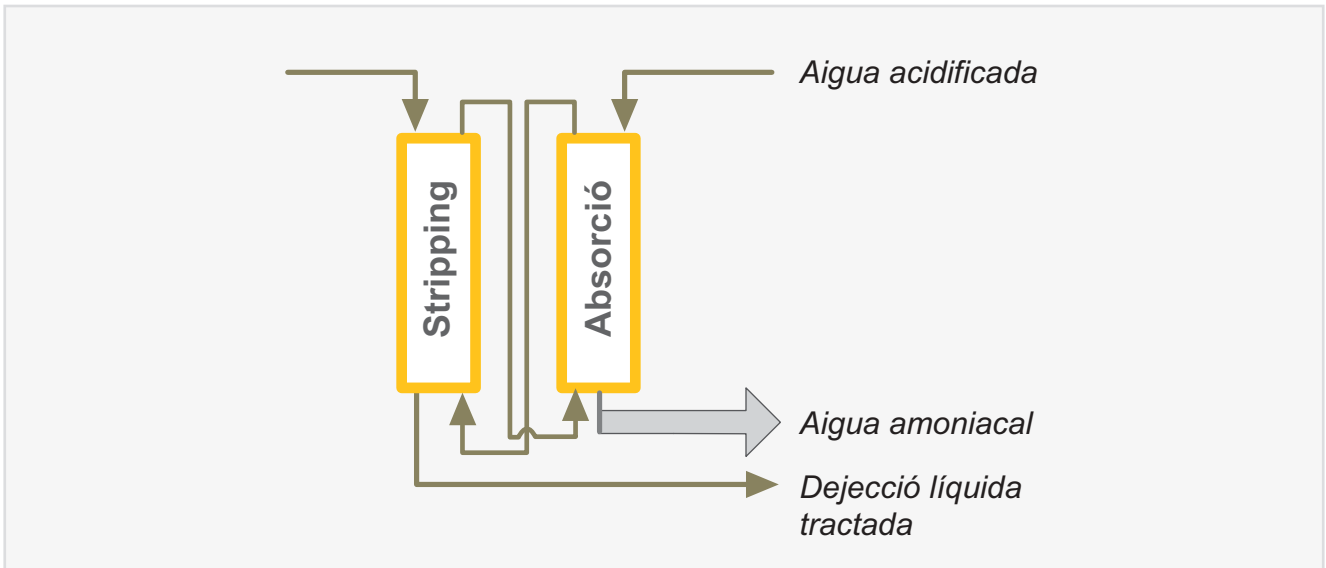
Avantatges

- Reducció de volum, per separació de l'aigua condensada.
- Recuperació de nutrients en la fase sòlida, ja sigui en el concentrat o el producte sec.
- Permet aprofitar l'energia tèrmica excedent d'un procés de cogeneració.
- Si no es vol una gran reducció de volum, pot ser suficient l'energia tèrmica excedent d'un procés de cogeneració alimentat amb biogàs.

Desavantatges

- El procés requereix un procés previ de reducció o eliminació de matèria orgànica, per evitar la contaminació dels condensats.
- Procés complex i car, tant per la inversió com pel manteniment.
- Necessitat d'utilitzar compostos químics (àcids) per abaixar el pH.
- Cal assegurar que el producte final obtingut tindrà un mercat o que algun agent (empresa de fertilitzants, consumidor final, etc.) el retirarà periòdicament.
- Si es vol un producte final sòlid, amb continguts en aigua inferiors al 10 %, cal l'aportació de calor externa d'una central tèrmica o de cogeneració. Si és parteix de purins, això implica combinar l'evaporació i l'assecatge. Això fa que només sigui viable en l'àmbit d'un tractament col·lectiu, la qual cosa pot representar un avantatge de gestió.

4.9.STRIPPING I ABSORCIÓ



El *stripping* és un procés pel qual el nitrogen amoniacal passa a un corrent d'aire. Aquest procés s'ha de combinar amb l'absorció posterior d'aquest amoníac en un corrent d'aigua, per tal de no emetre'l a l'atmosfera. Com a resultat d'això, s'obté aigua amoniacal o una sal d'amoni (sulfat d'amoni, per exemple).

El procés de *stripping* es veu afavorit si el pH a l'entrada del procés és alt i/o si la temperatura és alta (més de 60 °C). El procés d'absorció requereix que l'aigua d'absorció porti un àcid (pH baix).

Per obtenir una sal amoniacal neta, sense contaminació per matèria orgànica ni pudor que recordi els purins, per tal que pugui substituir un fertilitzant mineral, és convenient eliminar prèviament la matèria orgànica més volàtil dels purins. Això es pot fer mitjançant la digestió anaeròbia, amb l'avantatge que l'energia tèrmica que es pot obtenir d'un procés de cogeneració a partir del biogàs es pot utilitzar per pujar la temperatura de la fracció líquida digerida, i afavorir el seu *stripping*.

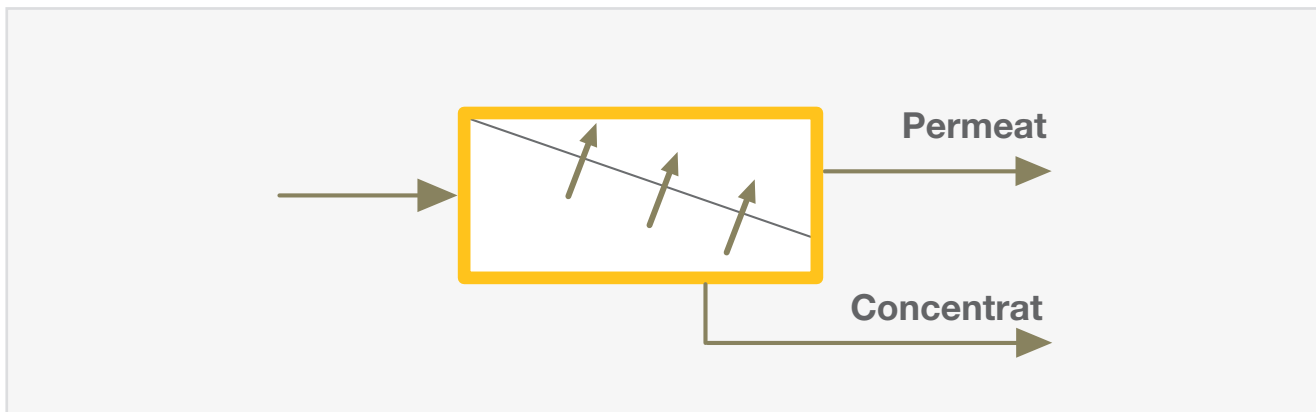
Avantatges

- Es valoritza el nitrogen dels purins, recuperant-lo en forma d'aigua amoniacal o sal d'amoni.
- Es contribueix a l'estalvi d'energia i a la reducció del consum de fertilitzants minerals.

Desavantatges

- El sistema requereix un tractament previ (digestió anaeròbia, aeròbia, separació sòlid-líquid).
- Depenent del rendiment perseguit, cal manipular productes químics, que poden ser perillosos si no s'actua correctament (àcid sulfúric, calç, sosa, etc.).
- S'ha d'assegurar que el producte final obtingut (sal d'amoni, aigües amoniacals, etc.) tingui la qualitat suficient perquè es pugui comercialitzar.
- Cal assegurar que el producte final obtingut tindrà un mercat o que algun agent (empresa de fertilitzants, consumidor final, etc.) el retirarà periòdicament.

4.10. FILTRACIÓ PER MEMBRANA I OSMOSI INVERSA



Són processos que consisteixen en la separació de diferents partícules d'una solució donada la seva mida o concentració osmòtica (*salinitat*) mitjançant membranes semipermeables.

La filtració en membrana consisteix en una separació física a través d'una membrana semipermeable que reté les partícules de mida superior al diàmetre de porus o selectivitat.

L'osmosi inversa consisteix a invertir el flux osmòtic (permeat o *efluent tractat*) a través d'una membrana semipermeable mitjançant l'aplicació de pressió, amb la qual cosa s'aconsegueix la concentració de la solució.

A les Figures 4.19 a 4.22 es mostren esquemes d'aquests processos. A la Figura 4.23 s'il·lustren amb imatges d'algunes instal·lacions.

