



PRODUCCIÓ DE BIOGÀS A PARTIR DE PURINS I MATÈRIA ORGÀNICA

ÍNDEX

Marc teòric

0. Justificació del tema	4
1. Introducció al problema mediambiental	4
Introduction to the environmental problem	7
2. Conceptes bàsics	9
2.1 Introducció als processos biològics pel tractament de residus sòlids	9
Digestió anaeròbia	9
Procés de degradació de la matèria orgànica durant la digestió anaeròbia..	11
Fermentació.....	12
Digestió aeròbia o compostatge	13
2.2 Tractament de matèria orgànica amb producció de biogàs	14
2.2.1 Biogàs	14
2.2.2 Planta de tractament de matèria orgànica per la producció de biogàs.....	16
2.2.3 Funcionament planta de tractament de matèria orgànica per la producció de biogàs	19
2.2.4 Avantatges i inconvenients de la digestió anaeròbia	26
2.3 Microorganismes o microbis	29
2.3.1 Bacteris	34
2.3.1.1 Morfologia bacteriana	34
2.3.1.2 Estructura bacteriana	35
2.3.1.3 Fisiologia bacteriana	37
La nutrició bacteriana	37
La relació bacteriana	38
La reproducció bacteriana	39
2.4 Materials lignocel·lulòsics	41
2.5 Pretractament pels materials lignocel·lulòsics	41
2.5.1 Pretractaments tèrmics	42
2.5.2 Pretractaments químics	42
2.5.3 Pretractaments biològics	42
3. Article.....	43
4. Conclusions finals	59
5. Fonts d'informació	60
5.1 Recursos informàtics	60
5.2 Bibliografia	63

ABREVIACIONS

Àcid acètic	CH ₃ COOH
Àcids grassos volàtils	AGV
Àcid sulfhídric	H ₂ S
Aigua	H ₂ O
Amoníac	NH ₃
Diòxid de carboni	CO ₂
Hidrogen	H ₂
Metà	CH ₄
Monòxid de carboni	CO
Nitrogen	N ₂
Oxigen	O ₂
Àcid desoxiribonucleic	ADN

0. Justificació del tema

Hem optat per la *producció de biogàs a partir de purins i matèria orgànica* com a tema principal del treball de recerca de batxillerat, perquè hem tingut la oportunitat de poder realitzar aquest projecte amb un grup de recerca a les instal·lacions de la Universitat de Vic.

Abans de començar aquest projecte teníem altres idees en ment, però la Universitat de Vic ens va proposar la incorporació en un equip de recerca per estudiar mètodes que ens permeten obtenir un rendiment més elevat de biogàs. Després de valorar juntament amb la nostra tutora la oportunitat que ens oferien, vam decidir acceptar-la.

Hem organitzat aquest treball en dues parts: comencem amb un marc teòric explicant els conceptes bàsics per comprendre la part pràctica realitzada al laboratori; dins d'aquesta part exposem el problema que representen ambientalment els residus orgànics que utilitzem. Després d'aquesta explicació redactem en forma d'article científic el treball realitzat d'investigació. Considerem l'article la part més important del treball.

1. Introducció al problema mediambiental

Tots hem sentit parlar de l'increment de demanda energètica arreu del món i sobre com afecta negativament aquesta demanda en el canvi climàtic global dels darrers anys.

Avui en dia, la principal font d'energia són els combustibles fòssils com el carbó, el petroli o el gas natural. El principal inconvenient d'aquests són les emissions que provoquen, les quals donen lloc a un greu problema mediambiental, a més, sabem amb certesa que aquests combustibles són finits, i que per tant, arribarà un punt en el que no podrem obtenir energia a partir d'ells.

El greu problema mediambiental que causen els combustibles fòssils i la seva existència limitada, són motius suficients per donar més importància a les energies renovables. Actualment, a l'Estat espanyol, la producció d'energia a partir de fonts renovables només representa un 12% del total.

