

Universitat Rovira i Virgili

Facultat de Química

GESTIÓ DELS DIGESTATS D'UNA PLANTA DE BIOGÀS

TREBALL DE FI DE GRAU

Grau de Química



UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI



ZEWATECH

Judit Sánchez Robles

Tutor de l'entitat col·laboradora: Santiago Llauradó

Tutora acadèmica: Marina Galià Clua

Tarragona, 2023

RESUM

El recent increment del cost del gas i de les matèries primes per la generació d'electricitat, ha provocat una creixent tendència a desenvolupar nous processos que permeten la seva obtenció de manera ecològica i sostenible. Un dels sectors que està creixent amb més força és el destinat a la generació del biogàs. Tot i que en un principi sembla una tecnologia neta, en molts casos es desconeix la problemàtica amb la gestió dels digestats obtinguts en el procés, amb alts percentatges de nitrats i amonis, que es un dels principals contaminants dels subsols.

Amb la finalitat de solucionar el problema, es proposa realitzar un estudi de la mà de ZEWATECH, per la depuració dels digestats obtinguts fins valors que permetin l'abocament i el reaprofitament dels sòlids en suspensió presents per la generació de fertilitzant líquid, fent que el procés sigui sostenible i ecològic, generant a la vegada una oportunitat de negoci molt atractiva econòmicament parlant.

Paraules clau: Biogàs, digestat, evaporadors industrials, evaporació al buit, recuperació amoníac

ABSTRACT

The recent increase in the cost of gas and raw materials for electricity generation has led to a growing tendency to develop new processes that allow it to be obtained in an ecological and sustainable way. One of the sectors that is growing most strongly is biogas generation. Although at first it seems to be a clean technology, in many cases the problem with the management of the digestates obtained in the process, with high percentages of nitrates and ammonia, which is one of the main pollutants in the subsoil, is unknown.

In order to solve the problem, it is proposed to carry out a study with ZEWATECH, for the purification of the digestates obtained to values that allow the discharge and reuse of suspended solids present in the generation of liquid fertilizer, making the process sustainable and environmentally friendly, generating in turn a very attractive business opportunity economically speaking.

Key words: biogas, digestate, industrial evaporators, vacuum evaporation, ammonia recovery

OBJECTIU

L'objectiu general d'aquest treball és donar una solució econòmica i mediambiental a problemes de gestió de residus que tenen les plantes de biogàs en mans de les tecnologies que ofereix ZEWATECH, específicament a la eliminació del nitrogen amoniacal ja que es tracta d'un dels contaminants més importants i el seu límit d'abocament és bastant restrictiu, evitant així la contaminació d'aigües.

Altres objectius d'aquest treball són:

- Estudiar el procés d'una planta de biogàs.
- Analitzar la composició dels digestats d'una planta de biogàs.
- Comparar tecnologies de tractaments d'aigua per la depuració dels digestats.
- Eliminar Nitrogen amoniacal mitjançant la tecnologia d'evaporadors al buit.

ÍNDEX

1.	PRÒLEG.....	6
2.	PLANTA DE BIOGÀS.....	6
1.1.	Recepció de la matèria orgànica	8
1.2.	Digestor	8
1.2.1.	Digestió anaeròbica.....	10
1.3.	Biogàs	11
1.3.1.	Cogeneració.....	12
1.1.	Digestats.....	12
1.1.1.	Tractament dels digestats	12
2.	ESTUDI DELS DIGESTATS.....	13
2.1.	Composició.....	13
2.1.2.	Anàlisi experimental de la composició genèrica dels digestats	14
2.2.	Impactes ambientals	18
2.3.	Gestió de la qualitat del digestat	19
2.4.	Aplicacions del digestat.....	20
3.	PROCESSOS DE TRACTAMENT DELS DIGESTATS	21
3.1.	Processament del digestat sòlid.....	22
3.1.1.	Compostatge	22
3.1.2.	Assecatge.....	22
3.2.	Processament del digestat líquid	23
3.2.1.	Tractaments fisico-químic	23
3.2.2.	Tractament amb membranes.....	25
3.2.3.	Tractament per evaporació al buit.....	26
4.	TRACTAMENT EXPERIMENTAL DELS DIGESTATS AMB EVAPORADORS AL BUIT	27
4.1.	Discussió dels resultats	31
5.	CONFIGURACIÓ D'UN PROCÈS DE TRACTAMENT DE DIGESTAT LÍQUID. ESTUDI DE L'INVERSIÓ I L'ENERGIA.....	33
5.1.	Comparativa dels processos.....	34
5.2.	Comparativa dels evaporadors	39
5.3.	Anàlisi CAPEX/OPEX	40
5.3.1.	Procés mitjançant membranes sense evaporador (OPCIÓ 2).....	41
5.3.2.	Procés mitjançant membranes amb evaporador (OPCIÓ 4).....	42
5.3.3.	Procés mitjançant evaporador (OPCIÓ 5)	44
5.3.4.	Amortització	45
6.	CONCLUSIONS	46
7.	REFERÈNCIES	47

ACRÒNIMS

BIOR: Bioreactor

EVAP: Evaporador

FQ: Físico-químic

FQ-DAF: Físico químic amb flotació per aire dissolt

MBR: Bioreactor amb membrana

MF: Microfiltració

NF: Nanofiltració

OI: Osmosi inversa

TK: Potassi total

TN: Nitrogen total

TP: Fòsfor total

TS: Total de sòlids

UF: Ultrafiltració

VS: Sòlids volàtils

VT-BC: Evaporació al buit per bomba de calor

VT-MVC: Compressió mecànica del vapor

VT-S: Evaporació al buit amb alimentació externa

1. PRÒLEG

L'entitat col·laboradora amb la qual s'ha realitzat aquest projecte és Depuradoras Totagua, una empresa fundada a Tarragona l'any 1994 dedicada tant al tractament d'aigües potables com al d'aigües residuals de la zona. Actualment, s'està desenvolupant un nou projecte com a empresa anomenat ZEWATECH que es basa en els evaporadors d'aigua al buit.

Aquesta tecnologia, que té com a fonament l'evaporació, es considera la millor en l'actualitat perquè permet la separació física de contaminants que poden estar dissolts o en suspensió, cosa que dona com a resultat un destil·lat completament pur que fins i tot es pot retornar al cicle de producció per poder ser reciclat, per altra banda, s'obté el concentrat residual que es pot tractar externament reduint molt els costos de tractament de residus.

En definitiva, ZEWATECH ofereix solucions per aconseguir objectius econòmics i mediambientals individuals per a cada client. Tracta les aigües incloent pre tractaments i post tractament si és necessari i ajuda a resoldre molts problemes d'escassetat d'aigua amb la tècnica de gestió de residus amb el sistema de zero liquid discharge (ZLD).

La realització de les pràctiques a ZEWATECH m'ha permès conèixer el gran impacte que tenen els evaporadors al buit per tractaments d'aigües residuals, sent una de les tecnologies que es coneix poc, però que actualment s'està implementant de manera molt eficaça a moltes indústries. He pogut realitzar aquest treball amb l'ajuda i els consells dels enginyers que m'han aportat conceptes aliens a la química que fins aleshores desconeixia.

2. PLANTA DE BIOGÀS

La indústria del biogàs ha despertat un gran interès i s'ha expandit ràpidament en els darrers anys gràcies al seu potencial de desenvolupament no només pel que fa a la producció de biogàs sinó també a l'obtenció de biofertilitzants.

Les plantes de biogàs són la base del concepte d'economia circular que té com a objectiu reciclar nutrients, reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle i produir energia a partir de la biomassa, obtenint així beneficis econòmics i ambientals.

Actualment, a Europa, el sector del biogàs compta amb milers d'instal·lacions i països com Alemanya, Àustria, Dinamarca i Suècia es troben entre els precursors tècnics amb el nombre més gran de plantes modernes de biogàs.

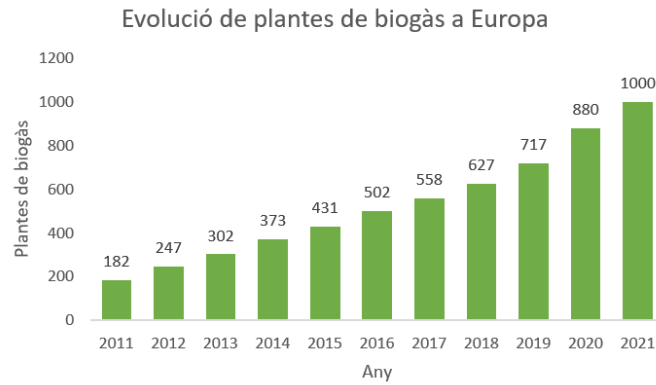


Figura 1. Evolució de les plantes de biogàs a Europa. (Gràfic adaptat de la European Biogas Association)

Es considera, doncs, que el biogàs, a part de ser una font d'energia renovable, és una de les tecnologies de més fàcil implementació sobretot en els sectors rurals.

Tot i que a priori sembla una tecnologia neta i directa, l'obtenció del biogàs comporta un rebuig que es coneix com a digestat, un efluent que és característic per les altes concentracions de nutrients que conté (la major part sent nitrats i amonis). Aquest nutrients en elevades concentracions són contaminants i tenen uns límits d'abocament molt marcats, per tant, el rebuig de la digestió anaeròbica s'ha de tractar correctament.

Cada planta de biogàs és diferent, però en definitiva totes consten del mateix procés que està resumit en el següent esquema.

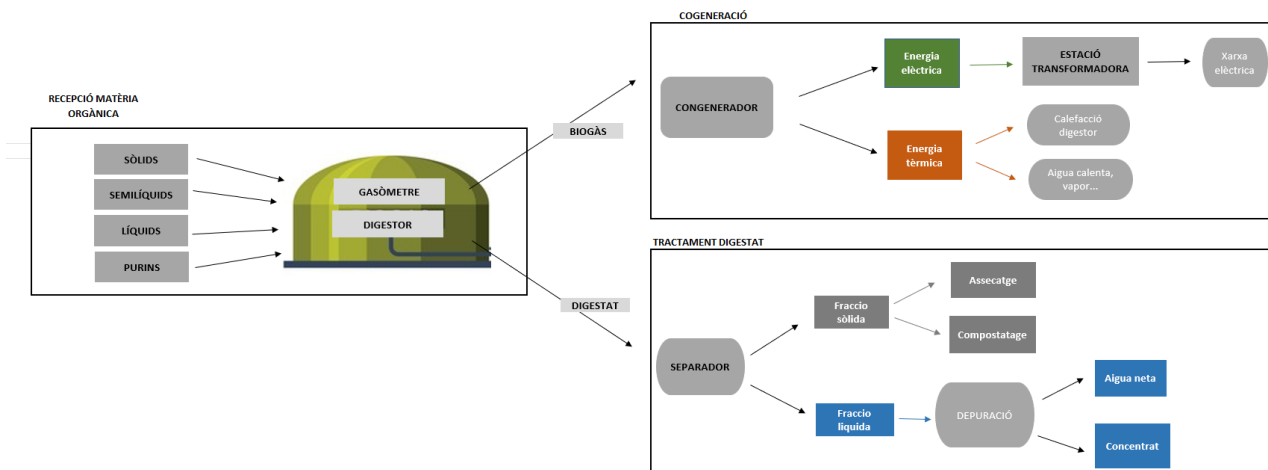


Figura 2. Esquema general del funcionament d'una planta de biogàs.

A continuació s'explicarà el procediment general d'una planta de biogàs amb l'aportació d'informació procedent de la planta de biogàs de Selecció Deseuras (Biogas Deseuras) ubicada a Osona (Vic) que s'ha pogut visitar durant la realització d'aquest treball.

1.1. Recepció de la matèria orgànica

L'etapa inicial d'una planta de biogàs és la recepció de la matèria orgànica per realitzar el procés de descomposició anaeròbica. La seva variabilitat és molt àmplia, ja que aquesta matèria pot provenir de residus ramaders i agroindustrials, llots d'estacions d'aigües residuals o residus d'efluents industrials. Tota aquesta matèria tant d'origen vegetal com animal s'introdueix dins de la càmera de digestió, on pot entrar en estat sòlid, semi líquid, líquid i en forma de purins (líquids procedents de la mescla de les dejeccions del bestiar porcí que conté un 90% d'aigua), no obstant la biomassa es mescla amb aigua abans d'entrar al digestor.

Les característiques bioquímiques d'aquests residus han de permetre el desenvolupament i l'activitat microbiana del sistema anaeròbic, que es basa en la presència de font de carboni, nitrogen i sals minerals (sofre, fòsfor, potassi, calci, magnesi...).

El rendiment del biogàs i la composició dels digestats està directament relacionat amb el tipus de matèria orgànica d'entrada.

A causa de l'excés de purins que tenen a Osona i aprofitant que la planta es troba al costat d'una granja porcina, a la planta de Deseuras els utilitzen per produir biogàs, reduint l'excés i obtenint beneficis alhora. Els purins, a l'estar compostos per tanta quantitat d'aigua els mesclen amb fangs per aconseguir tenir una matèria més consistent i millorar l'eficàcia de la digestió.



Figura 3. Dipòsit dels residus orgànics d'entrada de Deseuras.

1.2. Digestor

El digestor és el reactor on es diposita la matèria orgànica i té lloc la digestió anaeròbica. Essencialment, és un tanc tancat on s'introdueixen els residus orgànics mesclats amb aigua per ser descompostos per microorganismes. El tanc es compon d'un reactor on té lloc la descomposició i un gasòmetre on s'emmagatzema el biogàs.