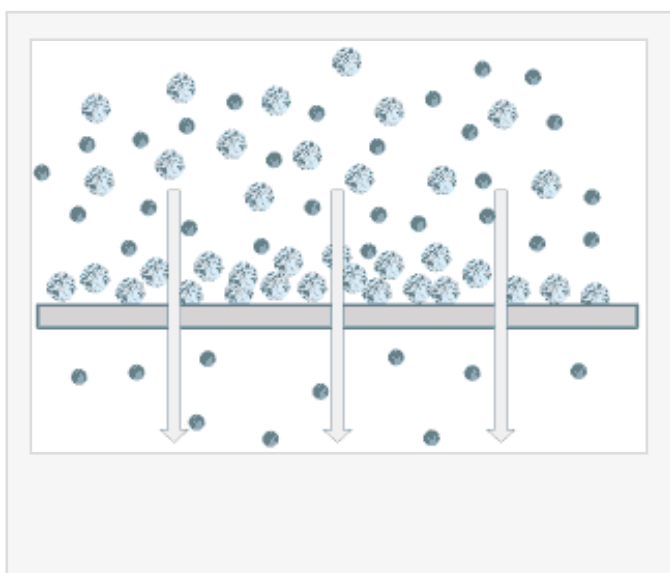


Figura 4.19.
Procés de filtració en membrana

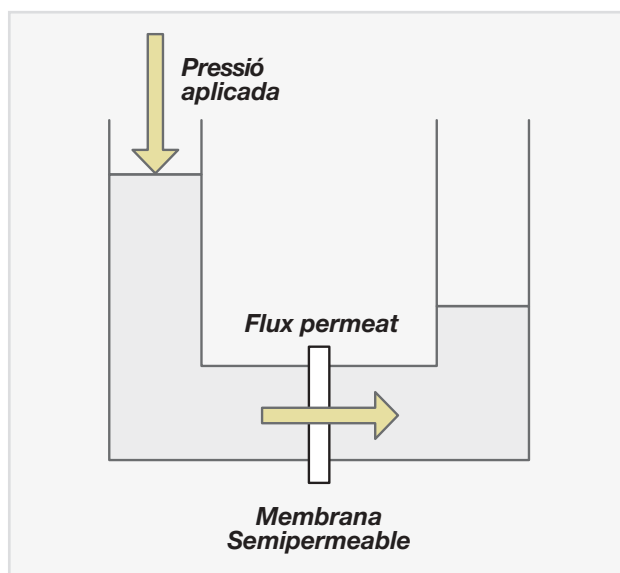


Figura 4.20.
Procés d'osmosi inversa

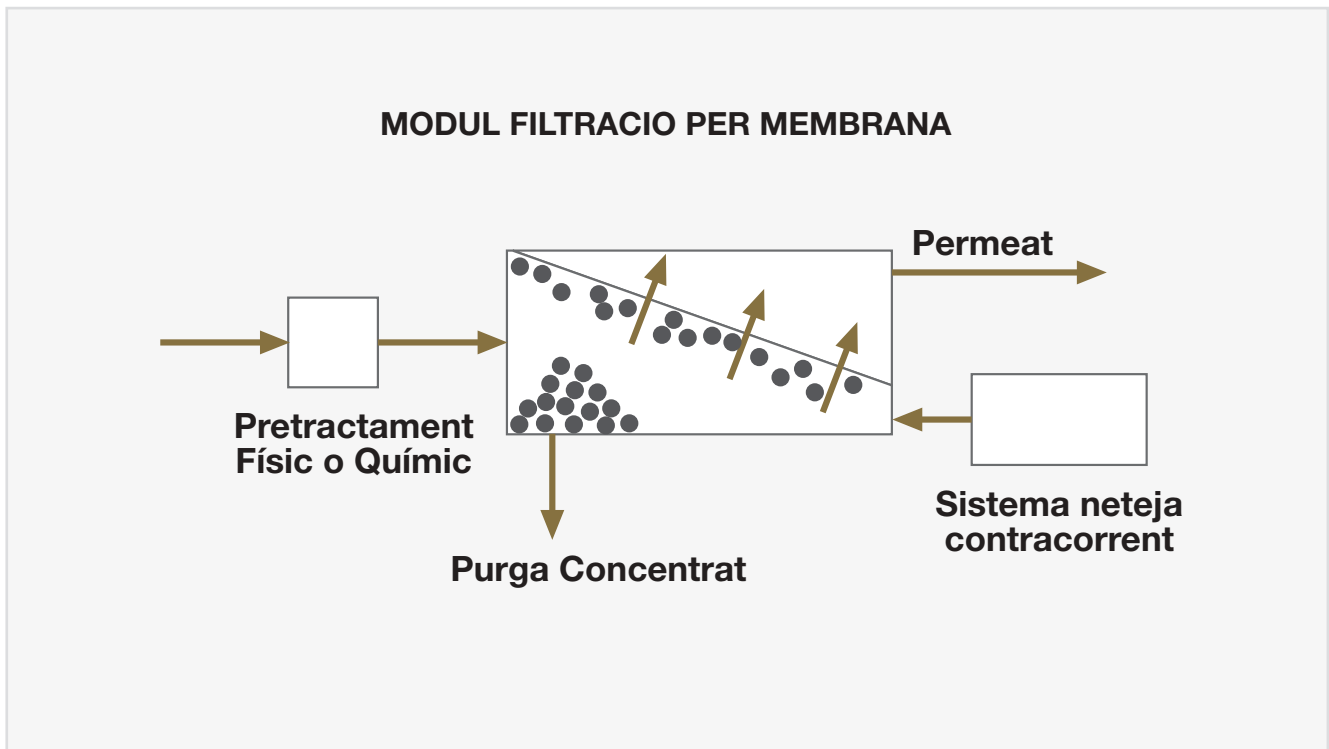


Figura 4.21. Esquema de la implantació d'un procés de filtració per membrana

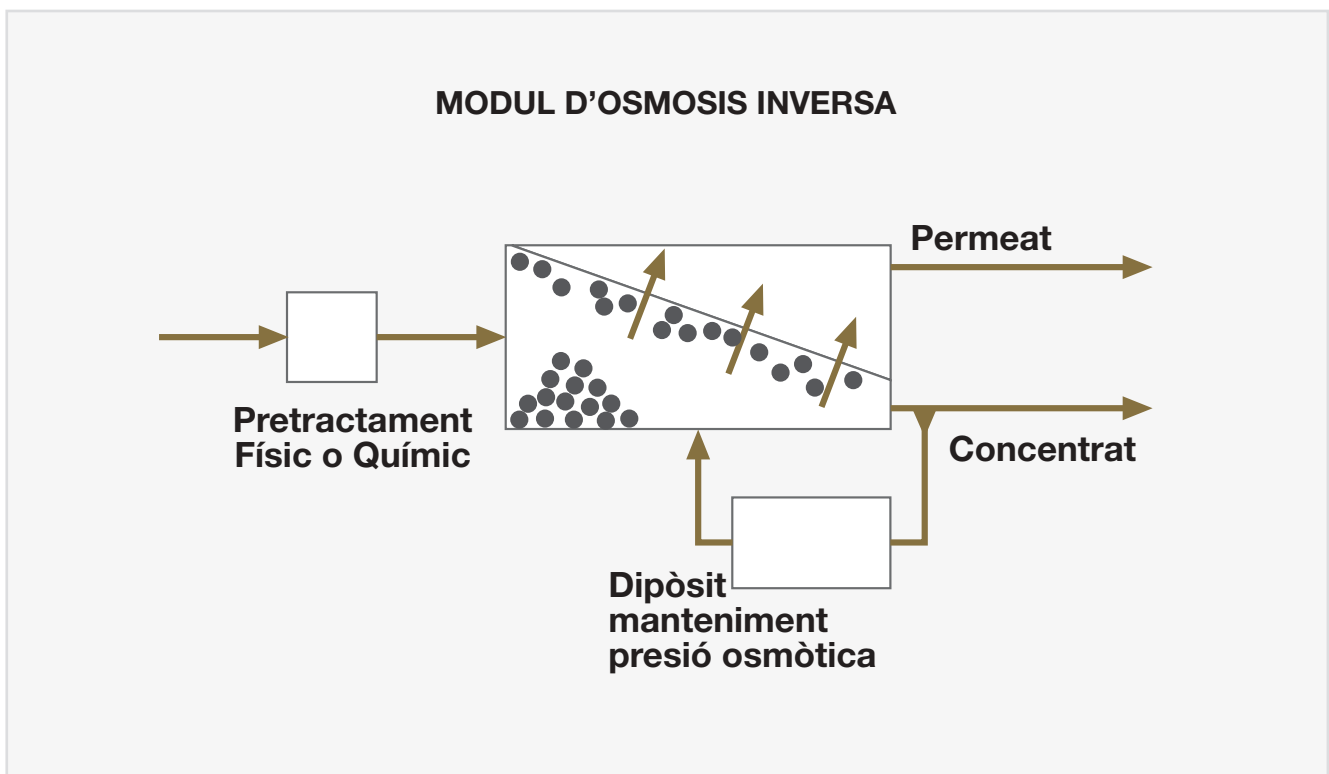


Figura 4.22. Esquema del procés d'ultrafiltració



(a)



(b)



(c)

Figura 4.23. Imatges de mòduls de microfiltració (a), d'ultrafiltració (b) i d'osmosi inversa (c)

A què afecta?

L'efecte del procés dependrà de la tecnologia emprada i de la selectivitat de cada tecnologia o procés, segons es mostra a la Taula 4.14.

Taula 4.14. Compostos que no passen la membrana en funció de la tecnologia

	Osmosi inversa	Nanofiltració	Ultrafiltració	Microfiltració
Selectivitat	0,002 µm	0,002 µm	0,05-0,2 µm	0,2-5 µm
Rebuig	<ul style="list-style-type: none"> • Compostos de pes molecular elevat • Compostos de pes molecular baix • Clorurs • Sodi • Glucosa • Aminoàcids • Proteïnes 	<ul style="list-style-type: none"> • Compostos de pes molecular elevat • Monosacàrids, disacàrids i oligosacàrids • Anions polivalents 	<ul style="list-style-type: none"> • Macromolècules • Proteïnes • Polisacàrids • Virus 	<ul style="list-style-type: none"> • Partícules fang • Bacteris

De manera general:

- Disminueix el contingut en sòlids, principalment de compostos particulats o en suspensió.
- Disminueix la concentració de matèria orgànica, principalment de les formes solubles.
- Disminueix el contingut de microorganismes patògens (bacteris i virus).