Darrerament s'està fomentant l'ús d'energies renovables, especialment en països com el nostre, que són idonis per aprofitar l'energia solar o l'energia eòlica.

Durant els darrers anys ha incrementat la quantitat de residus¹, tant orgànics com inorgànics², i això ha provocat danys en el medi ambient per culpa de la contaminació d'aigües, de l'aire i de la terra, i danys en la nostra salut. Aquest problema afecta mundialment i ens hem de començar a preocupar de les conseqüències que sorgiran al llarg dels anys si no hi apliquem cap solució.

Tot i així quan utilitzem aquests residus correctament podem aconseguir-ne molts beneficis i contribuir en l'estalvi de matèries primeres. Gràcies a aquest punt de vista, en els últims anys han sorgit varies lleis que parlen dels problemes que causen els residus i s'han desenvolupat tècniques per tractar-los i obtenir-ne profit, per exemple, la producció d'energia elèctrica. Així doncs, amb el temps, els residus s'han anat veient com un recurs per a la indústria i com a una font reutilitzable. Dins d'aquests residus, els residus inorgànics reben més importància, degut a l'impacte negatiu que provoquen quan no són tractats correctament, tot i que a partir d'un tractament adequat en podem obtenir profit, com adob i energia.

Nosaltres ens centrem en el problema que representen els purins pel medi ambient, sobretot a la nostra comarca. A Catalunya hi ha més de 6,5 milions de porcs, gairebé tants com habitants. Una gran majoria estan situats a la comarca d'Osona, la qual en pateix d'una manera preocupant les conseqüències. És complicat tractar amb les dejeccions dels porcs. L'objectiu és utilitzar-les com adob però ha arribat un punt en què no hi ha prou terreny per abocar-les. És un problema molt greu ja que la conseqüència d'això és la contaminació de les aigües subterrànies. Quan hi ha un excés de purí al sòl hi ha el perill de que es causi l'eutrofització, que sorgeix a partir de la filtració de purins en les aigües subterrànies. L'eutrofització és un fenomen causat per una gran concentració d'aliment o matèria orgànica en un ecosistema (per exemple aigües subterrànies). L'augment de nutrients provinents de la matèria orgànica, en aquest cas els purins, provoca que els organismes fotosintètics

¹ Residus orgànics. Són biodegradables (es descomponen naturalment). Són aquells que tenen la característica de poder desintegrar-se o degradar ràpidament, transformant-se en un altre tipus de matèria orgànica. Exemple: les restes de menjar, fruites i verdures, les seves peles, carn, ous.

² Residus inorgànics. són els que per les seves característiques químiques pateixen una descomposició natural molt lenta. Molts d'ells són d'origen natural però no són biodegradables, per exemple els envasos de plàstic. Generalment es reciclen a través de mètodes artificials i mecànics, com les llaunes, vidres, plàstics, gomes.

augmentin. Això fa incrementar la quantitat d' O_2 dissolt a l' H_2O , fet que fa que augmenti el nombre d'èssers vius. A la llarga, però, es va reduint l' O_2 i el volum de nutrients disponibles. Com a conseqüència, es crea un medi anaeròbic (sense O_2), i gran part dels éssers vius moren, ja que el necessiten per respirar. En un ecosistema eutrofitzat solen quedar-hi només els organismes descomponedors, que al descompondre la matèria orgànica de l'aigua desprenen CH_4 , àcid sulfúric i altres substàncies que poden arribar a ser tòxiques. El Grup de Defensa del Ter (GDT) va analitzar les fonts del lluçanès i d'osona i van determinar que el 50% d'aquestes estan contaminades per nitrats provinents dels purins.

Existeixen diferents raons per les quals està creixent l'interès cap a diferents processos que permeten reduir la quantitat de residus orgànics i inorgànics en el medi ambient, sobretot en el sector agrícola.