Depenent de la utilització i la complexitat hi ha diferents tipus de dissenys de digestors, però en aquest treball no s'entra en detall. No obstant això, perquè un digestor operi de manera correcta ha de reunir certes característiques que són les òptimes per la digestió anaeròbica:

- > **Temperatura:** Els processos anaeròbics són dependents de la temperatura, ja que a mesura que s'augmenta la temperatura, augmenta la velocitat de creixement dels microorganismes i s'accelera el procés de digestió, donant lloc a major producció de biogàs. Existeixen tres rangs de temperatura: psicofílic (per sota de 25°C), mesofílic (entre 25 i 45°C) i termofílic (entre 45 i 65 °C). El règim mesofílic actualment és el més utilitzat perquè presenta més estabilitat que els altres.
- > **Temps de retenció de la matèria primera:** Els bacteris requereixen un cert temps per degradar la matèria. Aquest temps dependrà de la temperatura; com major sigui la temperatura, menor serà el temps de retenció.
- > **Acidesa:** El valor òptim de pH és entre 6,6 i 7,6. Fora d'aquest rang la producció de biogàs es pot veure molt afectada.
- > **Contingut de sòlids:** La mobilitat dels bacteris dins del substrat es veu afectada a mesura que augmenta el contingut de sòlids. Les millors condicions són amb menys d'un 10% de sòlids.
- > **Nutrients:** Pel correcte creixement i activitat dels bacteris, és necessària la presència de carboni, nitrogen, fòsfor, sofre i sals minerals.
- > **Tòxics:** Les substàncies que inhibeixen la digestió anaeròbica són l'oxigen, concentracions elevades d'amoniac, detergents i pesticides.
- > **Relació carboni/nitrogen de la matèria orgànica:** El carboni i el nitrogen són les principals fonts d'alimentació dels bacteris metanogènics. Aquests bacteris consumeixen 30 vegades més carboni que nitrogen, per tant, la relació òptima és 30:1.
- > **Agitació:** És essencial l'agitació per la correcta distribució dels microorganismes, es pot fer de manera mecànica (amb agitadors), hidràulica (amb bombes de recirculació) o amb el bombolleig del biogàs.

En algunes plantes de biogàs el reactor i el gasòmetre estan separats en dos tancs diferents. A la planta de Deseuras el gasòmetre està dins del reactor com es mostra a la figura 4.

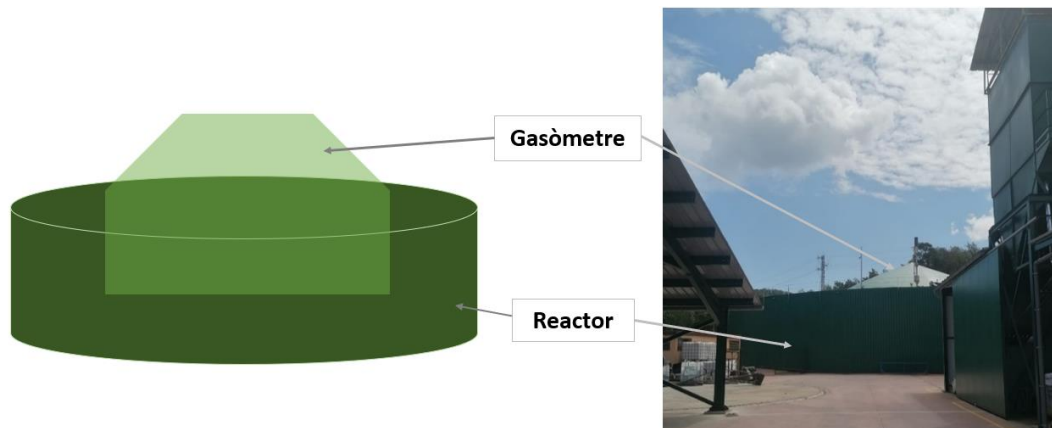


Figura 4. Parts del digestor de Deseuras.

A la planta de Deseures s'ha pogut observar que utilitzen el règim mesofílic de temperatura, el temps de retenció de la matèria és de 70 dies i es treballa a un pH=7 dins del digestor.

1.2.1. Digestió anaeròbica

La digestió anaeròbica és un procés biològic que té lloc en absència d'oxigen i mitjançant microorganismes (de tipus metanogènics), transformen la matèria orgànica en una mescla de gasos que es coneix com biogàs. Té lloc en quatre etapes:

- I. Hidròlisi
- II. Acidogènesi
- III. Acetogènesi
- IV. Metanogènesi

La primera fase és la hidròlisi de les macromolècules orgàniques (proteïnes, carbohidrats i lípids) en molècules més simples (mitjançant exoenzims que es generen per bacteris fermentatius). Aquestes es descomponen pels bacteris acidogènics donant lloc, principalment, a àcids grassos volàtils (de cadena curta), OH , CO_2 i H_2 . Els àcids grassos volàtils són transformats en àcid acètic, CO_2 i H_2 mitjançant l'acció de microorganismes acetogènics. Finalment, té lloc la metanogènesi, on els bacteris metanogènics consumeixen els àcids per produir CH_4 i CO_2 . Tots aquests processos tenen lloc simultàniament dins del reactor.

A la següent figura es mostra esquemàticament les fases del procés de digestió anaeròbica.

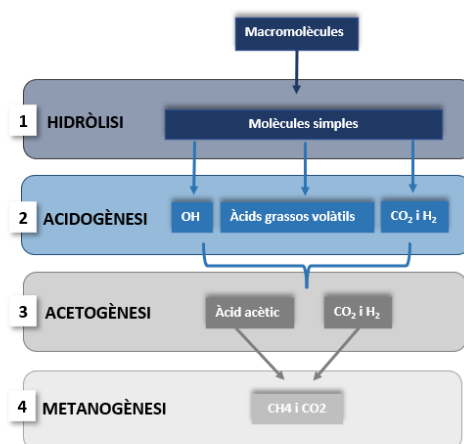


Figura 5. Fases del procés de digestió anaeròbica esquemàticament.

Amb aquest procés s’obtenen essencialment dos tipus de productes: el **biogàs** i el **digestat**.

1.3. Biogàs

El biogàs està compost principalment per tres components: metà (CH_4), diòxid de carboni (CO_2) i nitrogen (N_2). Tanmateix, existeixen altres espècies en menor quantitat com són l’àcid sulfhídric (H_2S), hidrogen (H_2), amoníac (NH_3) i oxigen (O_2).

A més, el biogàs està saturat amb aigua, partícules de pols, siloxans, compostos aromàtics i halogenats però aquests components es troben en quantitats traça que en comparació amb CH_4 i CO_2 són molt baixos.

El biogàs és l’única energia renovable que es pot utilitzar tant com energia tèrmica (per la producció de calor o vapor), energia elèctrica i com carburant, contribuint a la vegada a reduir emissions de gasos d’efecte hivernacle.

A la Taula 1 es pot observar les diferències de concentració dels diferents components del biogàs segons d’on prové la matèria orgànica tractada.

Taula 1. Composició del biogàs de diferent matèria orgànica d’origen.

MATÈRIA ORGÀNICA	CH_4 (%)	CO_2 (%)	N_2 (%)	O_2 (%)	H_2S (ppm)	Benzè (ppm)	Toluè (ppm)
Abocadors	45-62	24-40	1-7	1-2,6	15-427	0,6-35,6	1,7-287
Aigües residuals	58-65	33-40	1-8	<1	0-24	0,1-0,3	2,8-11,8
Residus orgànics	60-70	30-40	1	1-5	10-180	0,1-1,1	3-7

1.3.1. Cogeneració

La cogeneració és el conjunt de processos en els quals es produeix simultàniament energia elèctrica i tèrmica a partir d'una font primària d'energia que en aquest cas és el biogàs.

L'energia elèctrica es transforma per ser enviada a la xarxa elèctrica i l'energia tèrmica per produir aigua calenta, vapor, o es pot retornar al reactor en forma de calefacció.

1.1. Digestats

El residu que s'obté de la digestió és una mescla de residus líquids (que contenen substàncies dissoltes) i sediments que es troben al fons del digester.

La composició del digestat varia molt en funció de la matèria primera d'entrada, de les condicions del digester i dels processos que tenen lloc durant la digestió. Generalment, està compost de matèria orgànica, altes concentracions de minerals com N, K, P, sal, traces de metalls pesants i contaminants biològics (bacteris). Els nutrients que conté poden ser un fertilitzant molt valuós si es troba en la composició i volum correcte, per tant, el digestat, s'ha de tractar adequadament principalment per dues raons:

- I. Els biofertilizants són més nutritius que els fertilitzants tradicionals sintètics.
- II. Els nutrients mencionats anteriorment contenen altres substàncies útils per les plantes.

1.1.1. Tractament dels digestats

La finalitat de tractar l'efluent residual és reduir el contingut d'aigua i en conseqüència augmentar la concentració dels nutrients. Segons l'aplicació que se li vulgui donar el processament serà diferent.

El procés general és l'acondicionament del digestat que té com a objectiu produir biofertilizans estandarditzats (sòlids i líquids) en els que es procura millorar la qualitat i la comerciabilitat.

- > La fracció sòlida es pot compostar o assecar i es pot utilitzar com fertilitzant o compost.
- > La fracció líquida es pot tractar de manera similar al tractament d'aigües residuals com depuració, ultrafiltració o osmosi, que s'aplica per eliminar nutrients i matèria orgànica de l'efluent, permetent així l'abocament. Generalment s'obté un concentrat i aigua neta.

Taula 2. Composició general del digestat, fracció líquida i fracció sòlida. (Adaptat de Ullah Khan et al., 2017)

	ST (%)	NT (kg/m ³)	NH ₄ ⁺ (kg/m ³)	P ₂ O ₅ (kg/m ³)	K ₂ O (kg/m ³)
Digestat	6,5	5,1	3,2	2,3	5,5
Fracció líquida	5,7	4,9	3,1	2,3	5,4
Fracció sòlida	24,3	5,8	2,7	5,0	5,8

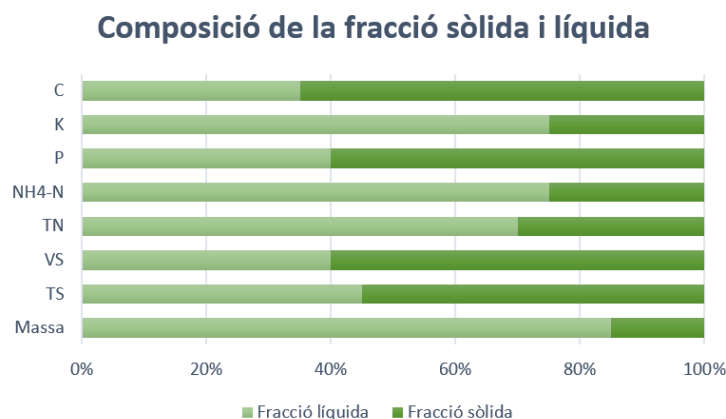


Figura 6. Composició general de la fracció sòlida i líquida del digestat (Adaptat de Bauer et al., 2009)

2. ESTUDI DELS DIGESTATS

2.1. Composició

La composició del digestat depèn molt de la matèria primera que s'introdueix al digestor i el procediment de fermentació. Les diferències de composició afecten a la qualitat del fertilitzant, la quantitat de matèria orgànica, el contingut de C:N i als nutrients.

Segons estudis que s'han realitzat anteriorment, s'ha permès conèixer que:

- > El contingut de matèria seca del digestat és aproximadament un 2% menor que el de la matèria orgànica d'entrada.
- > La concentració total de nitrogen és menor en el digestat que en la matèria orgànica d'entrada. Aquesta pèrdua de nitrogen pot ser deguda a la volatilització del NH_3 .
- > La relació de C:N en els digestats és menor que a la matèria orgànica d'entrada. El nitrogen orgànic es converteix en nitrogen inorgànic, només es perd una petita part per la volatilització mencionada anteriorment. El carboni orgànic disponible, en canvi, es degrada per l'alliberació de CH_4 i CO_2 , per tant la relació C:N és menor en els digestats.
- > Els digestats tenen una quantitat significativa de matèria orgànica biodegradable.
- > Tenen un alt contingut d'amoniac en forma de N-amoniacal.

Els nutrients presents en el digestats es troben en forma d'amoni (NH_4^+), potassi (K_2O) i fosfat (P_2O_5).

2.1.2. Anàlisi experimental de la composició genèrica dels digestats

El valor fertilitzant que presenten els digestats ve determinat principalment pel nitrogen amoniacal, encara que també és destacable el contingut de fòsfor i potassi, juntament amb el contingut de matèria orgànica.

Per tal de fer aquesta anàlisi a escala de laboratori, s'han agafat mostres del rebuig de l'osmosi dels digestats de la planta de Deseuras.

Determinació i quantificació del nitrogen amoniacal

Al laboratori es disposa d'un fotòmetre multiparàmetre que es basa en el fenomen de la interacció de la radiació electromagnètica amb la matèria. Mitjançant l'absorbància de la substància es pot calcular la concentració amb la llei de Lambert Beer.



Figura 7. Fotòmetre multiparàmetre

Per tal de determinar i quantificar el nitrogen se selecciona el mètode AMONIACO MR (R. Medio) del fotòmetre. Primer es fa un blanc afegint a la cubeta la mostra d'aigua (10 mL), després per fer la mesura s'afegeixen 4 gotes del primer reactiu (A), s'homogeneïtza i s'afegeix 4 gotes del altre reactiu (B). S'insereix la cubeta a l'instrument, s'espera 3 minuts i 30 segons i es fa la lectura. Es mostra el resultat en ppm de nitrogen amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) i a la vegada l'instrument converteix el resultat a ppm d'amoníac (NH_3) i amoni (NH_4^+).