Avantatges

- Tecnologia poc voluminosa, ampliable i transportable.
- Operació automatitzada i de poc manteniment.
- Higienització del producte.
- Possibilitat de treball amb cabals elevats de tractament.

Desavantatges

- Necessitat d'un influent pretractat o desbastat, per evitar que les membranes s'embrutin.
- Possibilitat d'obturacions i incrustacions que fan necessàries operacions de neteja química, amb impossibilitat de funcionament en règim continu.
- Cost energètic elevat.
- No-eliminació de matèria orgànica per sota dels límits permesos per abocar a llera pública, i baixa eficiència en l'eliminació d'amoni, en el cas de residus ramaders i aplicant ultrafiltració.

Intervals de rendiments

A la Taula 4.15 es recullen valors de rendiments de les diferents tecnologies segons la bibliografia consultada.

Taula 4.15. Intervals de rendiments de diferents components en funció de la tecnologia emprada

	Osmosi inversa Permeat (% entrada)	Nanofiltració Permeat (% entrada)	Ultrafiltració Permeat (% entrada)	Microfiltració Permeat (% entrada)
Cabal	80-85 %	75-80 %	70-80%	65-70 %
ST		55 %	47 %	40 %
SV		80 %	68 %	50 %
SST	100 %	100 %	100 %	95-100 %
SSV	100 %	100 %	100 %	95-100 %
STS			19 %	
DQOt			84 %	
DQOs			51 %	
N _{TK}			18 %	
N-NH ₄ ⁺			13 %	
CE	85-90 %		5 %	

Nota: ST = sòlids totals; SV = sòlids volàtils; SST = sòlids suspesos totals; SSV = sòlids suspesos volàtils; STS = sòlids totals dissolts; DQO_T = demanda química d'oxigen total; DQO_S = DQO soluble; N_{TK} = nitrogen total; N-NH₄⁺ = nitrogen amoniacal; CE = conductivitat

Classificació d'equips

Els equips emprats en processos de membrana es classifiquen en funció del material emprat, que determinarà la selectivitat i la pressió de treball necessària, segons la Taula 4.16. Aquesta classificació ja s'ha utilitzat en les Taules 4.14 i 4.15.

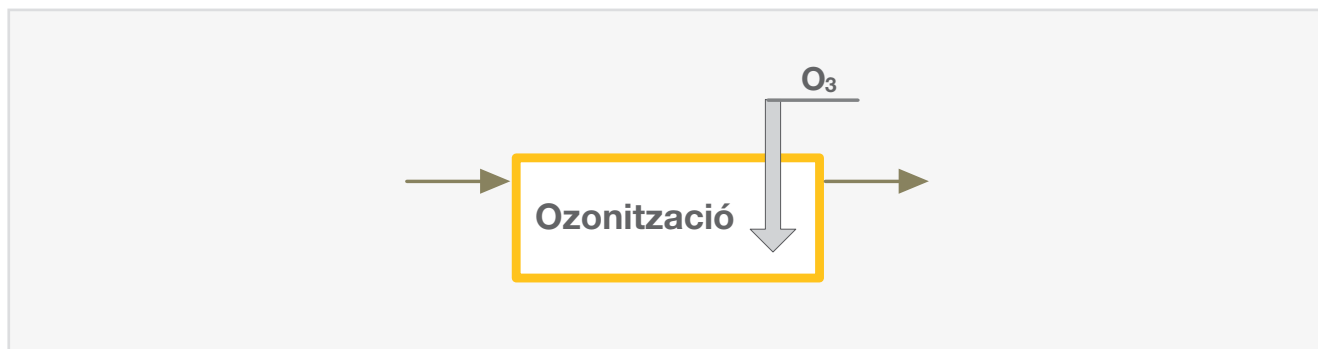
Taula 4.16. Característiques de les diferents tecnologies

	Osmosi inversa	Nanofiltració	Ultrafiltració	Microfiltració
Material membrana	Acetat de cel·lulosa	Acetat de cel·lulosa	Ceràmica, fluorur de polivinil, acetat de cel·lulosa	Ceràmica, polipropilè, fluorur de polivinil
Pressió treball	15-150 bars	5-10 bars	1-10 bars	2 bars

Interval de costos

Els costos d'operació són deguts, bàsicament, al consum de productes químics i al consum d'energia elèctrica, que pot arribar a 20-25 kW·h/m³ per ultrafiltració. En cas d'osmosi inversa aquests valors es poden superar.

4.11. OZONITZACIÓ



L'ozó (O₃) és un oxidant molt fort que s'utilitza habitualment per:

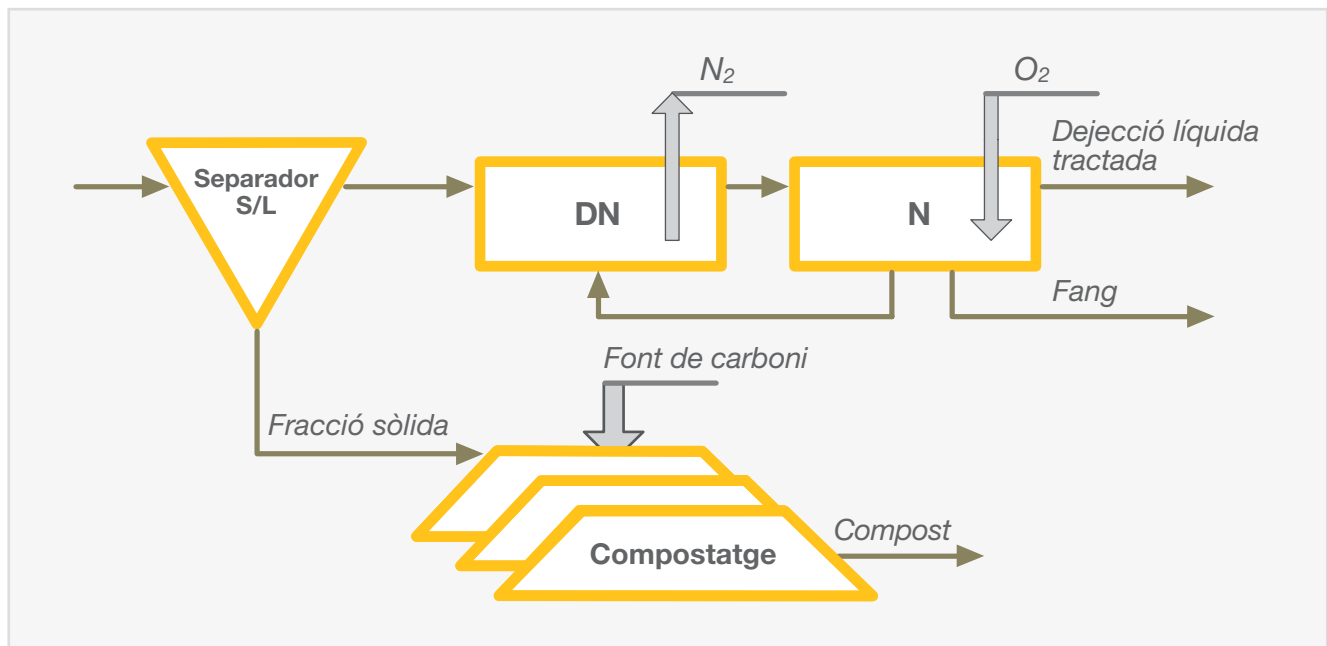
- Desinfectar aigües per potabilitzar-les. Tot i la seva efectivitat, en no deixar gust o residu en l'aigua, no es pot assegurar un control posterior que la desinfecció s'ha fet correctament. Per aquest motiu, té més aplicació en el camp del tractament d'aigües de procés industrial que no pas per subministrar aigua a poblacions.
- Oxidar parcialment compostos orgànics recalcitrants (difícils de descompondre), per afavorir el tractament biològic posterior. Aquest ús s'ha mostrat molt convenient per depurar aigües residuals procedents de la indústria dels colorants.

En el camp de les dejeccions ramaderes, l'interès d'aplicar ozó es troba en el segon possible ús, com a suport a tractaments posteriors.

Per oxidar nitrogen amoniacal, es pot aplicar ozó per oxidar amoníac a nitrat, però no per oxidar el ió amoni, la reacció del qual no és termodinàmicament possible. Per a purins o altres dejeccions, la nitrificació per ozó serà extremadament lenta, si no és que s'ajudi el pas d'amoni a amoníac incrementant la temperatura o el pH.

4.12. COMBINACIÓ DE PROCESSOS PER A L'ELIMINACIÓ DE NITROGEN

Aquest és un exemple de com es poden combinar processos per aconseguir un objectiu.



Amb una separació sòlid-líquid del residu, amb l'ajuda dels additius adequats, s'obindrà una fracció sòlida apta per ser compostada o bé transportada fins a zones deficitàries en nutrients, i una fracció líquida preparada per a un tractament d'eliminació de nitrogen mitjançant el procés de nitrificació-desnitrificació. Segons quina sigui la composició del líquid efluent d'aquest tractament, es podrà abocar (directament o amb tractament terciari d'afinament) a llera pública o bé fer-se servir com a aigua de reg o neteja de la granja.