Un altre motiu pel qual ha incrementat l'interès cap als residus és la possibilitat de produir energia a partir d'ells. Les demandes d'energia són altes i si a través de matèria de rebuig se'n pot obtenir, és un gran avantatge. També capta l'atenció intentar donar una solució a la contaminació olfactiva que provoca la mala gestió d'aquests residus.

D'aquesta manera, podem dir que val la pena continuar investigant i donar a conèixer els diferents processos que permetin obtenir beneficis a partir de residus orgànics i inorgànics.

Introduction to the environmental problem

We all have heard about the increase of the energy demand worldwide and how this demand adversely affects the global climate change in the recent years.

Today, the main sources of energy are fossil fuels like coal, oil or natural gas.

The main drawback of these fossil fuels are the emissions that can be caused because of them, which turn into a serious environmental problem, besides, we know with certainty that these fuels are finite, and therefore, there will come to the point where we will not be able to get power just from them.

The serious environmental problem caused by fossil fuels and their limited existence are sufficient grounds to give more importance to renewable energy. Currently in Spain, the production of energy from renewable sources accounts for only 12% of the total.

Lately the government has been encouraging the use of renewable energy, especially in countries like ours, which are suitable to use solar energy or wind power.

In recent years the amount of organic and inorganic waste has increased and this has caused a huge damage to the environment due to pollution of water, air and land, and damages in our health.

This problem affects the entire world and we have to start worrying about the consequences that will arise over the years if we don't look for solutions.

However, when we use this waste correctly we can get many benefits from it and contribute to the saving of raw materials.

Thanks to this point of view, in recent years have emerged several laws that talk about the problems that waste can cause and techniques have been developed to obtain benefits from waste, for example, the production of electricity.

So, over time, waste has been seen as a resource for the industry and as a reusable source.

Within these residues, inorganic residues are the most important due to the negative impact that can be caused if they are not treated properly and its ability to obtain fertilizer and energy.

In this work we focus on the problem that manure represents, especially in our region, for the environment.

In Catalonia there are more than 6.5 million pigs, almost as many inhabitants. A large majority are located in the Osona region, which suffers worrying consequences for it. The main and most usual objective is to use pig manure as fertilizer, but we have reached a point where there is not enough land to dump them. It is a very serious problem because the result of it is the pollution of groundwater.

When there is an excess of slurry on the groundwater, eutrophication can be caused. The eutrophication phenomenon is caused by a high concentration of organic matter in an ecosystem (eg groundwater).

The increase of nutrients from organic matter, in this case manure, causes the increase of photosynthetic organisms. This does increase the amount of dissolved oxygen in water, which increases the number of living beings. But, with time, the amount of nutrients available and oxygen are reduced. As a result, the environment could become an anaerobic environment (without oxygen), and most living beings would die because they could not breathe. In an eutrophicated ecosystem there is only decay organisms left, when these organisms decompose organic matter from the water, they release methane, sulfuric acid and other substances that can be toxic. The Grup de Defensa del Ter (GDT) analyzed the sources of Lluçanès and Osona and they found out that the 50% of these sources were contaminated by nitrates from manure.

There are different reasons for the growing interest in different processes that reduce the amount of organic and inorganic waste on the environment, especially in the agricultural sector.

Another reason why it has increased the interest towards waste is the possibility of producing energy from it.

Energy demands are high and if we could obtain it through waste material, it would be a great advantage.

In conclusion, we can say that it is worthy to continue this research on the benefits we can get from organic and inorganic waste.

2. Conceptes bàsics

2.1 Introducció als processos biològics pel tractament de residus sòlids

En els darrers anys, s'han investigat molt els processos biològics utilitzats pel tractament de residus sòlids. Es considera un tema important ja que aquests residus afecten negativament el medi ambient. Gràcies a aquests processos, a partir de matèria de rebuig podem obtenir substàncies útils com fertilitzants (en el cas de la digestió aeròbia) o energia (en la digestió anaeròbia).