Banda d'absorció: 420 nm

Rang de mesura del mètode: 0,00 - 10,00 ppm.

Com se sap que les aigües de procedència tenen una concentració alta d'amoníac i com que l'instrument només detecta fins a 10,00 ppm s'ha optat per fer una dilució 1:2 per fer les mesures.



Figura 8. Aigua de procedència i dilució 1:2.

Els reactius utilitzats són els especificats pel manual d'instruccions del fotòmetre.

El reactiu B fa referència al reactiu de Nessler, que és una solució preparada de iodur de potassi i iodur de mercuri (II) amb hidròxid de sodi que reacciona amb el nitrogen amoniacal formant una solució taronja.

Una vegada afegits els dos reactius s'introdueix la cubeta a l'instrument per realitzar la lectura.



Figura 9. Reactius per determinar el Nitrogen amoniacal. Cubeta de 10 mL amb les gotes de cada reactiu afegides.

El resultat obtingut de la primera mesura ha sortit fora de rang, per tant s'ha realitzat una altra dilució.

Seguint el procediment anterior, la mesura ha tornat a sortir fora de rang.

S'han provat diferents dilucions i finalment s'ha aconseguit obtenir un resultat fent una dilució en cadena de 1:1000 i 10:50.

A la taula 3 es mostren els valors obtinguts en el fotòmetre i els valors reals aplicant el factor de dilució mitjançant el següent factor de conversió.

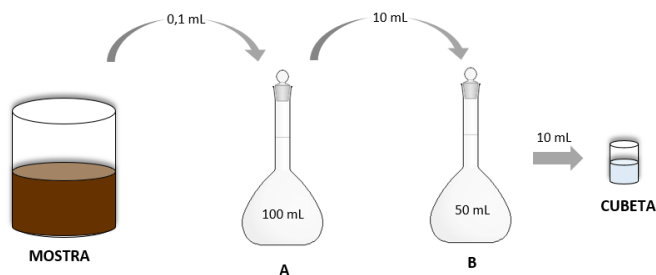


Figura 10. Esquema de la dilució.

$$2,51 \frac{\text{mg}}{\text{L A}} \times \frac{1 \text{ L A}}{1000 \text{ L A}} \times \frac{50 \text{ mL A}}{10 \text{ mL B}} \times \frac{100 \text{ mL B}}{0,1 \text{ mL mostra}} \times \frac{1 \text{ mL mostra}}{1000 \text{ L mostra}} = 12.550 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ mostra}$$

Taula 3. Valor de N amoniacal obtingut i valor real amb el factor de dilució aplicat.

	Valor obtingut	Valor real (dilució)
$\text{NH}_3\text{-N}$ (ppm)	2,51	12.550
NH_4^+ (ppm)	3,23	16.150
NH_3 (ppm)	3,05	15.250

Determinació de la DQO

El contingut de matèria orgànica s'ha establert mitjançant la determinació de la demanda química d'oxigen (DQO), que determina la quantitat d'oxigen necessari per oxidar la matèria orgànica d'una mostra sota condicions específiques d'agent oxidant, temperatura i temps.

L'agent oxidant és dicromat de potassi que és una sal de crom hexavalent de color taronja i un cop oxida la matèria orgànica passa a ser una forma trivalent de crom, que és de color verd opac. En el vial on es realitza la mesura conté una solució pre-medida d'àcid sulfúric i dicromat de potassi.

Per tal de realitzar la mesura s'ha realitzat una dilució 2:50. S'han afegit 0,2 mL de la dissolució al vial corresponent i s'ha fet la mesura en un fotòmetre multiparàmetre. Les condicions de treball són de 150°C durant 2h.



Figura 11. Vials de DQO i termobloc per escalfar els vials.

Taula 4. Valor de DQO obtingut i valor real amb el factor de dilució aplicat.

	Valor obtingut	Valor real (dilució 2:50)
DQO (ppm)	234	5.875

Determinació i quantificació de fòsfor

Per tal de determinar i quantificar el fòsfor se selecciona el mètode FÓSFORO del fotòmetre multiparàmetre. Primer es fa un blanc afegint a la cubeta la mostra d'aigua (10 mL), després per fer la mesura s'afegeixen 10 gotes de molibdat que és el primer reactiu (A), s'homogeneïtza i s'afegeix el contingut del sobre del segon reactiu que és l'amino àcid (B), s'espera 5 minuts i es fa la lectura.

Banda d'absorció: 525 nm

Per tal de fer les mesures s'ha utilitzat la dilució ja feta de 1:1000.



Figura 12. Reactius per la determinació de Fòsfor.

Taula 5. Valor del P obtingut i valor real amb el factor de dilució aplicat.

	Valor obtingut	Valor real (dilució 1:1000)
P (ppm)	0,1	1000
P ₂ O ₅ (ppm)	0,2	2000
PO ₄ ³⁻ (ppm)	0,3	3000

Determinació i quantificació de potassi

Per tal de determinar i quantificar el fòsfor es selecciona el mètode POTASIO RANGO ALTO del fotòmetre multiparàmetre. Primer es fa un blanc afegint a la cubeta la mostra d'aigua (10 mL) i

afegint 6 gotes del reactiu A, després s'afegeix el contingut del sobre del segon reactiu (B), s'espera 2 minuts i es fa la lectura.

Banda d'absorció: 610 nm

Per tal de fer les mesures s'ha utilitzat la dilució ja feta de 1:1000



Figura 13. Reactius per la determinació de Potassi

Taula 6. Valor de Potassi obtingut i valor real amb el factor de dilució aplicat.

	Valor obtingut	Valor real (dilució 1:1000)
K^+ (ppm)	40	40.000
K_2O (ppm)	45	45.000

Determinació del pH

Mitjançant indicadors de pH s'ha determinat el pH de la mostra.

Taula 7. Valor de pH a la mostra.

	pH
MOSTRA	7,5

2.2. Impactes ambientals

Un dels fets que impulsa al sector del biogàs és l'impacte ambiental que ocasiona principalment l'excés de fens d'animals en l'agricultura. La fertilització excessiva i incontrolable provoca:

- > Contaminació de les aigües subterrànies
- > Danys a l'estructura i la microbiologia del sòl
- > Augment d'emissions de metà i amoníac
- > Olors i molèsties per la presència de mosques

- > Augment de contaminació i de propagació de patògens

Per tant, es requereixen mesures de gestió adequades com la digestió anaeròbica que pot ser la solució als impactes mencionats anteriorment.

Els canvis en general que es produeixen a través de la digestió anaeròbica són:

- > Reducció de substàncies odoríferes (àcids volàtils, fenol i derivats del fenol).
- > Inactivació de virus, bacteris i paràsits presents en la matèria prima (sanejament).
- > Els nutrients lligats orgànicament, en particular el nitrogen, són mineralitzats i tenen millor disponibilitat per les plantes.
- > L'eficiència de N augmenta considerablement i les pèrdues de nutrients per lixiviació i evaporació es redueixen al mínim.

Tot i que el digestat és més higiènic i biològicament més estable que els residus orgànics no digerits, cada tipus de digestat té la seva composició i per utilitzar-lo d'una forma sostenible s'ha de caracteritzar i utilitzar-lo d'acord amb les bones pràctiques agrícoles.

2.3. Gestió de la qualitat del digestat

Per tal de maximitzar els beneficis econòmics i millorar la tecnologia és crucial caracteritzar i determinar la qualitat, les impureses i el contingut microbiològic i patògen de la matèria primera.

Quan s'utilitza el digestat com a biofertilitzant de cultiu es requereix una alta qualitat i per això molts països han establert regulacions nacionals sobre la qualitat i els usos del digestat produït.

A la Unió Europea el reglament Productes Fertilizants (UE) 2019/1009¹² estableix les característiques que han de complir els adobs inorgànics per determinar-se "adobs CE", en quant a la identificació del tipus, obtenció i components essencials, contingut mínim de nutrients, etiquetat, envasat, marges de tolerància, mètodes d'anàlisi i assaig. Aquest reglament va dirigit especialment als adobs produïts a partir de matèria orgànica.

Generalment, l'alta qualitat es defineix per algunes característiques estan definides per les següents propietats:

- > Contingut de nutrients
- > Valor de pH
- > Contingut de matèria seca i matèria seca orgànica
- > Homogeneïtat
- > Puresa (absència de plàstics, pedres, vidres, material no digerible)
- > Patògens
- > Quantitat de metalls
- > Concentració de compostos químics contaminants (metalls pesats, pesticides, desinfectants, aromàtics policíclics...)

La majoria d'impureses presents en els digestats estan causades per les matèries primeres que s'introdueixen al digestor. Els materials inerts com partícules de fusta, grava, metalls normalment es descomponen durant la digestió i no afecten al digestat. No obstant això, alguns materials digerits contenen matèries o compostos que són perillosos pels organismes vius i el medi ambient com els metalls pesants, contaminants orgànics persistents, pesticides, antibiòtics, contaminants emergents i químics utilitzats durant l'agricultura.

2.4. Aplicacions del digestat

Els diversos usos que té el digestat depèn de la seva composició i de la seva qualitat.

Primerament, el digestat es pot escampar com fem líquid pels camps ja que és un biofertilitzant ric en nutrients o es pot pretractat per optimitzar les seves característiques i poder donar-li altres usos.

Les aplicacions més típiques són:

- > **Fertilitzant** (utilització més sostenible). Pel seu ús sostenible com a fertilitzant, la qualitat s'ha de controlar en totes les fases del cicle de la digestió anaeròbica: des de la matèria primera fins a les fases de producció i ús dels fertilitzants.
- > **Compost**. El compost obtingut a partir del compostatge del digestat té el mateix efecte que el compost d'alta qualitat, millorant la qualitat del sòl, aportant microorganismes valuosos, millorant la capacitat de retenció de l'aigua i la capacitat d'amortiguació de pH del sòl.

Quan la qualitat del digestat no és adequada i la seva utilització està prohibida per la legislació:

- > Es pot reutilitzar en les pròpies instal·lacions per transportar nous fems d'animals i reduir el consum d'aigua. Però aquest digestat s'ha d'aplicar amb cura perquè la recirculació contínua pot provocar una acumulació de substàncies perjudicials per a la producció de biogàs.
- > La fracció sòlida es pot utilitzar per fabricar productes de construcció de baixa qualitat com taulers de fibra, materials compostos, substituïts de la palla...

Altres usos no tan comuns però que s'estan estudiant actualment són la utilització com:

- > Biocombustible/biomassa: Pellets secs de digestat cru o fracció sòlida.
- > Biomaterials: bioplastics, biosurfactants i biopesticides.

3. PROCESSOS DE TRACTAMENT DELS DIGESTATS

Després de l'obtenció del digestat, aquest es podria utilitzar directament sense cap tractament però a causa del gran volum i del baix contingut de matèria seca, els costos de transport, de manipulació, emmagatzematge, aplicació i contaminació són importants i és convenient la utilització de diferents tecnologies per un correcte processament.

Primerament, es fa una separació mecànica del digestat obtenint una fracció líquida i una fracció sòlida. Hi ha diferents tipus de tractaments disponibles al mercat, però actualment els més típics són la microfiltració i la centrifugació.

A la planta de Deseuras s'empra una centrífuga decantadora, que es basa en l'aplicació de la força centrífuga fent que les partícules més denses s'expulsin cap a les parets de la centrífuga durant el moviment rotatiu mentre que la fase líquida forma una capa interna concèntrica.

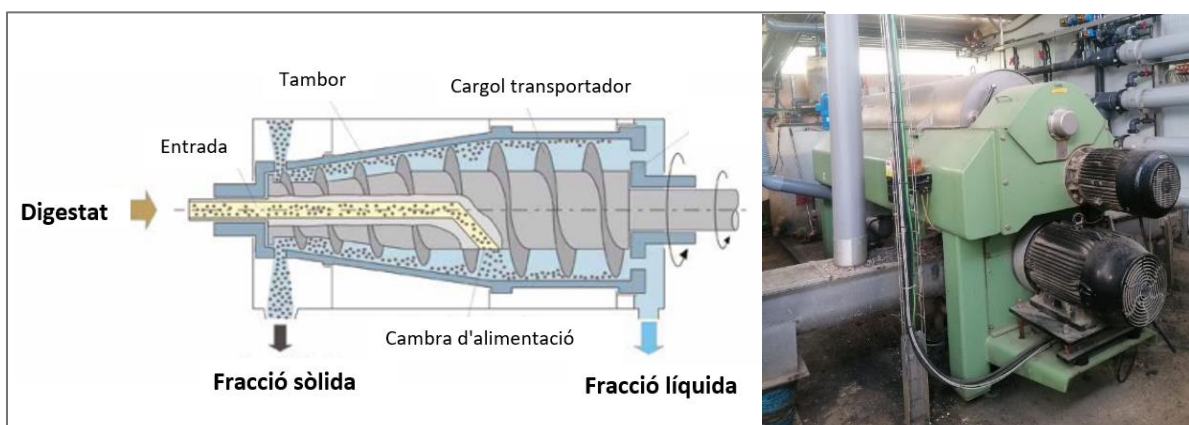


Figura 14. A l'esquerra es mostren les parts d'una centrífuga decantadora (Adaptat de de Bauer et al., 2009) i a la dreta la centrífuga decantadora de Deseuras.