Interval de costos

Segons l'*Estudi sobre les tecnologies de tractament de residus orgànics aplicables a Catalunya* elaborat des del LEA l'any 2002, el cost d'aquest tractament per a purins de porc dependrà de l'objectiu plantejat, tal com indica la Taula 4.17 i segons diferents valors obtinguts d'instal·lacions europees. El tractament parcial NDN significa que no es pretén fer una depuració completa de la fracció líquida i tan sols una reducció significativa del nitrogen. Un tractament total significa que la instal·lació està preparada com una instal·lació de depuració completa.

En relació a la fracció sòlida, procedir segons un procés de compostatge ben realitzat implica l'aportació de material estructurant i un control acurat del procés i de la qualitat del producte final, la qual cosa es tradueix en uns majors costos de tractament, però que es podrien arribar a compensar amb una venda d'aquest producte, si hi ha mercat que ho demandi. L'amplitud dels intervals, obtinguts a la Taula 4.17, es deguda a la gran variabilitat que sobre costos i ingressos es pot donar en funció de les circumstàncies locals.

Taula 4.17. Interval de costos trobats en el mercat per a un sistema combinat d'eliminació de nitrogen de purins de porc

Descripció tractament	Cost (€/t)
Separació de fases dels purins Fracció líquida: tractament parcial NDN	1,5-2,6
Separació de fases dels purins Fracció líquida: tractament parcial NDN Fracció sòlida: compostatge de baix control	3,0-5,0
Separació de fases dels purins Fracció líquida: tractament parcial NDN Fracció sòlida: compostatge	4,5-8,0
Separació de fases dels purins Fracció líquida: tractament total NDN	3,5-5,7
Separació de fases dels purins Fracció líquida: tractament total NDN Fracció sòlida: compostatge	4,5-7,0

4.13. COMBINACIÓ DE PROCESSOS PER A LA REDUCCIÓ DE VOLUM PER CONCENTRACIÓ TÈRMICA

La majoria d'estratègies de tractament presenten el nivell de complexitat tecnològica més elevat en el moment que, fent ús d'energia tèrmica, evacuen totalment o parcial la humitat de les dejeccions mitjançant els processos d'evaporació i/o assecatge. Això permet obtenir únicament com a productes finals, a partir de purins, un granulat sec o un compost. Aquests productes han de poder ser comercialitzats fora de la zona aplicable del pla de gestió. El gran avantatge del sistema és la reducció significativa del volum, que afavoreix el transport dels productes finals a baix cost.

Sempre s'han de combinar els processos d'evaporació o assecatge amb altres processos, ja sigui per reduir la matèria orgànica, per reduir el nitrogen o bé per separar fraccions.

La font d'energia tèrmica prové d'un procés de cogeneració alimentat amb gas natural, ajudat amb biogàs si s'ha inclòs el procés de digestió anaeròbia en l'estratègia de tractament. Si l'aigua condensada obtinguda té la qualitat suficient, haurà estat utilitzada per a la refrigeració dels motors de cogeneració, i evaporada a l'atmosfera.

En la Taula 4.18 se sintetitzen les característiques de les combinacions de processos de cinc empreses que disposen d'instal·lacions en funcionament a Espanya.

Taula 4.18. Característiques de combinacions de processos amb implantació a escala industrial

Procés	Reducció o eliminació de matèria orgànica				Separació S/L		Tractament del líquid		Tractament del sòlid	
	Digestió anaeròbia	Digestió aeròbia	NDN	Ozonització	Física	Físico-química	Evaporació al buit	Evaporació atmosfèrica	Assecat	Compostatge
Combinació 1	X				X		X		X	
Combinació 2						X	X		X	
Combinació 3				X		X	X		X	
Combinació 4		X				X		X	X	
Combinació 5			X			X	X			X

El cost depèn bàsicament de l'existència de primes a la producció d'energia elèctrica i del preu del gas natural. Si l'energia tèrmica calgués comprar-la, els costos de tractament estarien, segons la tecnologia adoptada, entre 25 i 30 euros/m³ de purins. Si l'energia tèrmica fos cedida per una central tèrmica, els costos poden baixar fins a uns 11–15 euros/m³. Si l'energia tèrmica és produïda per una central de cogeneració pròpia, els costos poden baixar per sota dels 5 euros/m³, tot depenent del valor de les primes.

5. TRIA DEL TRACTAMENT

Una vegada coneguts els diferents processos de tractament, aquests processos es poden combinar per donar lloc a una estratègia que doni solució a la problemàtica concreta. La decisió sobre quin és el tractament idoni no és simple, ja que les variants ofertes per cada empresa poden ampliar les opcions per sobre de les combinacions bàsiques. Així mateix, hi pot haver solucions tecnològiques ben diferents que cobreixin els objectius amb la mateixa efectivitat.

Les opcions es poden agrupar d'acord amb l'objectiu final que es vol aconseguir, que depèn bàsicament de la problemàtica que calgui resoldre, de les característiques pròpies de cada granja i del grau d'excedència en nutrients o de la seguretat, o confiança, que pugui donar el subministrador de la tecnologia o el gestor autoritzat en qui es delega la gestió.

La solució idònia, amb les seves variants, depèn bàsicament del cost, el qual depèn del cabal que cal tractar (segons cada granja), dels preus i els costos de l'energia (depèn de la política de primes vigent en cada moment), de les distàncies fins a l'aplicació (costos de transport associats) i de la conveniència d'un tractament col·lectiu.

En la figura 5.1 (a i b) es mostra un apropament a una metodologia de presa de decisions per decidir la solució tecnològica que cal adoptar. En aquesta figura s'adopten com a accions base per prendre decisions posteriors la realització de: 1) un pla de minimització de cabals (reduir el volum d'aigua que arriba a les basses) i càrregues (reduir la quantitat de nitrogen, fòsfor i metalls a l'alimentació), i 2) un balanç de nutrients, entre els produïts a la granja i les necessitats dels conreus. Aquestes dues accions han de donar resposta a la pregunta de si s'està en una situació d'equilibri o en una d'excedents de nutrients. En qualsevol de les dues situacions es planteja la qüestió de la conveniència de fer una gestió individual o col·lectiva de les dejeccions, a la qual el ramader ha de donar resposta.

En cas que no hi hagi excedència en nutrients, ja sigui amb gestió individual o col·lectiva, la solució tecnològica ha de poder millorar la gestió de les dejeccions, ja sigui des d'un punt de vista pràctic de millora del maneig com econòmic, per reduir els costos de transport i aplicació.

En cas d'excedència de nutrients (figura 5.1.b), les solucions tecnològiques s'agrupen en tres grans grups: 1) les solucions que adopten la digestió anaeròbia i l'aprofitament energètic del biogàs; 2) les solucions que es basen en el tractament fisicoquímic, pel qual els nutrients es recuperen en forma de sòlids, i 3) les solucions que adopten el procés de nitrificació-desnitrificació, pel qual part del nitrogen s'elimina. Un esment a part mereixen les dejeccions de consistència sòlida (fems i gallinasses), les quals tenen com a millor opció el procés de compostatge i l'exportació del compost produït. En algun cas es pot arribar a plantejar la producció de biogàs amb aquestes dejeccions, i per aquest motiu s'arriba a la decisió sobre la conveniència del compostatge si abans ja s'ha valorat negativament l'interès tècnic i/o econòmic de la digestió anaeròbia.

Les tres grans agrupacions d'opcions tècniques es presenten, cada una, amb quatre nivells diferents de complexitat, de la més simple a la més complexa. Es comença valorant si la més simple ja és suficient per solucionar la problemàtica i, si no, es passa a un nivell de complexitat superior, fins a arribar a la que és capaç de donar resposta al problema. Si la més simple no és econòmicament assumible, no cal passar a la més complexa, perquè encara serà més cara.

En cas que no es pugui assumir el cost econòmic de cap opció tècnica, el diagrama proposa replantejar el problema i tornar a l'inici del procés de decisió. Aquest replantejament pot voler dir encarar amb una perspectiva diferent el pla de minimització, passar d'una gestió individual a una de col·lectiva si aquesta gestió aporta millores en les solucions (economia d'escala) o, possiblement, transferir totalment o parcial les dejeccions a un gestor autoritzat que ofereixi unes condicions econòmiques assumibles.