Coneixem dos tipus de processos, la digestió anaeròbia i la digestió aeròbia o compostatge.

En aquest treball ens centrem en la digestió anaeròbia i la producció de biogàs com a resultat d'aquest procés.

Digestió anaeròbia

La digestió anaeròbia és un procés que podem observar en la natura, ja que succeeix espontàniament en ella, per exemple en pantans, llacs i aigües estancades. El primer científic en relacionar la producció de gas amb la quantitat de matèria orgànica dipositada al fons d'aigües estancades, va ser Volta al 1776. Més tard, al segle XIX, es van començar a estudiar els processos anaerobis i es va relacionar la presència de microorganismes en el procés de producció de CH₄.

La primera instal·lació de digestors que està registrada i que feia servir la digestió anaeròbia, va ser a Bombai al 1859 i des de llavors també se'n van construir a Taiwan, Korea, Tailàndia, Kenya, Sud-àfrica i Xina. Durant el segle XX, degut als pocs recursos energètics existents, a Anglaterra, França i Alemanya, també es van posar en marxa digestors per poder generar gas combustible a nivell casolà. Totes aquestes petites instal·lacions eren senzilles i sense cap mena de control sobre l'estabilitat dels gasos obtinguts. A principis dels anys 80 a Catalunya van començar a aparèixer equips de recerca interessats en el tema i es van fabricar les primeres instal·lacions controlades.

Avui en dia en els països desenvolupats l'interès principal en la digestió anaeròbia és tan ambiental com energètic.

S'ha entès que la digestió anaeròbia pot tenir un paper molt important en la producció d'energia a gran escala i s'està estudiant per progressar i millorar-

ne la producció. La digestió anaeròbia és el procés en què ens basem per fer aquest treball, ja que el resultat d'aquesta digestió és el biogàs. Aquest tipus de digestió s'anomena anaeròbia perquè és un procés en qual no intervé l'O₂.

En aquest procés la matèria orgànica es degrada degut a l'acció d'un conjunt de microorganismes, i es forma CO₂ i CH₄. Aquests dos composts formen el biogàs. La relació òptima en l'obtenció d'aquests composts és 20% de CO₂ i 80% de CH₄.

Els microorganismes encarregats de la degradació de la matèria orgànica són bacteris que realitzen la respiració anaeròbia. Els bacteris són cèl·lules procariotes. Aquestes, a diferència de les cèl·lules eucariotes, no posseeixen membrana nuclear que envolti el nucli. En general són més petites, més primitives i no formen teixits especialitzats. Només les trobem en el regne de les moneres³: bacteris i arqueobacteris. En la cèl·lula procariota solament hi ha un tipus d'òrgànuls, els ribosomes. La resta de funcions que no poden realitzar els ribosomes, com la respiració cel·lular o la fotosíntesi, es porten a terme en uns plec de la membrana plasmàtica anomenats mesosomes.

La respiració anaeròbia en les cèl·lules procariotes, com els bacteris, consisteix en què a partir de la degradació de proteïnes, glúcids i lípids n'obtenim energia i un altre substrat, com podria ser el metà.

Tot aquest procés està explicat a l'annex A.

³ Regnes dels éssers vius. En biologia, un regne són les grans subdivisions en què es consideren distribuïts els éssers vius, basant-se en les seves característiques comunes. Les moneres són un regne biològic que comprèn la majoria dels éssers vius amb una estructura cel·lular procariòtica.

Procés de degradació de la matèria orgànica durant la digestió anaeròbia

Aquests conjunt d'estadis són l'ordre en el qual actuen els diferents microorganismes en el digester, realitzant la digestió anaeròbia i la fermentació [figura 1]

Primer estadi: Hidròlisi

En aquesta primera etapa actuen els bacteris hidrolítics, concretament la Cellulomonas, Clostridium i les Pseudomonas. Aquests bacteris permeten el pas de molècules complexes com proteïnes, carbohidrats i lípids, a composts més simples; aminoàcids, cadenes llargues d'àcids grassos, sucres, alcohols, CO_2 i H_2 . Aquests són utilitzats com a font de matèria i energia per els microorganismes.