Els rendiments esperats de la separació de la fracció sòlida i líquida es mostren a la Taula 8.

Taula 8. Separació del digestat (TS=2.8%) per la centrífuga decantadora (Adaptat de Al Seadi et al., 2013)

	Quantitat (kg)	TS (kg)	NH4-N(kg)	TK(kg)	TP(kg)	Aigua(kg)
Digestat	1000	28	4	2,8	0,9	972
Fracció sòlida	80	24	0,3	0,2	0,7	56
Fracció líquida	920	4	3,7	2,6	0,2	916

A la Figura 15 es dona una visió general de les diferents opcions de tractaments més típics de digestats que s'explicaran amb més detall al següent apartat.

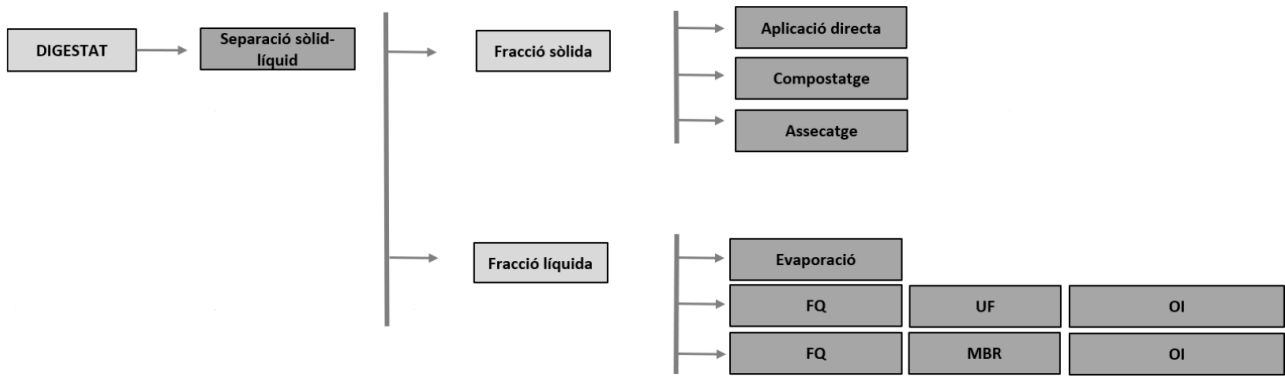


Figura 15. Visió general d'algunes configuracions pel processament dels digestats.

3.1. Processament del digestat sòlid

El digestat sòlid es pot aplicar directament com a fertilitzant en l'agricultura depenent de la matèria primera, l'estabilització i la concentració de nutrients. De manera general s'acostuma a compostar o assecar per afavorir l'emmagatzematge i el transport.

3.1.1. Compostatge

El compost és un biofertilitzant ideal ja que allibera nutrients lentament i té un molt bon rendiment com millorador de sòls.

El procés de compostatge requereix prèviament l'addició de material fibrós ja que el digestat acostuma a estar humit i parcialment degradat per compostar directament i de manera estable. El procés implica la conversió de matèria orgànica en CO_2 i aigua per part de microorganismes i la calor que s'allibera fa que l'aigua s'evapori, aconseguint així una reducció considerable de massa i de volum.

3.1.2. Assecatge

Per altra banda, hi ha processos d'assecatge de la fracció sòlida del digestat per tal d'estabilitzar el producte, reduir la massa total i augmentar la concentració de nutrients. El material sec es pot utilitzar en sectors de l'horticultura i jardineria o es pot pelletitzar.

Moltes plantes de biogàs han trobat una manera d'assecar més econòmica que és aprofitant l'excés de calor de la planta de cogeneració. També s'asseca mitjançant altres tecnologies o un assecat solar. El producte sec gairebé sempre s'exporta a zones on es pot estendre el fertilitzant amb alt contingut de fòsfor, d'aquesta manera els costos de transport es redueixen.

A Deseuras utilitzen el mètode d'assecatge i després pel·letitzen per fer l'adob.



Figura 16. Processament d'assecat a la planta de Deseuras. Assecat > Pel·letització > Fertilizant.

3.2. Processament del digestat líquid

La fracció líquida conté una quantitat considerable de sòlids en suspensió i nutrients. Per això és necessari processar aquesta fracció i aplicar processos de recuperació de nutrients. L'efluent líquid sense tractar, per les seves característiques, no es pot abocar ni reutilitzar.

Hi ha diferents tractaments de la fracció líquida que poden variar en funció del tipus de digestat, els costos operatius, l'objectiu de l'empresa, etc.

En aquest treball no s'han estudiat tots els possibles tractaments però s'ha realitzat un estudi dels tractaments més típics i més efectius.

3.2.1. Tractaments fisico-químic

Flotació per aire dissolt (FQ DAF)

Els sistemes de flotació per aire dissolt es basen en un procés físico-químic on s'injecta aire al corrent d'aigua i amb l'addició d'agents de flotació les bombolles d'aire s'adhereixen als sòlids formant augmentat la força d'elevació de les partícules. La capa de sediments flotants que es forma es va eliminant contínuament amb un sistema de raspat.

Per un costat es pot veure el procés en un esquema i al costat s'observa un equip de flotació per aire dissolt.

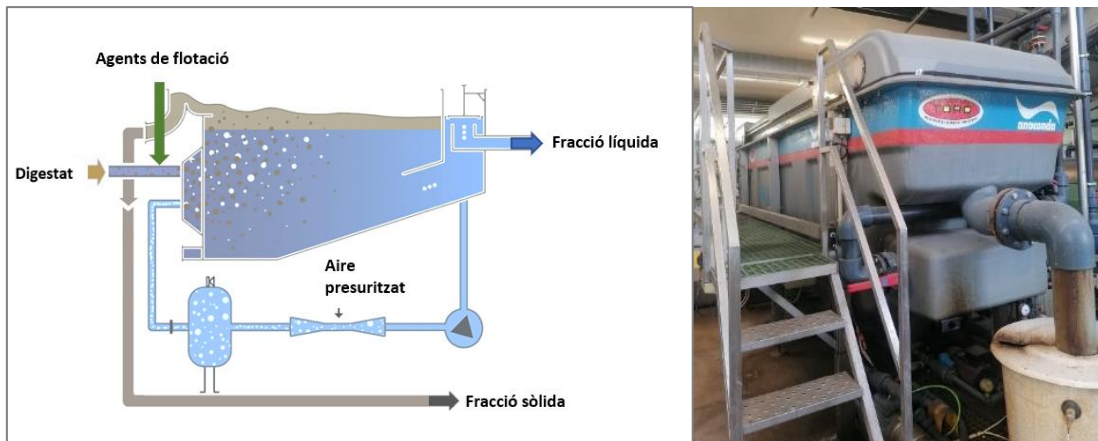


Figura 17. A l'esquerra es mostren les parts d'un flotador per aire dissolt (Adaptat de DISSOLVED AIR FLOTATION – FlotLife, n.d.) i a la dreta el l'equip de flotació de Deseuras.

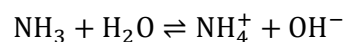
Stripping

L'*stripping* és un post-tractament típic que s'utilitza per recuperar o eliminar nitrogen d'un líquid en forma d'amoníac. El factor més important és la volatilitat de l'amoníac en solució aquosa que, augmentant la temperatura i el pH és major.

La fracció líquida escalfada s'alimenta a una columna de *stripping* amb un corrent d'aire (encara que també pot ser vapor o inclús el mateix biogàs generat a la planta). El gas de *stripping* que està saturat de NH_3 , es posa en contacte amb una solució àcida (àcid sulfúric o àcid nítric) formant l'ió amoni.

El factor principal que determina la proporció d'amoníac (NH_3) en relació a l'amoní (NH_4^+) en aigües és el pH. Altres factors són la temperatura i la força iònica.

L'equació d'equilibri d'aquestes dues espècies és la següent:



A pH bàsic la reacció es desplaça cap a la dreta, tenint més quantitat d'amoníac que d'amoní.

A pH àcid la reacció es desplaça cap a l'esquerra, tenint més quantitat d'amoní que d'amoníac.

Si convé, la fracció líquida amb amoníac a tractar es basifica prèviament per tenir més proporció de NH_3 i que es desorbeixi més quantitat en l'*stripping* per després recuperar més quantitat d'amoní a l'acidificar el líquid.

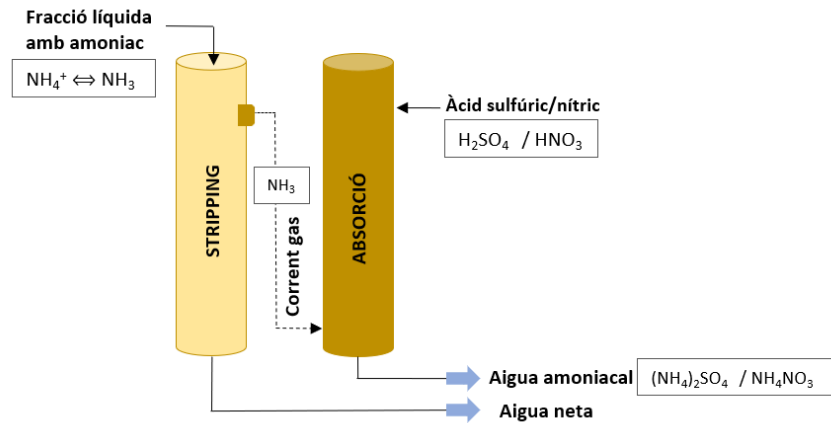


Figura 18. Funcionalment esquemàtic del *stripping* de l'amoníac.

3.2.2. Tractament amb membranes

El tractament amb membranes es basa en: La membrana actua com un filtre selectiu que reté sòlids en suspensió i partícules depenent dels porus de la membrana i de la pressió transmembrana. Els sòlids retinguts romanen en el concentrat i les altres partícules no retingudes juntament amb l'aigua parcialment neta (permeat) passen a través de la membrana.

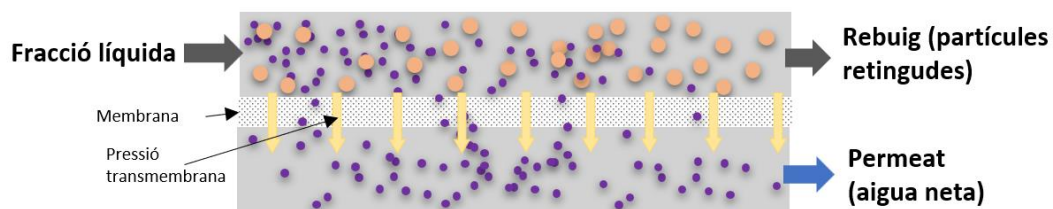


Figura 19. Funcionament esquemàtic de les membranes.

Les membranes tenen diversos graus de permeabilitat i segons la mida dels porus es classifiquen en:

- > Microfiltració (MF): Són les que tenen el tamany més gran de porus, de 1 a 100 μm .
- > Ultrafiltració (UF): Pot separar col·loides i macromolècules de diàmetres de 0,01 a 1 μm .
- > Nanofiltració (NF): Separa molècules petites de 0,001-0,01 μm .
- > Osmosi Inversa (OI): Permet separar en els rangs micromolecular i iònic. Els tamanyes de porus de les membranes es troben entre $1,5 \cdot 10^{-3}$ i $5 \cdot 10^{-4}$ μm .

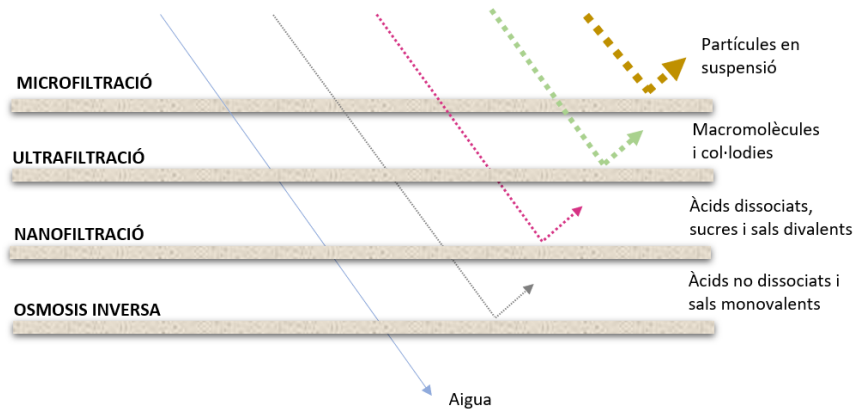


Figura 20. Classificació de les tecnologies de membrana segons la mida del porus.



Figura 21. Equip d'osmosi inversa de Deseuras.



Figura 22. Equip d'ultrafiltració de Deseuras.

Bioreactor per membrana (MBR)

El bioreactor per membrana es basa en la combinació d'un tractament biològic (on s'elimina la càrrega orgànica mitjançant la degradació biològica) i una separació per membranes (UF) on s'eliminen els sòlids en suspensió i els microorganismes. Els dos processos estan units i combinats.

3.2.3. Tractament per evaporació al buit

Els evaporadors al buit es basen en evaporar un líquid aplicant la tecnologia de les bombes al buit que permet escalfar un líquid a pressió negativa evaporant-lo per sota de la seva temperatura d'ebullició. D'aquesta manera es necessita una aportació calorífica molt més baixa que evaporant a pressió atmosfèrica i es poden destil·lar líquids amb un punt d'ebullició alt evitant la possible descomposició de substàncies sensibles.