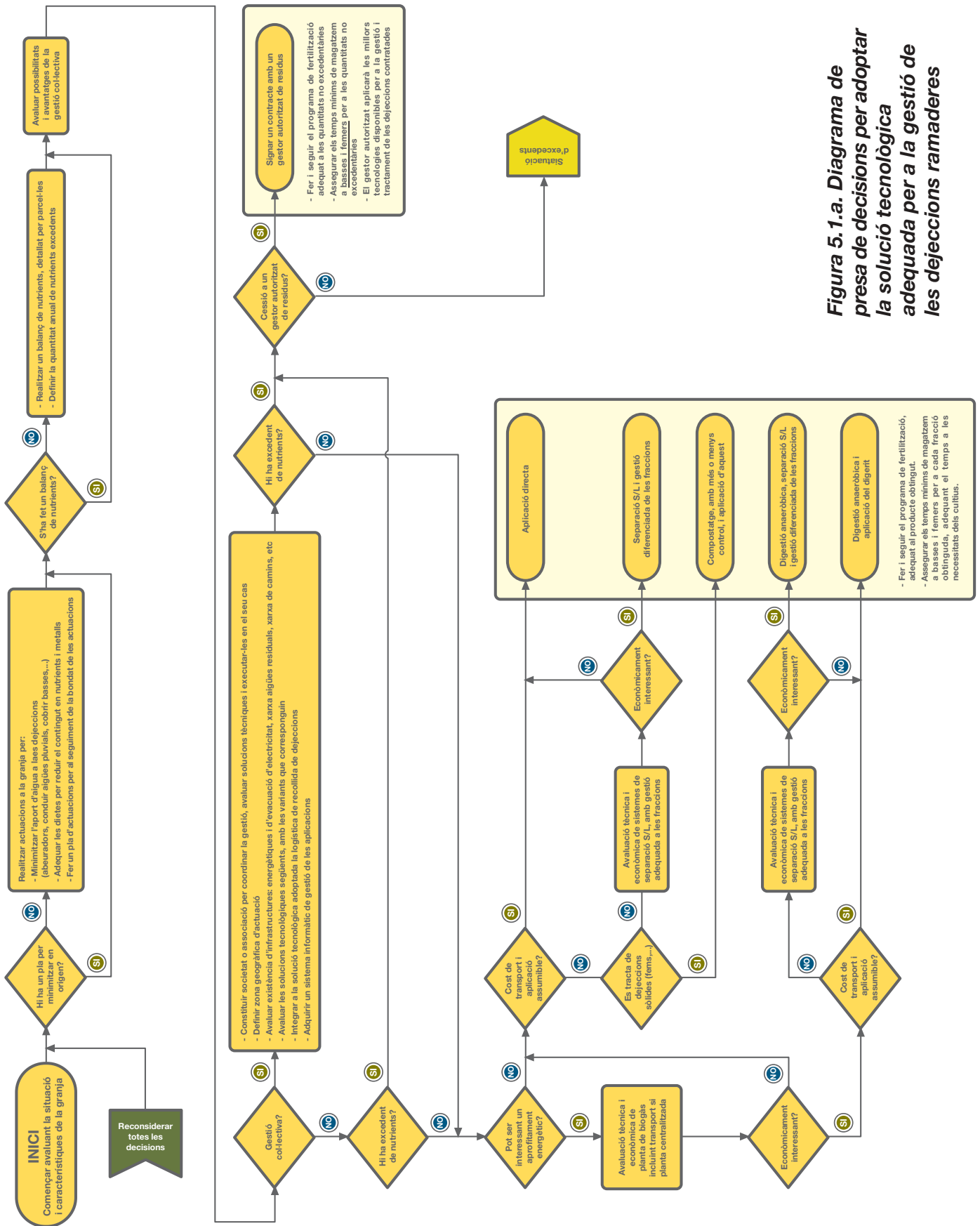


Figura 5.1.a. Diagrama de presa de decisions per adoptar la solució tecnològica adequada per a la gestió de les dejeccions ramaderes

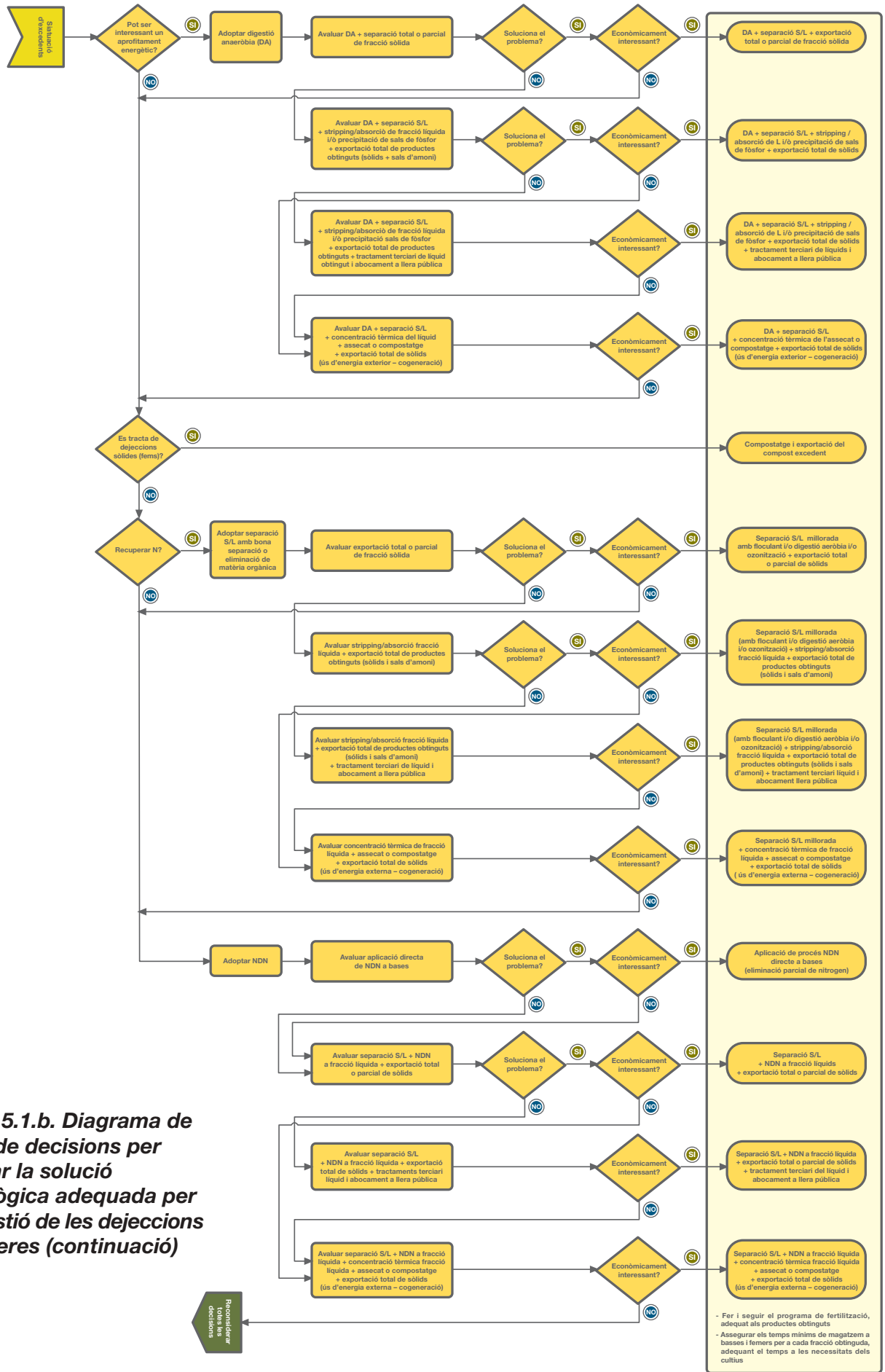


Figura 5.1.b. Diagrama de presa de decisions per adoptar la solució tecnològica adequada per a la gestió de les dejeccions ramaderes (continuació)

Notes a les figures 5.1, a i b:

- És sempre recomanable que les fraccions sòlides obtingudes, amb contingut de matèria orgànica, siguin compostades.

- Pot arribar a ser interessant estudiar el possible aprofitament energètic per digestió anaeròbia:
 - Si hi ha demanda d'energia tèrmica a la granja.
 - Si hi ha línia elèctrica per evacuar l'energia elèctrica produïda excedentària.
 - Si, en general, hi ha manera de rendibilitzar el biogàs produït.

- La qüestió «Soluciona el problema?» fa referència a:
 - Aconseguix equilibrar el balanç de nutrients?
 - Aconseguix solucionar el problema de transport entre granja i parcel·les de conreus?
 - En general, soluciona la problemàtica de la gestió de les dejeccions?

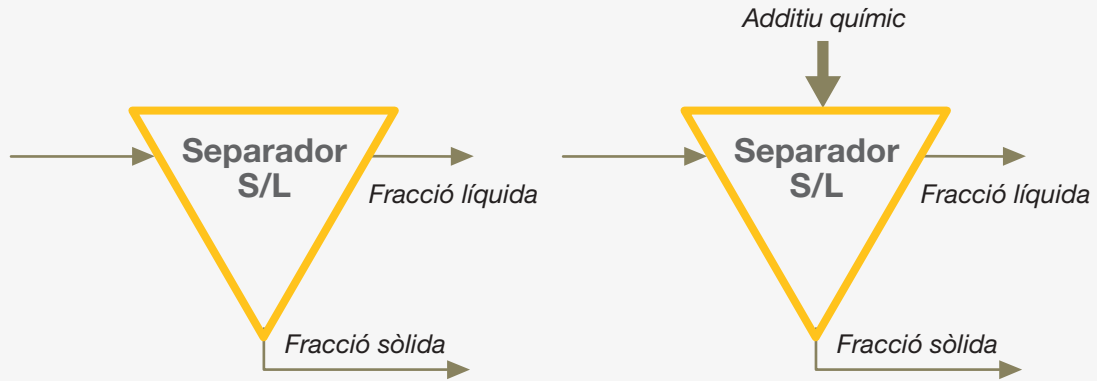
- La qüestió «Econòmicament interessant?» fa referència a:
 - Es considera que el cost econòmic és assumible?
 - Es considera que és econòmicament avantatjós respecte a altres solucions tècniques?
 - Es considera que la relació prestacions-cost és adequada a les necessitats?