Segon estadi: Acidogènesis

Durant aquesta etapa els composts més simples obtinguts en la hidròlisis són oxidats o fermentats per els bacteris acidògens. Gràcies a aquesta oxidació obtenim AGV com CH_3COOH , l'àcid propiònic, l'àcid valèric i l'àcid butíric.

Tercer estadi: Acetogènesis

En l'acetogènesis actuen els bacteris Acetobacterium i Clostridium. Aquests bacteris s'encarreguen de transformar els àcids i alcohols, obtinguts a l'estadi anterior, en CO_2 , H_2 i CH_3COOH .

Quart estadi: Metanogènesis

En aquest darrer estadi hi participen dos tipus d'arqueobacteris; els metanogènics hidrogenotròfics i els metanogènics acetoclàstics.

En la degradació provocada per els bacteris metanogènics hidrogenotròfics es forma CH_4 a partir de la reducció del CO_2 gràcies a l' H_2 obtingut en l'acetogènesis.

A diferència d'aquesta, en la degradació provocada pel bacteri metanogènics acetoclàstics es produeix CO_2 i CH_4 a partir de CH_3COOH .

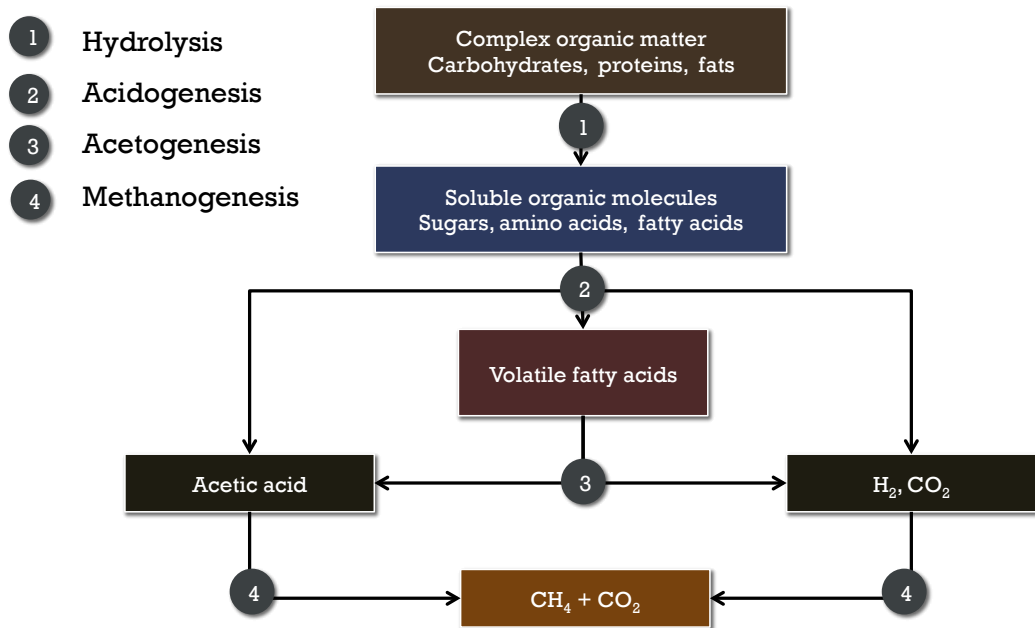


Figura 1. Estadis que realitzen els diferents microorganismes en el digestor

Font. UVic

Fermentació

Cal mencionar també un altre procés metabòlic, la fermentació [figura 2], ja que apareix varies vegades en el nostre projecte. No hem de confondre la respiració anaeròbia amb la fermentació. Aquests dos processos tenen en comú que no depenen de l' O₂ ja que els porten a terme organismes que no necessiten l'O₂ com a últim acceptor de la cadena d'electrons, per això són fàcils de confondre, tot i així són dos tipus de metabolisme diferents.