Aquesta tecnologia és molt interessant per les plantes de biogàs ja que la pròpia planta genera electricitat o disposa d'excés de calor pel funcionament de l'equip. A més els corrents generats d'evaporar el digestat són: un residu concentrat ric en nutrients i un destil·lat que conté grans quantitats de nitrogen mineral, que amb un sistema de *stripping* s'elimina la major part de l'amoni-N, produint una solució de sulfat d'amoni, i aleshores el destil·lat es pot reutilitzar o abocar sense perill.

ZEWATECH disposa de diferents sistemes d'evaporació:

> Evaporació al buit per bomba de calor

Són sistemes d'evaporació al buit alimentats exclusivament per electricitat realitzant l'aportació tèrmica mitjançant un sistema frigorífic.

> Evaporació al buit amb alimentació externa (aigua o biogàs)

Són sistemes d'evaporació al buit alimentats per aigua calenta o vapor, que en aquest cas pot ser biogàs.

> Compressió mecànica del vapor

L'evaporació per compressió mecànica de vapor es basa en recuperar la calor latent de la condensació del destil·lat com a font d'escalfament del líquid a evaporar. La temperatura del vapor generat durant l'evaporació s'incrementa mitjançant la compressió del propi vapor, obtenint així una diferència de temperatura respecte al producte a evaporar i permetent l'intercanvi energètic.

D'aquesta manera el vapor sobreescalfat pot ser reciclat per mitjà d'un intercanviador del propi evaporador, on s'aconsegueix: estalviar energia per l'evaporació i evitar un refrigerant per la condensació.

Per aquests equips es pot utilitzar una bufant de tipus turbina o tipus lobular.

En el sector del biogàs l'última opció no és viable perquè les elevades concentracions d'amoniac en l'aigua residual no estan acceptades pel tipus de bufant lobular.

4. TRACTAMENT EXPERIMENTAL DELS DIGESTATS AMB EVAPORADORS AL BUIT

Per tal de fer una anàlisi del rendiment del tractament dels digestats mitjançant la tecnologia l'evaporació al buit, es realitza un estudi a petita escala al laboratori mitjançant un sistema de destil·lació al buit, que es basa en l'evaporació d'una mostra a pressió reduïda.

L'instrument utilitzat és un rotavapor amb un condensador vertical.



Figura 23. Rotavapor utilitzat per fer les proves experimentals.

A partir de la mostra de digestat estudiada a l'apartat 2.1.2. s'han mesurat 500mL i s'han afegit a un matràs d'evaporació, el qual s'ha portat al sistema de destil·lació. A una pressió de -0,9 bar i 40°C la mostra ha començat a destil·lar.

Amb aquest sistema es pretén:

- > Obtenir un destil·lat d'aigua clarificada amb reducció de matèria orgànica i una menor concentració d'amoniac i nutrients per poder reutilitzar-lo o abocar sense perill.
- > Obtenir un residu concentrat.
- > Eliminar gran part de l'amoniac a través del buit (simulant un *stripping*).

Com es pot observar, després de la destil·lació s'ha obtingut, per una banda, el destil·lat i per l'altra el concentrat.



Figura 24. Mostra abans d'evaporar.



Figura 25. Destil·lat i concentrat obtingut.

S'ha pesat la quantitat d'aigua a tractar i després la quantitat de destil·lat i de concentrat. Les mesures s'han realitzat en un granetari i es recullen a la Taula 9.

Mitjançant un balanç de masses també s'han calculat la quantitat de volàtils que han s'han absorbit pel sistema de buit.



Taula 9. Mesures del pes de la mostra, destil·lat, concentrat i volàtils.

	<i>MOSTRA</i>	<i>DESTIL·LAT</i>	<i>CONCENTRAT</i>	<i>VOLÀTILS</i>
	509,8	357,2	45,7	100,7

Figura 26. Granetari.

Les analítiques realitzades en el destil·lat i el concentrat són equivalents a les realitzades en la mostra de digestat de l'apartat 2.1.2., on es pot trobar el procediment detallat.

Determinació i quantificació del nitrogen amoniacal

Per realitzar les mesures del Nitrogen amoniacal, per una banda, s'ha mesurat la del destil·lat i, per altra banda, la del concentrat. En el destil·lat s'ha fet una dilució 1:1000 i en el concentrat dues dilucions en cadena 1:50 i 1:1000.

Taula 10. Valor de N amoniacal obtingut i valor real amb el factor de dilució aplicat del destil·lat i el concentrat.

<i>DESTIL·LAT</i>	<i>Valor obtingut</i>	<i>Valor real (dilució 1:1000)</i>
$NH_3-N(ppm)$	0,39	390
$NH_4^+(ppm)$	0,51	510
$NH_3(ppm)$	0,48	480

<i>CONCENTRAT</i>	<i>Valor obtingut</i>	<i>Valor real (dilució 1:50, 1:1000)</i>
$NH_3-N(ppm)$	1,45	72.500
$NH_4^+(ppm)$	1,88	94.000
$NH_3(ppm)$	1,77	88.500

Determinació de la DQO

Per realitzar les mesures de la demanda química d'oxigen, per una banda, s'ha mesurat la del destil·lat i, per altra banda, la del concentrat. En aquesta última s'ha fet una dilució 1:50, ja que, s'ha cregut convenient pel seu aspecte.

Taula 11. Valor de la DQO obtinguda i valor real amb el factor de dilució aplicat del destil·lat i el concentrat.

DESTIL·LAT	<i>Valor obtingut</i>	<i>Valor real (dilució)</i>
<i>DQO (ppm)</i>	57	-
CONCENTRAT		
<i>DQO (ppm)</i>	2.156	107.800

Determinació de fòsfor

Per realitzar les mesures del fòsfor, per una banda, s'ha mesurat la del destil·lat i, per altra banda, la del concentrat. En el destil·lat s'ha fet una dilució 1:1000 i en el concentrat dues dilucions en cadena 1:50 i 1:1000.

Taula 12. Valor de P obtingut i valor real amb el factor de dilució aplicat del destil·lat i el concentrat.

DESTIL·LAT	<i>Valor obtingut</i>	<i>Valor real (dilució 1:1000)</i>
<i>P (ppm)</i>	0,2	200
<i>P₂O₅(ppm)</i>	0,4	400
<i>PO₄³⁻ (ppm)</i>	0,5	500
CONCENTRAT		
	<i>Valor obtingut</i>	<i>Valor real (dilució 1:50, 1:1000)</i>
<i>P (ppm)</i>	0,1	5.000
<i>P₂O₅(ppm)</i>	0,2	10.000
<i>PO₄³⁻ (ppm)</i>	0,2	10.000

Determinació i quantificació de potassi

Per realitzar les mesures del potassi, per una banda, s'ha mesurat la del destil·lat i, per altra banda, la del concentrat. En el destil·lat s'ha fet una dilució 1:1000 i en el concentrat dues dilucions en cadena 1:50 i 1:1000.

Taula 13. Valor de K obtingut i valor real amb el factor de dilució aplicat del destil·lat i el concentrat

DESTIL·LAT	<i>Valor obtingut</i>	<i>Valor real (dilució 1:1000)</i>
<i>K⁺ (ppm)</i>	25	25.000
<i>K₂O (ppm)</i>	30	30.000

<i>CONCNETRAT</i>	<i>Valor obtingut</i>	<i>Valor real (dilució 1:1000)</i>
K^+ (ppm)	30	1.500.000
K_2O (ppm)	35	1.750.000

Determinació del pH

Mitjançant indicadors de pH s'ha determinat el pH del destil·lat i del concentrat.

Taula 14. Valor de pH del destil·lat i concentrat

	<i>pH</i>
<i>DESTIL·LAT</i>	10,5
<i>CONCENTRAT</i>	7,5

4.1. Discussió dels resultats

El rendiment de l'evaporació s'ha calculat fent un balanç de masses entre el pes de l'aigua de la mostra i el pes obtingut del destil·lat i del concentrat (Taula 15).

Es pot observar que s'ha aconseguit concentrar fins a un 70% l'aigua d'entrada i pel sistema de buit s'han absorbit un 21% de volàtils, sent un d'ells l'amoníac.

Aquest procés d'absorció dels volàtils és el que fa referència al *stripping* a nivell de laboratori. La finalitat d'aquest experiment no és recuperar l'amoníac com a tal, sinó demostrar l'efectivitat de l'evaporació al buit, per tant no s'ha entrat en detall a tractar l'amoníac absorbit pel buit.

Taula 15. Rendiment d'evaporació

	<i>MOSTRA</i>	<i>DESTIL·LAT</i>	<i>CONCENTRAT</i>	<i>VOLÀTILS</i>
<i>Pes (g)</i>	509,8	357,2	45,7	100,7
<i>Rendiment (%)</i>		70	9	21

A la Taula 16 es pot observar com mitjançant l'evaporació al buit s'aconsegueix reduir considerablement la DQO, obtenint un valor de 57 ppm en el destil·lat que permet l'abocament segur pel medi ambient.

Taula 16. Resultats obtinguts de DQO.

	<i>MOSTRA</i>	<i>DESTIL·LAT</i>	<i>CONCENTRAT</i>
<i>DQO (ppm)</i>	5.875	57	107.800

Com s'ha mencionat anteriorment l'amoniac és un dels principals problemes d'aquest tipus d'aigües principalment perquè es troben en concentracions elevades i són un problema de contaminació. Amb l'evaporació s'aconsegueix eliminar amoniac gas mitjançant un sistema de *stripping* per un costat i per l'altre s'aconsegueix reduir la concentració en el destil·lat, permetent l'abocament segur de l'aigua o la reutilització.

Cal mencionar que les proves d'evaporació al laboratori són a petita escala i de manera orientativa. Als equips d'evaporació industrial els resultats poden variar, però en aquest treball només s'estudia a nivell de laboratori.

Taula 17. Resultats obtinguts de Nitrogen amoniacal.

	<i>MOSTRA</i>	<i>DESTIL·LAT</i>	<i>CONCENTRAT</i>
NH_3-N (ppm)	12.550	390	72.500
NH_4^+ (ppm)	16.150	510	94.000
NH_3 (ppm)	15.250	480	88.500

Pel que fa al Fòsfor i al Potassi, també s'ha pogut observar una reducció de la concentració en el destil·lat. Tanmateix, aquests dos elements no es consideren grans contaminants encara que és interessant controlar-los, però no es consideren una problemàtica tan important com l'amoniac.

Taula 18. Resultats obtinguts de Fòsfor.

	<i>MOSTRA</i>	<i>DESTIL·LAT</i>	<i>CONCENTRAT</i>
P (ppm)	1000	200	5.000
P_2O_5 (ppm)	2000	400	10.000
PO_4^{3-} (ppm)	3000	500	10.000

Taula 19. Resultats obtinguts de Potassi.

	<i>MOSTRA</i>	<i>DESTIL·LAT</i>	<i>CONCENTRAT</i>
K^+ (ppm)	40.000	25.000	1.500.000
K_2O (ppm)	45.000	30.000	1.750.000

Finalment es pot observar el pH obtingut en cada efluent, mantenint-se bàsic en tot el procés segurament degut a la presència d'amoníac i materia orgànica.

Taula 20. Resultats obtinguts de pH

	<i>MOSTRA</i>	<i>DESTIL·LAT</i>	<i>CONCENTRAT</i>
<i>pH</i>	7,5	10,5	8,5

Amb les analítiques realitzades s'han pogut determinar i quantificar els tres elements més característics dels digestats d'una planta de biogàs. El Potassi és el que es troba en concentracions més elevades, seguit de l'Amoníac i el Fòsfor.

Mitjançant l'evaporació al buit s'ha pogut reduir considerablement la concentració d'aquests elements en el destil·lat i s'han pogut concentrar en un altre efluent.

Segons la bibliografia trobada, els resultats obtinguts són equivalents als esperats.

5. CONFIGURACIÓ D'UN PROCÈS DE TRACTAMENT DE DIGESTAT LÍQUID. ESTUDI DE L'INVERSIÓ I L'ENERGIA.

Un dels criteris més importants per decidir el procés de tractament de digestats o de qualsevol tractament és el cost. És una qüestió complexa perquè el cost econòmic real depèn molt de la composició del digestat i les condicions locals. Tot i que hi ha diversos estudis econòmics i mediambientals dels processaments dels digestats, la majoria comparen poques tecnologies convencionals.

A continuació es farà una anàlisi detallat de 5 processos de tractament del digestat líquid per una planta de biogàs que inclou un estudi comparatiu de diferents configuracions i combinacions de tecnologies convencionals analitzant els inconvenients i quines solucions es proposen amb la tecnologia d'evaporadors al buit de ZEWATECH. No obstant això, hi ha més tecnologies i combinacions, però no s'entrarà en detall en aquest treball.

Per fer l'estudi es considera que una planta de biogàs produeix 48m³/dia de digestat i es porta a gestionar externament amb un cost de 80€/m³, per tant, el seu cost per dia és de 3840 €. (Es considera que no disposa de cap sistema de tractament, només un equip de separació de la fracció líquida i sòlida.).

Les dades i estimacions del projecte són les següents:

Taula 21. Dades i estimacions del projecte d'estudi.