- L'objectiu del tractament terciari és l'obtenció d'un líquid final susceptible de ser abocat a llera pública, i evitar la inversió en infraestructures de reg. Això es pot aconseguir, depenent de les característiques del líquid, amb:
 - Precipitació de sals (separació sòlid-líquid amb additius específics)
 - Separació amb membranes

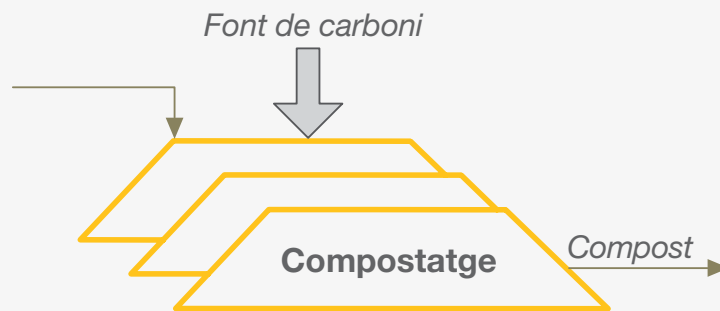
6. ESQUEMES D'ESTRATÈGIES DE TRACTAMENT DELS DIAGRAMES 5.1

No hi ha excedents. Estratègies per millorar la gestió, millorar la qualitat de les dejeccions o produir energia

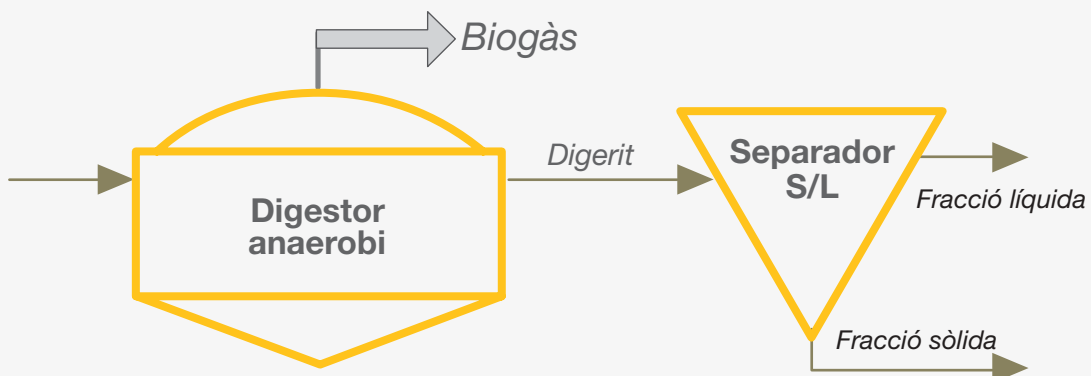
Separació S/L



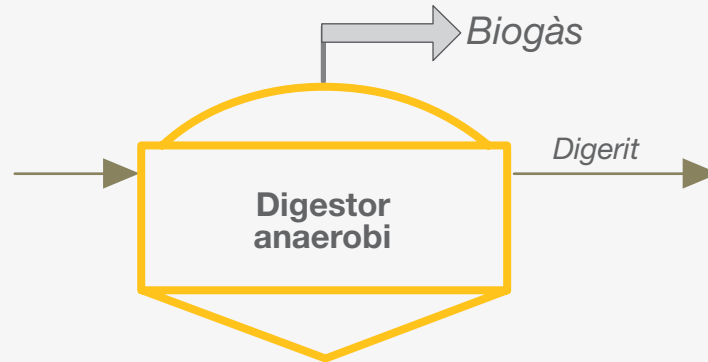
Compostatge



Digestió anaeròbia i separació S/L (amb additius o sense)

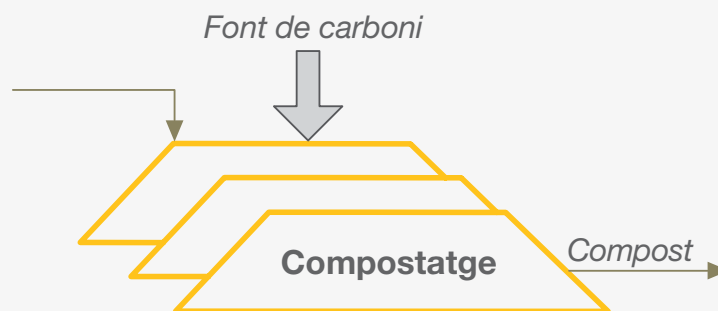


Digestió anaeròbia



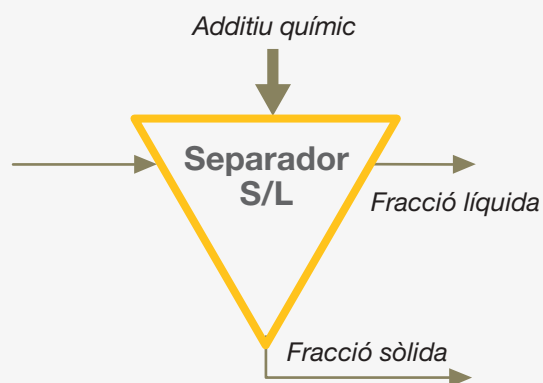
Hi ha excedents. Estratègia per a fems i gallinasses si no són susceptibles de digestió anaeròbia

Compostatge de fems i gallinasses

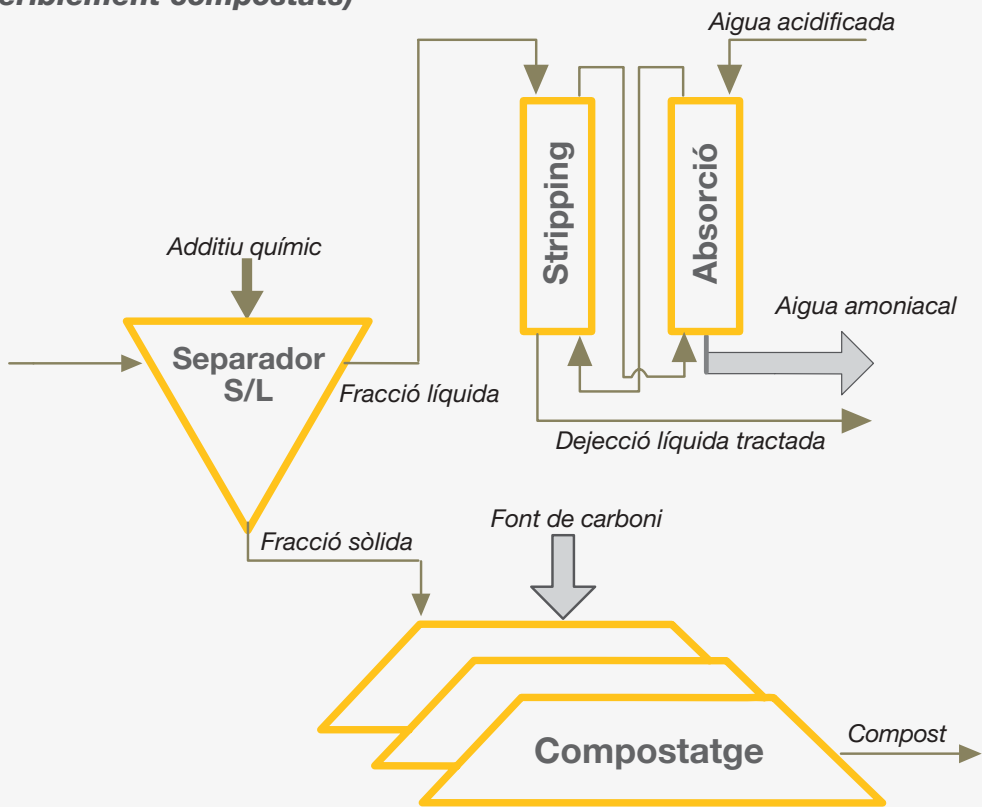


Hi ha excedents. Estratègia basada en el tractament fisicoquímic (separació de nutrients en fases)

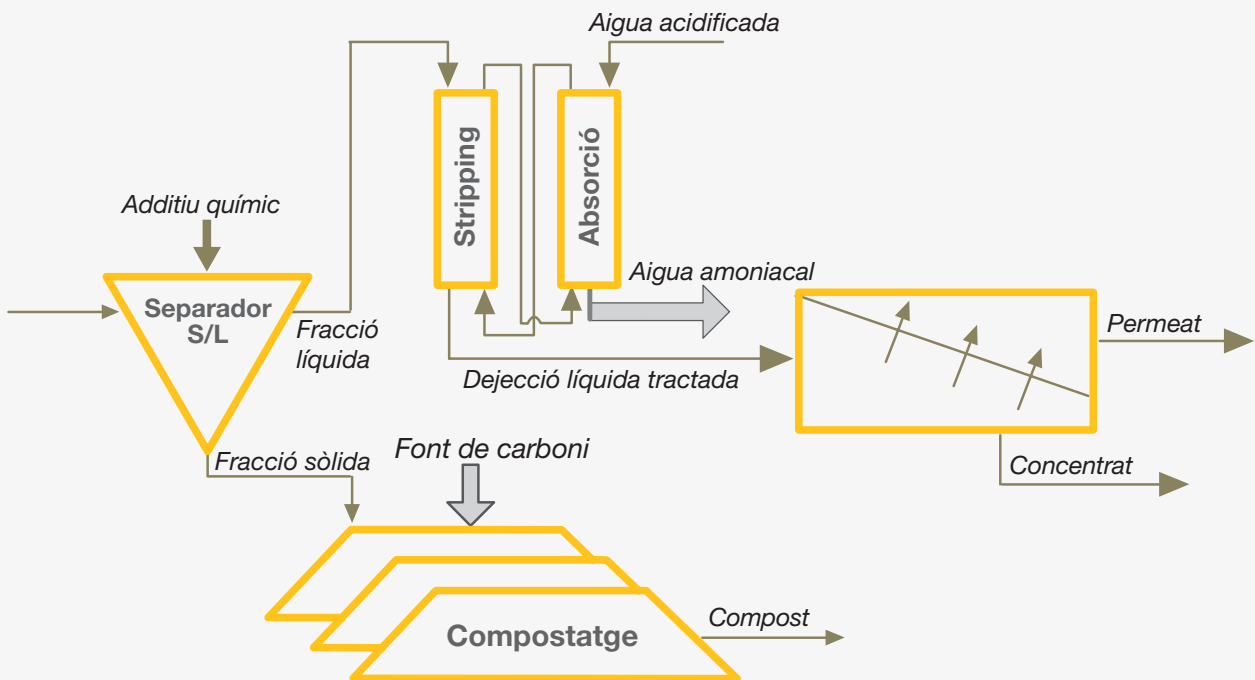
Separació S/L millorada amb additius i exportació del sòlid