La fermentació és una oxidació parcial, en la qual a partir d'una molècula orgànica n'obtenim una altra, a diferència de la digestió anaeròbia, en la qual obtenim una molècula inorgànica. En el procés de fermentació, comparant-lo amb la digestió anaeròbia, obtenim com a producte menys energia en forma d'ATP.

Aquest procés s'utilitza quan les cèl·lules necessiten una font d'energia ràpida, ja que no realitzen la respiració anaeròbia perquè és un procés més complex i per tant la formació d'ATP requereix més temps.

La fermentació és utilitzada per alguns organismes procariotes i alguns eucariotes com els llevats. També fan servir aquest procés les cèl·lules

musculars dels animals per tal de sintetitzar àcid làctic⁴. Això es porta a terme quan es produeix una activitat física d'un esforç important que dura pocs segons.

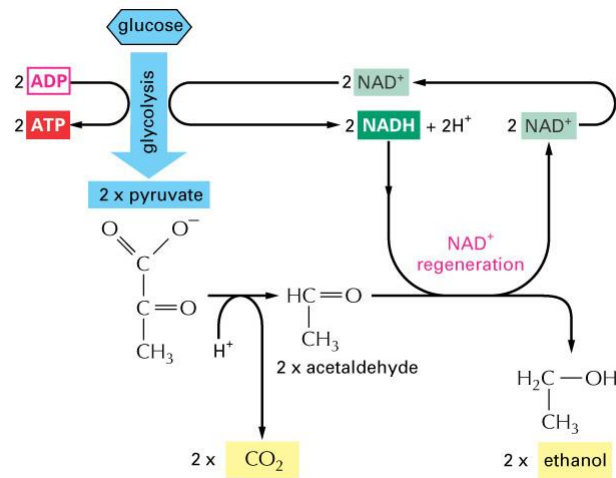


Figura 2 Procés fermentació

Font. <http://collegebrewmaster101.weebly.com/fermentation-process.html>

Compostatge o digestió aeròbia

La digestió aeròbia és un procés que consisteix en la degradació de matèria orgànica en condicions controlades amb la presència d'O₂.

En aquest procés utilitzem com a substrat residus orgànics, els quals a partir de microorganismes són descompostos en nutrients més simples mitjançant la respiració aeròbia.

A partir de la unió dels nutrients obtinguts es creen macromolècules orgàniques, formant un fertilitzant orgànic que anomenem compost.

La respiració aeròbia és un tipus de metabolisme⁵ energètic, en el qual els éssers vius degraden matèria orgànica fins a matèria inorgànica per obtenir energia. És el procés responsable de que la majoria d'essers vius necessitin O₂ per viure, ja que aquest és l'últim acceptor de la cadena transportadora d'electrons, a diferència de la respiració anaeròbia, en la qual era un altre compost inorgànic.

⁴ Àcid làctic: és un compost químic amb un important paper en diversos processos bioquímics, com el de la fermentació. La seva fórmula és H₃C-CH(OH)-COOH (C₃H₆O₃)

⁵ Metabolisme. Conjunt de reaccions i processos químics que tenen lloc en un organisme per mantenir-lo viu.

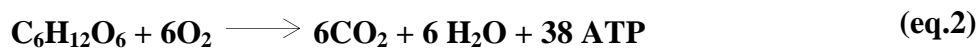
La respiració aeròbia, també anomenada respiració cel·lular, té lloc a un orgànu⁶ anomenat mitocondri en els organismes eucariotes, i en els mesosomes d'alguns bacteris.