DADES DEL PROJECTE	
PRODUCCIÓ DE DIGESTATS [m3/dia]	48
COST GESTIÓ DE DIGESTATS [€/m3]	80
COST AL QUE VENEN L'ELECTRICITAT [€/kWh]	0,1
COST DEL PERSONAL [€/h]	20
COST DEL PRODUCTE QUÍMIC [€/litre]	4
PREU DE L'ADOB [€/kg]	22,3
QUANTITAT D'AMONI EN EL CONCENTRAT [%]	5
PREU AMONIAC [€/kg]	32,3
COST DE LA GESTIÓ DE DIGESTATS [€/m3]	100
DIES TREBALLATS [dies/any]	365
COST DE LES MEMBRANES UF* [€/unitat]	800
COST DE LES MEMBRANES OI** [€/unitat]	800
PERÍODE DE SUBSTITUCIÓ DE MEMBRANES DE UF [mesos]	8
PERÍODE DE SUBSTITUCIÓ DE MEMBRANES DE OI [mesos]	8

*Ultrafiltració
**Osmosi inversa

Les configuracions estudiades són les següents:

OPCIÓ 1: FQ/DAF + UF + OI

OPCIÓ 2: FQ/DAF + MBR (BIOR + UF) + OI

OPCIÓ 3: FQ/DAF + UF + OI + EVAP

OPCIÓ 4: FQ/DAF + MBR (BIOR + UF) + OI + EVAP

OPCIÓ 5: EVAP

A continuació es farà una explicació de cada opció proposada, amb els inconvenients que comporta i les possibles avantatges.

5.1. Comparativa dels processos

OPCIÓ 1: FQ/DAF + UF + OI

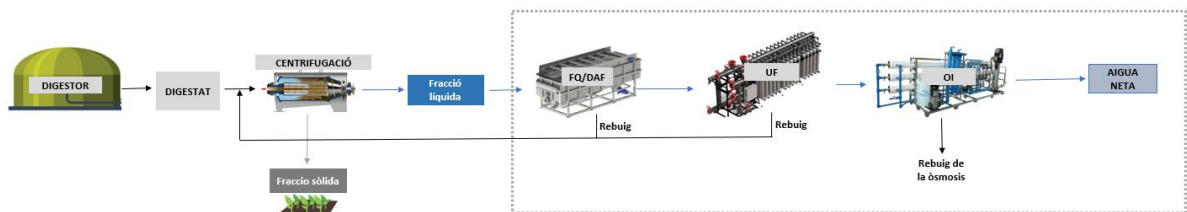


Figura 27. Esquema del procés de la OPCIÓ 1.

El digestat és una mescla sòlida-líquida que mitjançant una centrífuga es separa en dos efluents: el sòlid i el líquid.

L'efluent líquid passa per un tractament físico-químic (FQ-DAF) on es separen els sediments formats (en forma de rebuig) de l'aigua i aquesta passa per una ultrafiltració (UF) on es separen col·loides de diàmetres inferiors a 0,01 µm, tant el rebuig del físico-químic com el de la

ultrafiltració es retorna al procés de centrifugació. El corrent d'aigua parcialment neta passa per una osmosi inversa (OI) on es separen substàncies d'entre $1,5 \cdot 10^{-3}$ i $5 \cdot 10^{-4}$ μm però no s'aconsegueix eliminar totalment l'amoniac que conté l'aigua. Una opció per reduir la quantitat d'amoniac és recircular-lo per la OI amb diferent pressió transmembrana. Per una part s'obté aigua neta (amb presència d'amoniac) i, per una altra part, el rebuig de la osmosi que s'envia a un gestor per tractar-ho externament.

Els inconvenients que presenta aquesta configuració són:

- x El FQ-DAF necessita productes químics.
- x Les membranes de la UF i la OI tenen problemes d'embrutament i saturació per tant requereix un canvi de membranes periòdicament.
- x El permeat de la OI conté altes concentracions d'amoniac i nitrats, no es pot ni abocar ni reutilitzar.
- x El rebuig de la OI s'ha de gestionar externament i té un cost elevat.
- x Es requereix personal pel manteniment dels equips.

OPCIÓ 2: FQ/DAF + MBR (BIOR + UF) + OI

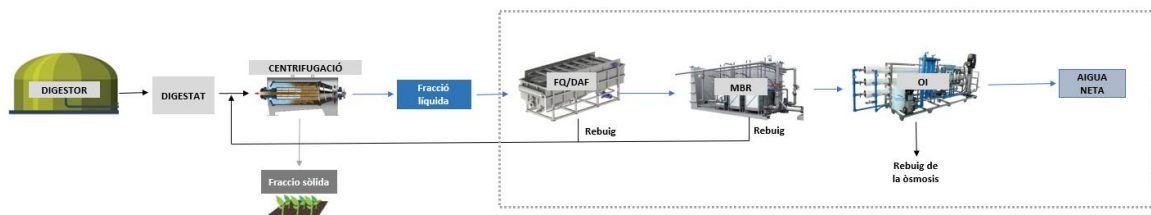


Figura 28. Esquema del procés de la OPCIÓ 2.

El digestat és una mescla sòlida-líquida que mitjançant una centrífuga es separa en dos efluents: el sòlid i el líquid.

L'efluent líquid passa per un tractament físico-químic (FQ-DAF) on es separen els sediments formats (en forma de rebuig) de l'aigua i aquesta passa per un bioreactor on s'elimina la càrrega orgànica mitjançant la degradació biològica i en un procés tancat per ultrafiltració es separen col·loides de diàmetres inferiors a $0,01 \mu\text{m}$, tant el rebuig del físico-químic com el del bioreactor de membrana (MBR) es retorna al procés de centrifugació. El corrent d'aigua parcialment neta passa per una osmosi inversa (OI) on es separen substàncies d'entre $1,5 \cdot 10^{-3}$ i $5 \cdot 10^{-4}$ μm però no s'aconsegueix eliminar totalment l'amoniac que conté l'aigua. Una opció per reduir la quantitat d'amoniac és recircular-lo per la OI amb diferent pressió transmembrana. Per una part s'obté aigua neta (amb presència d'amoniac) i, per una altra part, el rebuig de la osmosi que s'envia a un gestor per tractar-ho externament.

Els inconvenients que presenta aquesta configuració són:

- ✗ El FQ-DAF necessita productes químics
- ✗ Les membranes de la UF i la OI tenen problemes d'embrutiment i saturació per tant requereix un canvi de membranes periòdicament.
- ✗ El bioreactor requereix control i personal, i si els microorganismes moren el sistema deixa de funcionar.
- ✗ El permeat de la OI conté altes concentracions d'amoniac i no es pot ni abocar ni reutilitzar.
- ✗ El rebuig de la OI s'ha de gestionar externament i té un cost elevat.
- ✗ Es requereix personal pel manteniment dels equips

Davant de les problemàtiques que generen aquestes configuracions es proposen una sèrie de solucions que proporciona la tecnologia d'evaporació al buit:

- ✓ Tractar el rebuig de l'osmosi a la mateixa planta, estalviant el cost del gestor de residus.
- ✓ Eliminar el N de l'aigua neta, de manera que es pot utilitzar com aigua de mescla en el procés del biogàs o ser abocada sense perill.
- ✓ Reduir el personal requerit i, per tant, reduir els costos.
- ✓ Reduir costos d'operació.
- ✓ Reduir el volum del digestat per tal de reduir costos de transport, emmagatzematge i esparciment.
- ✓ Revaloritzar el rebuig, de manera que es poden augmentar les vendes de fertilitzant.

A les següents configuracions s'ha afegit l'evaporador al buit.

OPCIÓ 3: FQ/DAF + UF + OI + EVAP

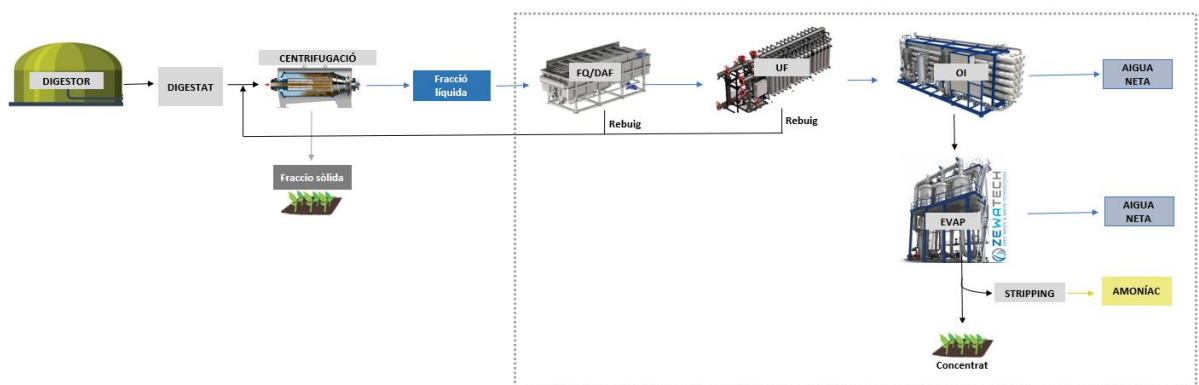


Figura 29. Esquema del procés de la OPCIÓ 3.

A la configuració de la OPCIÓ 1 es tracta el rebuig de l'osmosi mitjançant un evaporador al buit.

El rebuig de l'osmosi que està en estat líquid s'introdueix a l'evaporador i s'obté l'aigua destil·lada, es recupera amoníac mitjançant un *stripping* dins del mateix equip i s'obté un concentrat amb els nutrients necessaris per utilitzar-se com adob.

Els inconvenients que presenta aquesta configuració són:

- ✗ Els mateixos que la OPCIÓ 1.
- ✗ Augment de costos per la inversió de l'evaporador industrial.
- ✗ Part de l'aigua neta (permeat de la OI) pot seguir contenint amoníac.

Les millores que s'aconsegueixen són:

- ✓ Es tracta el rebuig de l'osmosi evitant així el cost de la gestió externa que comporta.
- ✓ Es recupera amoníac amb un stripping, el qual es pot comercialitzar i a la vegada s'elimina de l'aigua neta podent reutilitzar-la o abocar-la sense perill.
- ✓ Es revaloritza el residu en forma de concentrat que s'utilitza com fertilitzant líquid.

OPCIÓ 4: FQ/DAF + MBR (BIOR + UF) + OI + EVAP

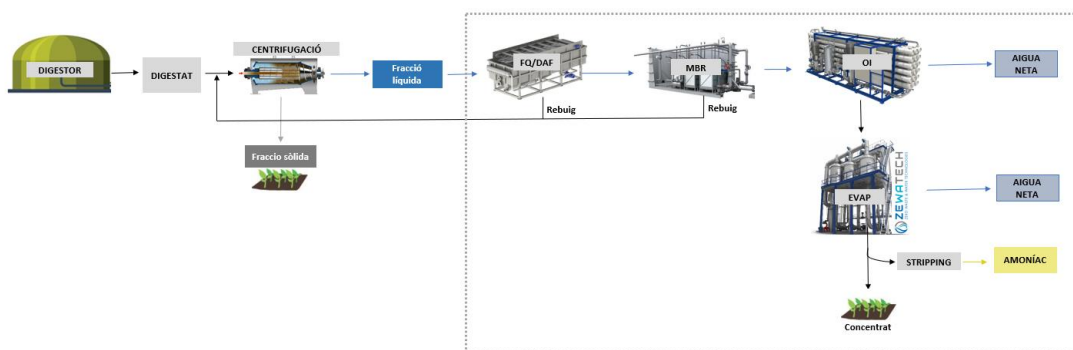


Figura 30. Esquema del procés de la OPCIÓ 4.

A la configuració de la OPCIÓ 2 es tracta el rebuig de l'osmosi mitjançant un evaporador.

El rebuig de la osmosis que està en estat líquid s'introdueix a l'evaporador i s'obté l'aigua destil·lada, es recupera amoníac mitjançant un stripping dins del mateix equip i s'obté un concentrat amb els nutrients necessaris per utilitzar-se com adob.

Els inconvenients que presenta aquesta configuració són:

- x Els mateixos que la OPCIÓ 1.
- x Augment de costos per la inversió de l'evaporador industrial.
- x Part de l'aigua neta (permeat de la OI) pot seguir contenint amoníac.

Les millores que s'aconsegueixen són:

- ✓ Es tracta el rebuig de la osmosis per tant s'evita la gestió externa d'aquest, evitant el cost que comporta.
- ✓ Es recupera amoníac amb un *stripping*, el qual es pot comercialitzar i a la vegada s'elimina de l'aigua neta podent reutilitzar-la o abocar-la sense perill.
- ✓ Es revaloritza el residu en forma de concentrat que s'utilitza com fertilitzant líquid.

OPCIÓ 5: EVAP

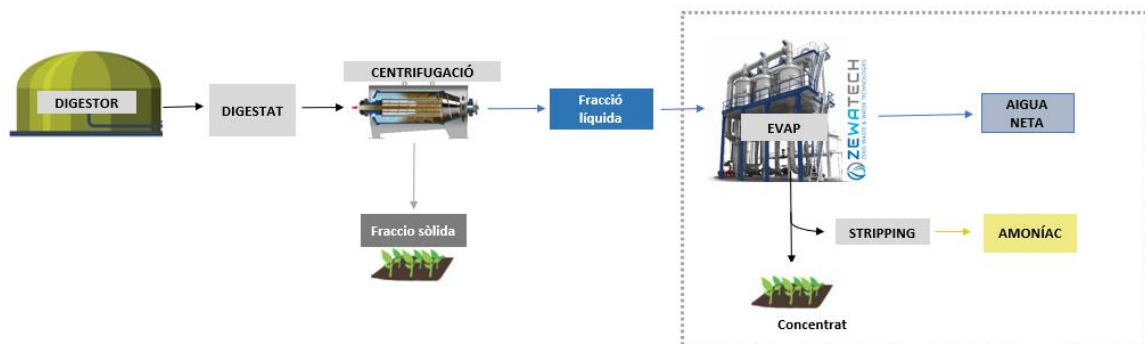


Figura 31. Esquema del procés de la OPCIÓ 5.