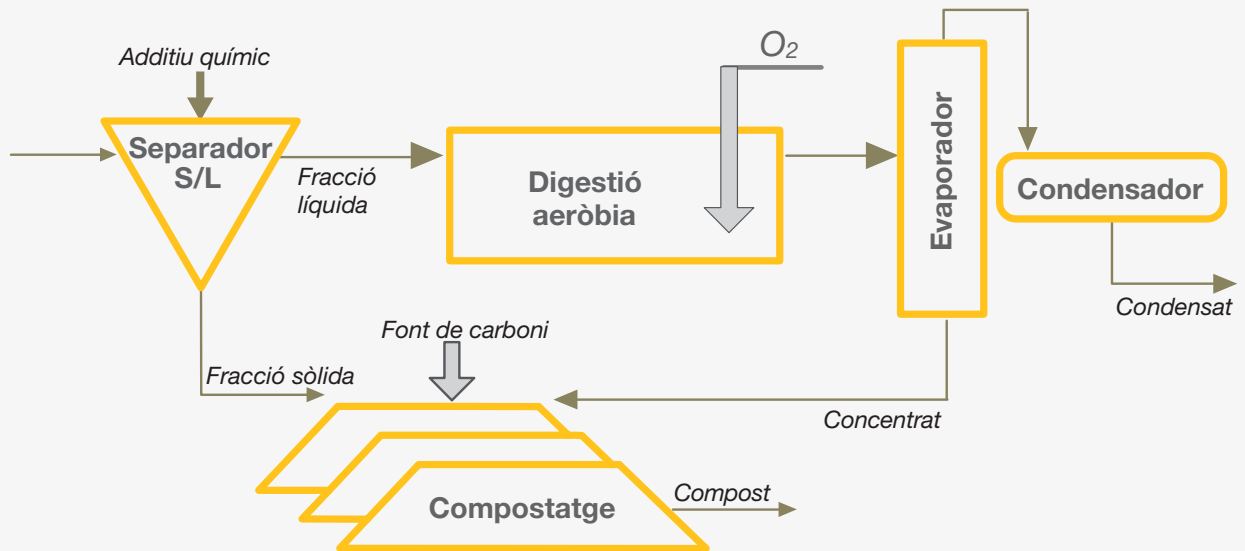
Separació S/L millorada amb additius + stripping fracció líquida + exportació del sòlid (preferiblement compostats)



Separació S/L millorada amb additius + stripping fracció líquida + tractament terciari del líquid + exportació dels sòlids (preferiblement compostats)

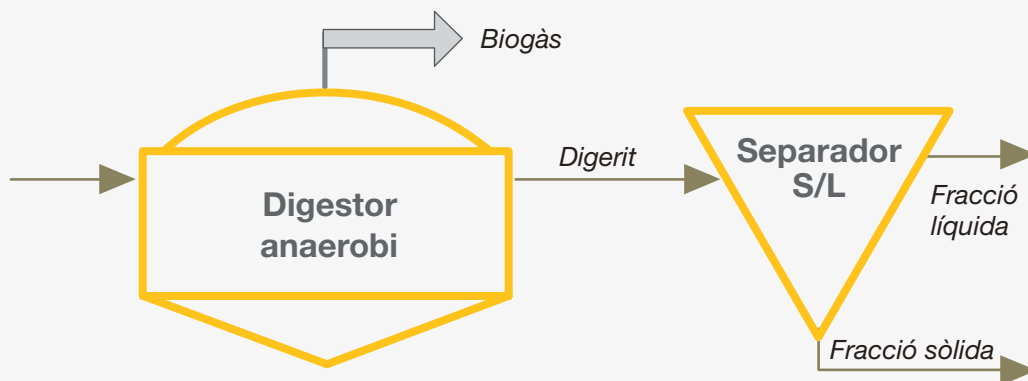


Separació S/L millorada amb floculants + estabilització de la matèria orgànica o digestió aeròbia+ concentració tèrmica + assecatge o compostatge + exportació dels sòlids

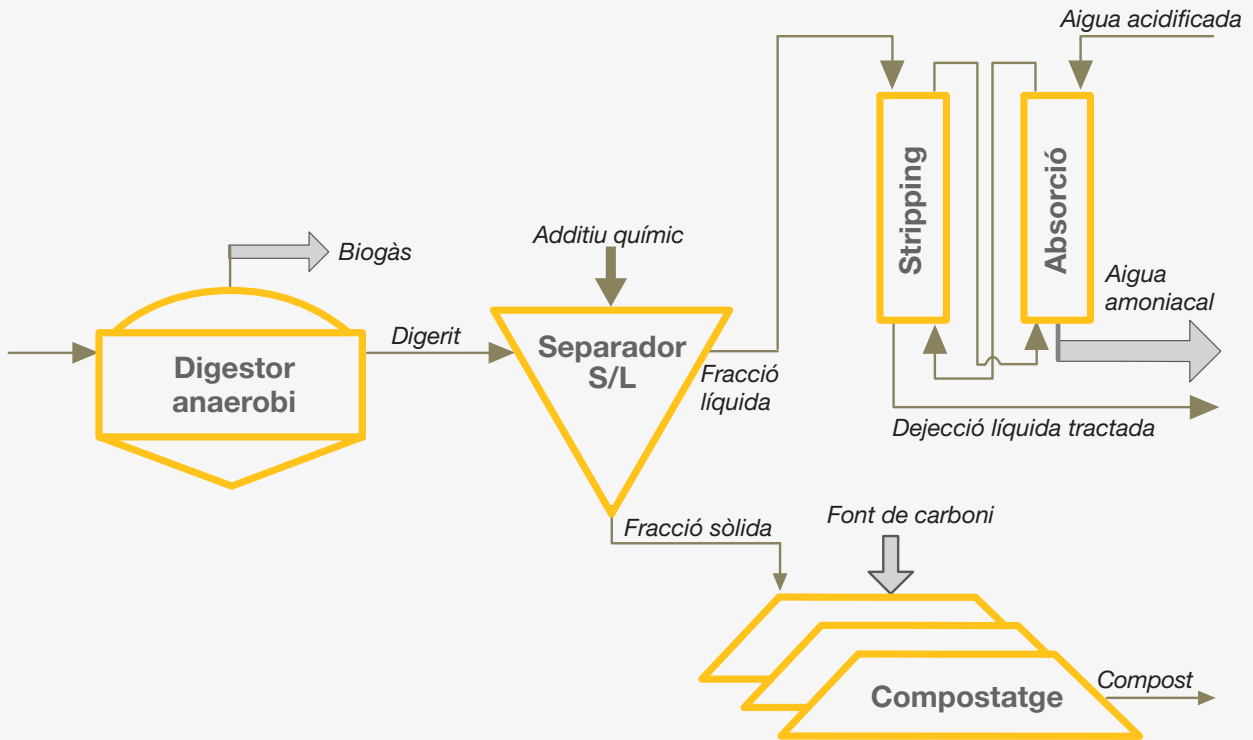


Hi ha excedents. Estratègia basada en la digestió anaeròbia i producció de biogàs

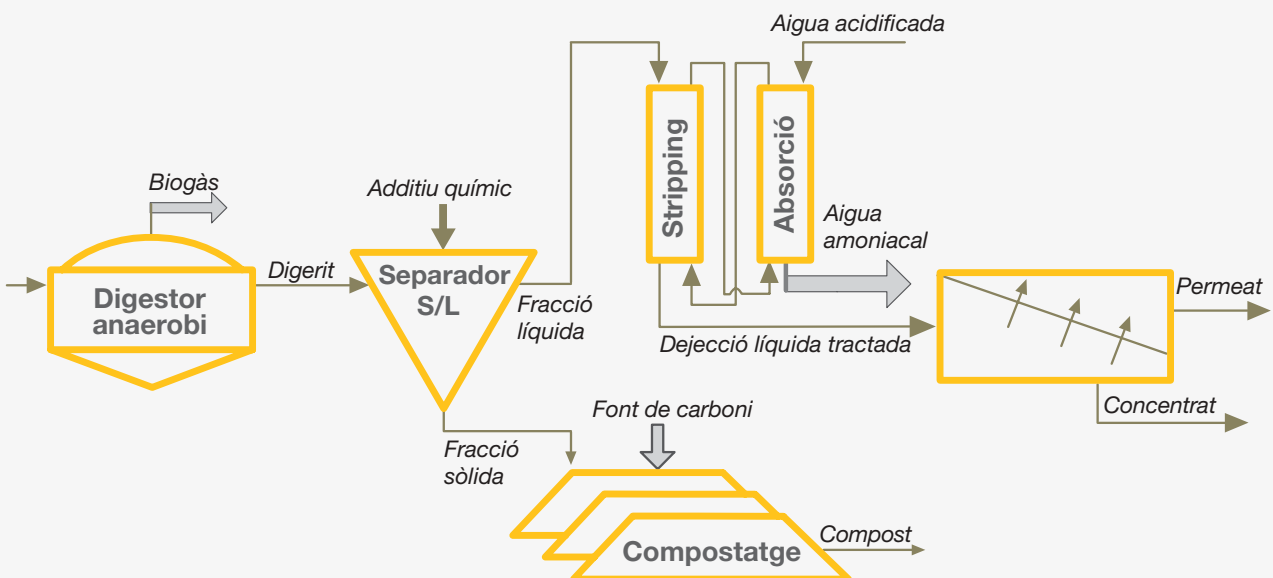
Digestió anaeròbia i separació S/L (amb additius o sense) i exportació dels sòlids (preferiblement compostats)



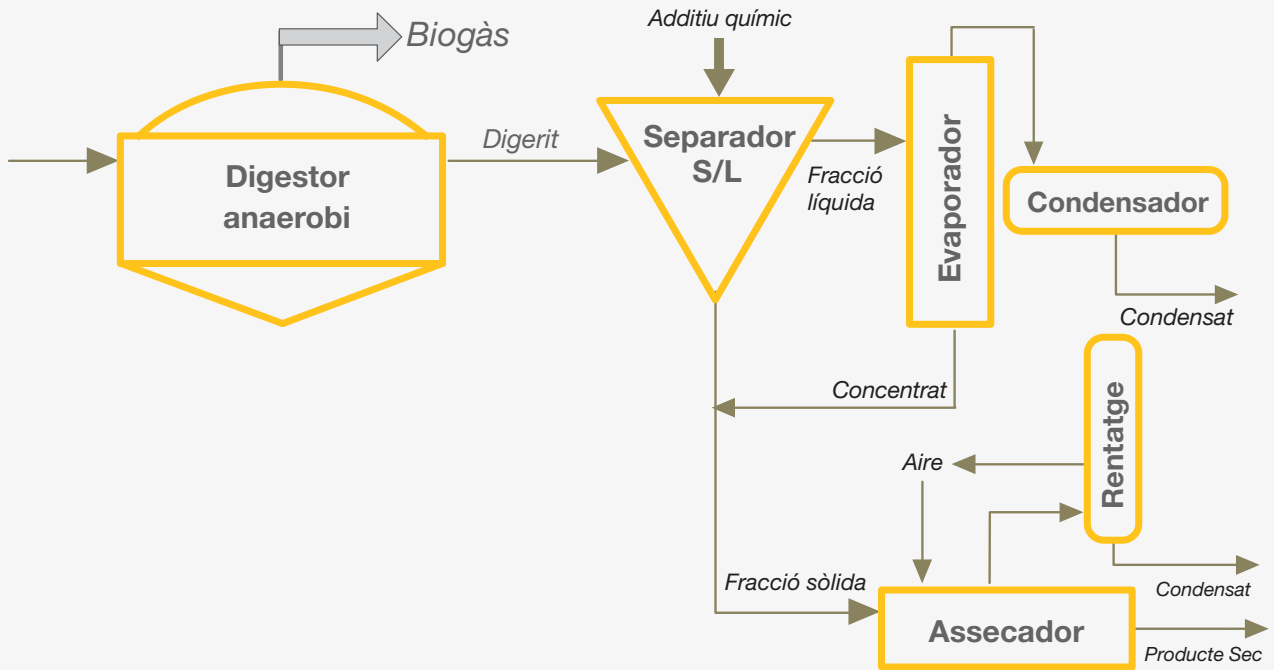
Digestió anaeròbia + separació S/L+ stripping o precipitació sals de fòsfor i amoni + exportació de sòlids (preferiblement compostats)



Digestió anaeròbia + separació S/L+ stripping o precipitació sals de fòsfor i amoni + tractament terciari aigües + exportació de sòlids (preferiblement compostats)

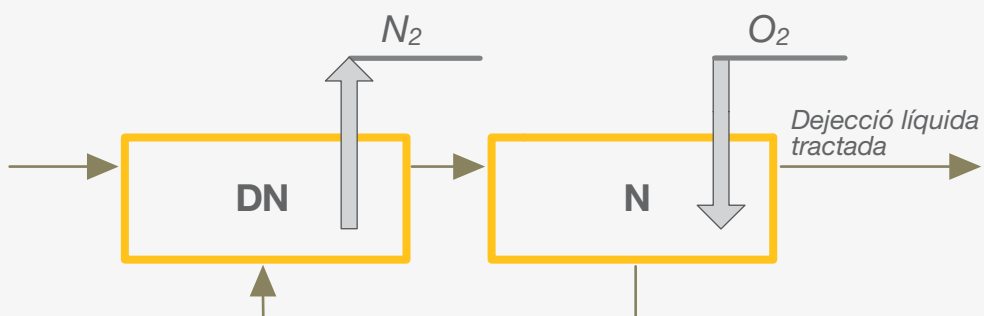


Digestió anaeròbia + separació S/L + concentració tèrmica + assecatge + exportació total de sòlids

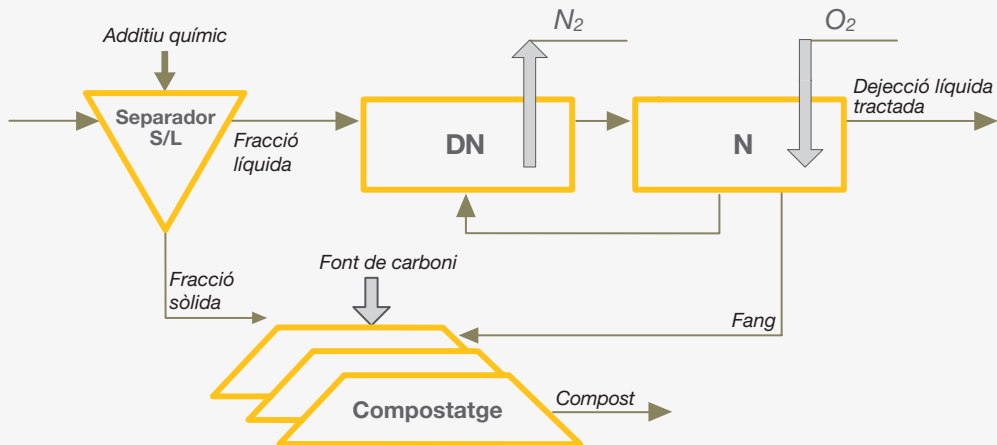


Hi ha excedents. Estratègia basada en l'eliminació biològica de nitrogen mitjançant NDN

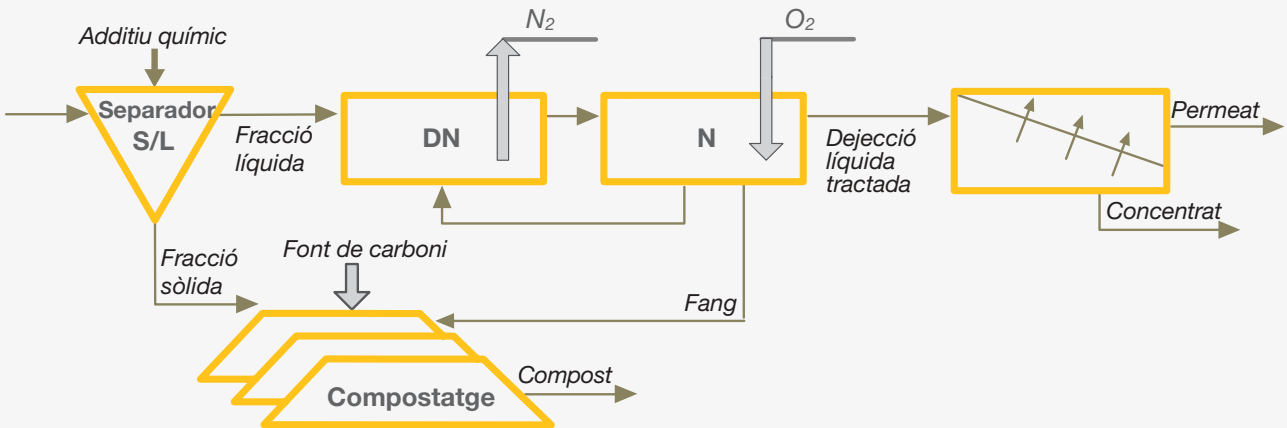
Aplicació NDN directa a basses



Separació S/L + NDN a fracció líquida + exportació total o parcial de sòlids (preferiblement compostats)



Separació S/L + NDN a fracció líquida + tractament terciari líquid + exportació total o parcial de sòlids (preferiblement compostats)



Separació S/L + NDN a fracció líquida + concentració tèrmica a líquid + assecatge o compostatge del sòlid + exportació de sòlids