En aquest cas l'efluent líquid que ha sigut separat per centrifugació s'introdueix directament a l'evaporador i s'obté l'aigua destil·lada, es recupera amoníac mitjançant un *stripping* dins del mateix equip i s'obté un concentrat amb els nutrients necessaris per utilitzar-se com adob.

Els inconvenients que presenta aquesta configuració són:

- x Inversió elevada per l'evaporador industrial.

Les millores que s'aconsegueixen són:

- ✓ Es recupera amoníac amb un *stripping*, el qual es pot comercialitzar i a la vegada s'elimina de l'aigua neta podent reutilitzar-la o abocar-la sense perill.
- ✓ Es revaloritza el residu en forma de concentrat que s'utilitza com fertilitzant líquid.
- ✓ Es redueix considerablement el personal.
- ✓ Es redueixen els productes químics.

- ✓ S'elimina el canvi periòdic de membranes.
- ✓ Es redueixen costos d'operació.
- ✓ Tota l'aigua neta que s'obté no conté amoníac.

Donat que la OPCIÓ 1 i la OPCIÓ 2 són molt similars respecte al tractament, només s'estudiarà la OPCIÓ 2 ja que es considera que per la morfologia de les aigües del sector de biogàs la inversió en un reactor biològic de membrana està justificada.

Per tant, s'estudiarà la viabilitat de la OPCIÓ 2, OPCIÓ 4 i OPCIÓ 5 tenint en compte els factors més importants d'una indústria que són: tasques requerides, manteniment de cada sistema, productes que es necessiten i els inconvenients que desemboca cada sistema.

5.2. Comparativa dels evaporadors

Abans d'estudiar cada una de les opcions descrites anteriorment, s'analitzarà de manera general l'opció més econòmica d'evaporadors que ofereix ZEWATECH. Com s'ha mencionat a l'apartat 3.2.3 disposa de les següents tecnologies:

Evaporació al buit per bomba de calor (VT-BC)

Evaporació al buit amb alimentació externa (VT-S)

Compressió mecànica del vapor amb bufant tipus lobular (VT-MVC lobular)

Compressió mecànica del vapor amb bufant tipus turbina (VT-MCV turbina)

Per 18 m³/dia (OPCIÓ 4):

Taula 22. Estudi del CAPEX i l'OPEX de les diferents tecnologies ZEWATECH per 18 m³/dia d'efluent.

Tecnologia	Consum elèctric (kWh/m ³)	Aport calorífic amb vapor (kWh/m ³)	OPEX total (€/dia)	CAPEX total (€)	Treballar amb amoníac
VT-S	6	890	575	214.000,00 €	Admissible
VT-BC	200	0	504	202.000,00 €	Admissible
VT-MVC (lobular)	60	0	151	270.000,00 €	No admissible
VT-MVC (turbina)	27	0	68	302.000,00 €	Admissible

Per 48 m³/dia (OPCIÓ 5):

Taula 23. Estudi del CAPEX i l'OPEX de les diferents tecnologies ZEWATECH per 48 m³/dia d'efluent.

Tecnologia	Consum elèctric (kWh/m ³)	Aport calorífic amb vapor (kWh/m ³)	OPEX total (€/dia)	CAPEX total (€)	Treballar amb amoníac
VT-S	6	890	575	214.000,00 €	Admissible
VT-BC	200	0	504	202.000,00 €	Admissible
VT-MVC (lobular)	60	0	151	270.000,00 €	No admissible
VT-MVC (turbina)	27	0	68	302.000,00 €	Admissible

Primerament, es pot veure que el VT-MVC lobular no és admissible pel tipus d'aigües del sector de biogàs, perquè com s'ha mencionat anteriorment, la bufant no admet concentracions altes d'amoníac.

Amb les altres tres opcions, es pot observar que, tot i que el VT-MVC turbina té un cost d'inversió més alt que les altres tecnologies, el cost operatiu diari és molt més baix i a la llarga es considera que serà més rentable.

Per tant, per aquest estudi de projecte s'ha escollit l'evaporador VT-MVC amb turbina.

5.3. Anàlisi CAPEX/OPEX

La viabilitat dels tres projectes s'estudiarà mitjançant una anàlisi del CAPEX i l'OPEX.

El CAPEX fa referència a les despeses necessàries per a la inversió inicial i la seva instal·lació, com la millora o l'actualització de l'equip.

L'OPEX fa referència a les despeses operatives recurrents necessàries per mantenir i operar l'equip, com el cost de l'energia per fer-lo funcionar, la neteja, el manteniment regular, els costos associats per la compra de productes químics i subministraments necessaris.

Per les 3 opcions, els paràmetres estudiats en el CAPEX són:

- > Cost d'inversió de l'equip (que depèn majoritàriament del caudal de l'efluent líquid en el cas dels evaporadors)

I els paràmetres estudiats en l'OPEX són:

- > Consum elèctric (kWh/m³)
- > Consum del personal requerit (h/dia)
- > Consum del producte químic (L/dia)

- > Consum del canvi de membranes (depèn del número de membranes/ període de substitució de membranes)
- > Consum del residu a gestionar externament

Els consums i els preus han sigut proporcionats per ZEWATECH.

5.3.1. Procés mitjançant membranes sense evaporador (OPCIÓ 2)

Diagrama de blocs

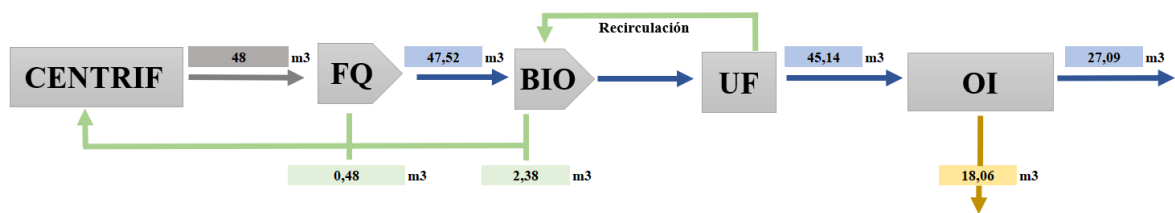


Figura 32. Diagrama de blocs amb els cabals per la OPCIÓ 2.

Anàlisi CAPEX/OPEX total

El cost del físico-químic, del bioreactor de membrana i de l'osmosi inversa, el CAPEX total d'aquesta configuració es de 337.000 €.

Taula 24. CAPEX opció 2.

OPCIÓ 2 (BIO+FQ+UF+OI)	
TECNOLOGIA	CAPEX [€]
FQ	97.000 €
MBR	156.000 €
OI	84.000 €

Tenint en compte els paràmetres mencionats anteriorment, l'OPEX total durant un any seria de 741.281 €.

Taula 25. OPEX opció 2.

OPCIÓ 2 (BIO+FQ+UF+OI)										
TECNOLOGIA	CONSUM ELÈCTRIC [kWh/m³]	CONSUM DEL PERSONAL [h/dia]	CONSUM DEL PRODUCTE QUÍMIC [litres/dia]	NÚMERO DE MEMBRANES	RESIDU A GESTIONAR [m³/dia]	COST TOTAL (OPEX) [€/dia]	AGUA TRACTADA [%]	% REBUIG [%]	AGUA A TRACTAR [M³/DIA]	CAPEX [€]
FQ	0,5	1,42	7,8	0	0	62,00 €	99	1	48	97.000 €
MBR	3,5	1,38	4,2	3	0	71,03 €	95	5	47,52	156.000 €
OI	4,5	1,57	5,1	6	18,0576	1.897,87 €	60	40	45,144	84.000 €

Per tant:

Taula 26. Recull dels resultats de l'estudi realitzat per l'opció 2.

	FISICO QUÍMIC	MBR	OSMOSI INVERSA
COST TOTAL (€/dia)	62,00 €	71,03 €	1.897,87 €
% TRACTAT (%)	99	95	60
% REBUIG (%)	1	5	40
AIGUA A TRACTAR (m³/dia)	48	47,52	45,14
CAPEX (€)	97.000 €	156.000,00 €	84.000,00 €
CAPEX TOTAL (€)			337.000 €
AIGUA RECUPERADA (m³/dia)			27,09
OPEX TOTAL (€/any)			741.280,98 €
COSTE (€/m³)			42,31 €

A continuació es mostren els resultats gràficament.

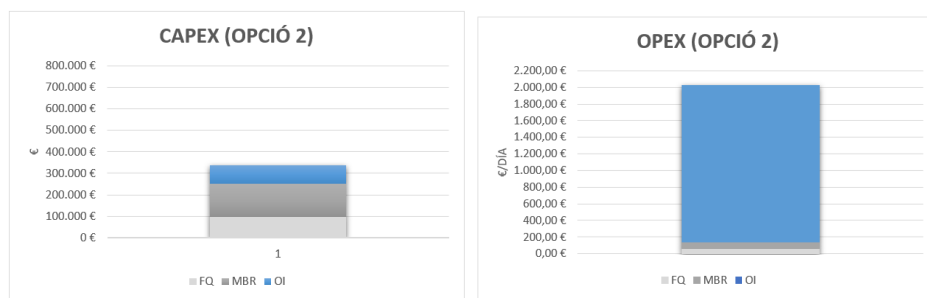


Figura 33. Anàlisi CAPEX/OPEX de l'opció 2 gràficament.

5.3.2. Procés mitjançant membranes amb evaporador (OPCIÓ 4)

Diagrama de blocs

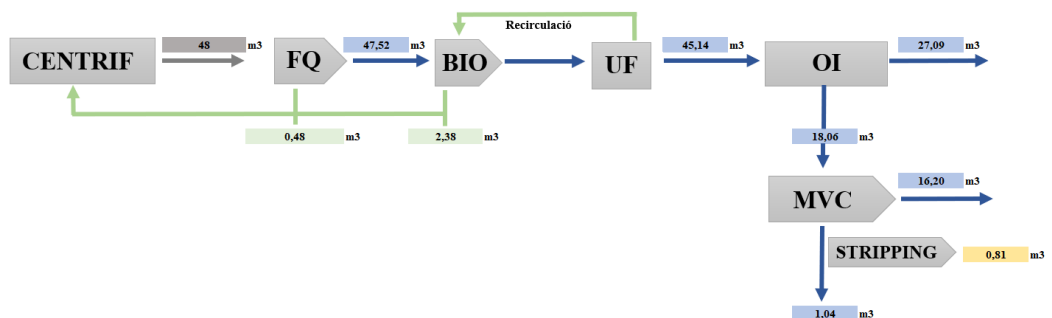


Figura 34. Diagrama de blocs amb els cabals de l'OPCIÓ 4.

Anàlisi CAPX/OPEX total

El cost del físico-químic, del bioreactor de membrana, de l'osmosi inversa i de l'evaporador MVC tenint en compte que l'efluent que s'ha de tractar amb l'evaporador son uns 18 m³, el CAPEX total d'aquesta configuració es de 639.000 €.

Taula 27. CAPEX opció 4.

OPCIÓ 4 (BIO+FQ+UF+OI+MVC)	
TECNOLOGIA	CAPEX [€]
FQ	97.000 €
MBR	156.000 €
OI	84.000 €
EVAPORADOR	302.000 €

Tenint en compte els paràmetres mencionats anteriorment, l'OPEX total durant un any seria de 105.013 €.

Taula 28. OPEX opció 4.

OPCIÓ 4 (BIO+FQ+UF+OI+MVC)										
TECNOLOGIA	CONSUM ELÈCTRIC [kWh/m ³]	CONSUM DEL PERSONAL [h/dia]	CONSUM DEL PRODUCTE QUÍMIC [litres/dia]	NÚMERO DE MEMBRANES	RESIDU A GESTIONAR [m ³ /dia]	COST TOTAL (OPEX) [€/dia]	AIGUA TRACTADA [%]	% REBUIG [%]	AGUA A TRACTAR [M ³ /DIA]	CAPEX [€]
FQ	0,5	1,42	7,8	0	0	62,00 €	99	1	48	97.000 €
MBR	3,5	1,38	4,2	3	0	71,03 €	95	5	47,52	156.000 €
OI	4,5	1,57	5,1	6	0	92,11 €	60	40	45,144	84.000 €
EVAPORADOR	28	0,4	1	0	0,00	62,56 €	90	10	18,0576	302.000 €

Per tant:

Taula 29. Recull dels resultats de l'estudi realitzat per l'opció 4.

	FISICO QUÍMIC	MBR	OSMOSI INVERSA	EVAPORADOR MVC
COST TOTAL (€/dia)	62,00 €	71,03 €	92,11 €	62,56 €
% TRACTAT (%)	99	95	60	90
% REBUIG (%)	1	5	40	10
AIGUA A TRACTAR (m ³ /dia)	48	48	45	18
CAPEX (€)	97.000 €	156.000 €	84.000 €	302.000 €
CAPEX TOTAL (€)				639.000 €
AIGUA RECUPERADA (m³/dia)				42,53
OPEX TOTAL (€/any)				287,71 €
COSTE (€/m³)				5,99 €

A continuació es mostren els resultats gràficament.

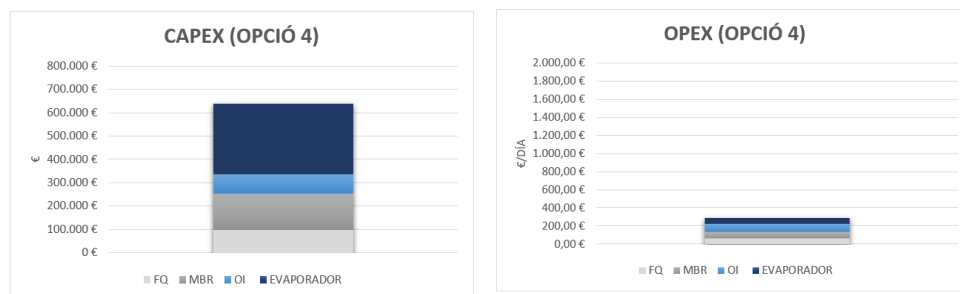


Figura 35. Anàlisi CAPEX/OPEX de l'opció 2 gràficament

5.3.3. Procés mitjançant evaporador (OPCIÓ 5)

Diagrama de blocs

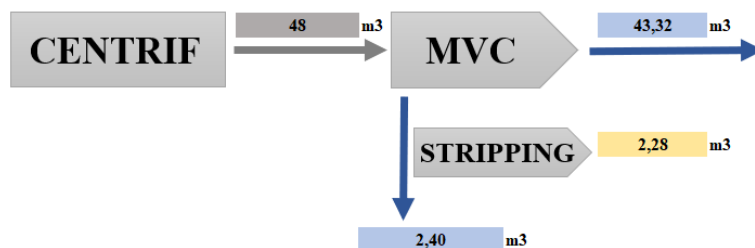


Figura 36. Diagrama de blocs amb els cabals de l’OPCIÓ 5.

Anàlisi CAPX/OPEX total

El cost de l’evaporador MVC tenint en compte que l’efluent que s’ha de tractar amb l’evaporador son 48 m³, el CAPEX total d’aquesta configuració es de 715.000 €.

Taula 30. CAPEX de l’opció 5.

OPCIÓ 5 (MVC)	
TECNOLOGIA	CAPEX [€]
EVAPORADOR	715.000 €

Tenint en compte els paràmetres mencionats anteriorment, L’OPEX total durant un any seria de 59.714 €.

Taula 31. OPEX de l’opció 5.

OPCIÓ 5 (MVC)									
TECNOLOGIA	CONSUM ELÈCTRIC [kWh/m³]	CONSUM DEL PERSONAL [h/dia]	CONSUM DEL PRODUCTE QUÍMIC [litres/dia]	RESIDU A GESTIONAR [m³/dia]	COST TOTAL (OPEX) [€/dia]	AIGUA TRACTADA [%]	% REBUIG [%]	AGUA A TRACTAR [M3/DIA]	CAPEX [€]
EVAPORADOR	28	1	2,3	0	163,60 €	95	5	48	715.000 €

Per tant:

Taula 32. Recull dels resultats de l’estudi realitzat per l’opció 5.

EVAPORADOR MVC	
COST TOTAL (€/dia)	163,60
% TRACTAT (%)	95
% REBUIG (%)	5
AIGUA A TRACTAR (m³/dia)	48,00
CAPEX (€)	715.000,00 €
CAPEX TOTAL (€)	715.000,00 €
AIGUA RECUPERADA (m³/dia)	43,32
OPEX TOTAL (€/any)	59.714,00 €
COSTE (€/m³)	3,41 €

A continuació es mostren els resultats gràficament.



Figura 37. Anàlisi CAPEX/OPEX de l'opció 5 gràficament.

5.3.4. Amortització

A la Figura 38 es pot observar l'amortització de cadascuna de les configuracions, analitzant també l'opció 0 que fa referència a una planta de biogàs sense tractament de la fracció líquida del digestat.

Es mostra la inversió acumulada de cada sistema respecte als anys que s'utilitza.

Es pot observar que el Procés mitjançant evaporador (OPCIÓ 5), tot i que la inversió inicial és la més elevada, és el procés que surt més rentable al cap dels anys.

Altres avantatges que comporta l'OPCIÓ 5 és la possibilitat de recuperar més quantitat d'aigua neta que amb les altres opcions, juntament amb la recuperació de l'amoníac i la possibilitat de la reutilització de l'aigua.

Per tant, amb aquest estudi es demostra la viabilitat de tractar els digestats d'una planta de biogàs mitjançant evaporadors al buit, tant de manera econòmica com mediambiental.

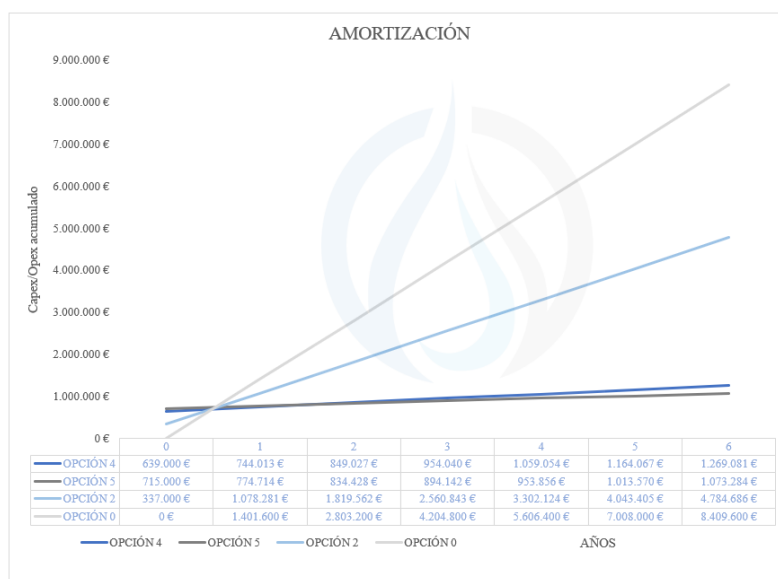


Figura 38. Amortització de les diferents configuracions al llarg de 6 anys.

6. CONCLUSIONS

Després de la realització d'aquest treball es pot concloure que:

1. Mitjançant els evaporadors al buit es poden reduir costos econòmics pel tractament dels digestats d'una planta de biogàs. Tot i que un evaporador al buit té un cost d'inversió elevat, els costos operatius són relativament baixos en comparació a altres tecnologies de tractament d'aigua, per tant a la llarga s'aprofita molt més.
2. S'ha estudiat amb èxit el procés d'una planta de biogàs i s'ha pogut visitar la planta de Deseuras per poder tenir una visió més acurada i entendre millor alguns conceptes.
3. Es confirma al nivell de laboratori que els digestats contenen elevades concentracions d'amoniac, fòsfor i potassi. Amb l'evaporació al buit es pot reduir considerablement la concentració d'aquests elements en el destil·lat, permetent l'abocament segur o la reutilització de l'aigua.
4. Es pot aconseguir eliminar gran part del nitrogen amoniacal amb un sistema de *stripping* acoblat a l'evaporador.

7. REFERÈNCIES

- (1) *European Biogas Association*. <https://www.europeanbiogas.eu/> (accessed 2023-05-24).
- (2) FAO; MINENERGIA; PNUD; GEF. Manual Del Biogás. *Proyecto CHI/00/G32* **2011**, 120.
- (3) Schievano, A.; Adani, F.; Tambone, F.; D'Imporzano, G.; Scaglia, B.; Genevini, P. L. What Is Digestate. *Anaerobic digestion: Opportunities for agriculture and environment. Regione Lombardia, Milan, Italy* **2009**, 7–18.
- (4) Schnürer, A.; Jarvis, Å. Biogas Microbiológicas Handbook for Biogas Plants. *Avfall Sverige Development* **2010**, 138.
- (5) Ullah Khan, I.; Hafiz Dzarfan Othman, M.; Hashim, H.; Matsuura, T.; Ismail, A. F.; Rezaei-DashtArzhandi, M.; Wan Azelee, I. Biogas as a Renewable Energy Fuel – A Review of Biogas Upgrading, Utilisation and Storage. *Energy Convers Manag* **2017**, *150* (August), 277–294. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.08.035>.
- (6) Al Seadi, T.; Drog, B.; Fuchs, W.; Rutz, D.; Janssen, R. *Biogas Digestate Quality and Utilization*; 2013. <https://doi.org/10.1533/9780857097415.2.267>.
- (7) *Digestión anaerobia. Agència de Residus de Catalunya*. https://residus.gencat.cat/es/ambits_dactuacio/valoritzacio_reciclatge/instal_lacions_de_gestio/tractament_biologic/digestio_anaerobia/ (accessed 2023-05-13).
- (8) *Cogeneración A Partir De Gas Natural | Gruppo AB*. <https://www.gruppoab.com/es/cogeneracion-a-partir-de-gas-natural/> (accessed 2023-05-2).
- (9) Nkoa, R. Agricultural Benefits and Environmental Risks of Soil Fertilization with Anaerobic Digestates: A Review. *Agron Sustain Dev* **2014**, *34* (2), 473–492. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0196-z>.
- (10) Teglia, C.; Tremier, A.; Martel, J. L. Characterization of Solid Digestates: Part 2, Assessment of the Quality and Suitability for Composting of Six Digested Products. *Waste Biomass Valorization* **2011**, *2* (2), 113–126. <https://doi.org/10.1007/s12649-010-9059-x>.
- (11) Bauer, A.; Mayr, H.; Hopfner-Sixt, K.; Amon, T. Detailed Monitoring of Two Biogas Plants and Mechanical Solid-Liquid Separation of Fermentation Residues. *J Biotechnol* **2009**, *142* (1), 56–63. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOTEC.2009.01.016>.
- (12) Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de junio de 2019 por el que se establecen disposiciones relativas a la puesta a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE y se modifican los Reglamentos (CE) nº 1069/2009 y (CE) nº 1107/2009 y se deroga el Reglamento (CE) nº 2003/2003 <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2019-81081>
- (13) Lamolinara, B.; Pérez-Martínez, A.; Guardado-Yordi, E.; Guillén Fiallos, C.; Diéguez-Santana, K.; Ruiz-Mercado, G. J. Anaerobic Digestate Management, Environmental Impacts, and Techno-Economic Challenges. *Waste Management* **2022**, *140*, 14–30. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2021.12.035>.
- (14) Bochmann, G.; Montgomery, L. F. R. Storage and Pre-Treatment of Substrates for Biogas Production. *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications* **2013**, 85–103. <https://doi.org/10.1533/9780857097415.1.85>.

- (15) *DISSOLVED AIR FLOTATION* – FlotLife. <https://flotlife.com/technologies/dissolved-air-flotation/> (accessed 2023-06-1).
- (16) Guštin, S.; Marinšek-Logar, R. Effect of PH, Temperature and Air Flow Rate on the Continuous Ammonia Stripping of the Anaerobic Digestion Effluent. *Process Safety and Environmental Protection* **2011**, *89* (1), 61–66. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2010.11.001>.
- (17) Hernandez A.; Tejerina F.; Arribas J. I.; Martínez L.; Martínez F. Microfiltración, ultrafiltración y ósmosis inversa, *Universidad de Murcia*, **1990**, 11-20.
- (18) Tellez, C. Diseño y Selección de Elementos Para Una Planta de Biogas. *Universidad Austral de Chile* **2008**, 1–79.
- (19) Lebuf, V.; Accoe, F.; Van Elsacker, S.; Vaneekhaute, C. Inventory Techniques for nutrient recovery from digestate, *Ghent University*, **2013**. doi: 10.13140/rg.2.1.1375.6249.
- (20) Martínez Hernández, C. M.; Francesena López, Y. Tratamiento y Utilización de Efluentes Instalaciones de Biogás Como Abonos Orgánicos, Revisión y Análisis. *Centro Agrícola* **2018**, *45* (2), 83–92.
- (21) Novotny, V. NUTRIENT RECOVERY. *Integrated Sustainable Urban Water, Energy, and Solids Management* **2020**, 265–289. <https://doi.org/10.1002/9781119593683.CH9>
- (22) Al Seadi T.; Rutz D.; Prassl H.; Kottner M.; Finsterwalder T.; Volk S.; Janssen R. *Biogas Handbook* **2008**.
- (23) Zirkler, D.; Peters, A.; Kaupenjohann, M. Elemental Composition of Biogas Residues: Variability and Alteration during Anaerobic Digestion. *Biomass Bioenergy* **2014**, *67*, 89–98. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.04.021>.
- (24) Häfner, F.; Hartung, J.; Möller, K. Digestate Composition Affecting N Fertiliser Value and C Mineralisation. *Waste Biomass Valorization* **2022**, *13* (8), 3445–3462. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01723-y>.
- (25) Herbes, C.; Roth, U.; Wulf, S.; Dahlin, J. Economic Assessment of Different Biogas Digestate Processing Technologies: A Scenario-Based Analysis. *J Clean Prod* **2020**, *255*, 120282. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120282>.
- (26) Encinas, F. C.; Dirigida, V.; Antol, G. Tesis1783-210222 . **2020**.
- (27) Bauer, A.; Mayr, H.; Hopfner-Sixt, K.; Amon, T. Detailed Monitoring of Two Biogas Plants and Mechanical Solid-Liquid Separation of Fermentation Residues. *J Biotechnol* **2009**, *142* (1), 56–63. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOTEC.2009.01.016>.
- (28) Ayala, E. Programa de Maestría y Doctorado En Arquitectura. *Guía para la elaboración de protocolo de investigación* **2017**, Posgrados.