El mitocondri és l'encarregat de la respiració cel·lular. Aquesta és molt semblant a la respiració anaeròbia, amb la diferència que en la cadena transportadora d'electrons, els electrons tenen com a últim acceptor l'O₂. Això ens permet obtenir H₂O a partir de la unió de l'O₂ amb l'H₂ procedent de l'NADH. Ho veiem en l'equació.1:



En resum, gràcies a la respiració cel·lular s'obté, a partir de matèria orgànica; H₂O, CO₂ i el més important, energia en forma d'ATP, la qual s'utilitza per realitzar tots els processos necessaris en la cèl·lula.

Seguint l'exemple de la glucosa, el qual hem utilitzat per explicar la digestió anaeròbia, podem veure a l'equació.2, que a partir d'una molècula de glucosa obtenim 38 ATP.



2.2 Tractament de matèria orgànica amb producció de biogàs

2.2.1 Biogàs

En els darrers anys ha sorgit la necessitat de buscar fonts d'energia alternatives per tal de minimitzar els danys en el medi ambient i generar energia tèrmica i elèctrica a partir de la descomposició de matèria orgànica perillosa pel medi ambient. Així, avui en dia el biogàs ha adquirit molta importància gràcies a les seves característiques [taula.1] i es considera una energia neta i eficient per tal de reduir l'impacte ecològic d'alguns residus en el medi ambient i crear energia elèctrica de font renovable.

⁶ Orgànuls. Petits òrgans d'estructures i tamanyos diversos que porten a terme funcions específiques que permeten realitzar les funcions vitals cel·lulars.

Taula. 1. Característiques del biogàs

Característiques del biogàs	
Poder calorífic inferior ¹¹	5.500 kcal/m ³
Temperatura d'inflamació ¹²	600°C
Pressió crítica ¹³	82bar
Temperatura crítica ¹⁴	-82,5°C
Densitat ¹⁵	1,2 kg/m ³

El biogàs és un gas format bàsicament per CH₄ i CO₂, tot i que també hi trobem petites quantitats d' H₂O, H₂, H₂S, NH₃, CO, N₂ i O₂.

Obtenim el biogàs gràcies a l'acció de microorganismes durant un procés de biodegradació de matèria orgànica i altres subproductes orgànics en condicions anaeròbiques. Aquest procés es realitza en unes instal·lacions especialitzades que anomenem plantes. La composició i la quantitat del biogàs obtingut en la digestió a la planta, varia depenent de la matèria orgànica que escollim per descompondre i de diverses variables independents del procés, com per exemple el pH, la temperatura i la pressió. Considerem el biogàs obtingut una font d'energia renovable que es pot utilitzar per generar energia tèrmica (calor) o energia tèrmica i elèctrica mitjançant la cogeneració. Quan utilitzem el biogàs per generar calor o energia tèrmica fem servir un procediment molt senzill que consisteix en cremar el gas directament, per exemple, en uns fogons de la cuina. En canvi, si es produeix en prou quantitat, es pot cremar en turbines o en motors de cogeneració que permeten produir electricitat i obtenir, alhora, aigua calenta. Podem utilitzar aquesta aigua per cobrir diverses necessitats de calefacció de la pròpia instal·lació, digestor, naus de producció, etc. L'electricitat obtinguda la podem utilitzar per vendre-la a la xarxa o per consum propi. Si realitzem la digestió anaeròbia en condicions òptimes podem maximitzar la producció de biogàs i així generar més electricitat i aigua.

⁷ El poder calorífic. La quantitat de calor que, per la massa total, que emet una substància al sofrir un procés de combustió.

Per altra banda, existeixen diversos processos de tractament de la matèria orgànica i inorgànica que s'utilitza en la digestió per tal d'augmentar-ne el rendiment i obtenir més biogàs a partir de la mateixa quantitat de matèria. Un exemple d'aquest tipus de tractaments previs és el trencament de la paret de lignina en les cèl·lules que constitueixen els diferents productes orgànics i inorgànics. Aquest és el procés que analitzem en l'estudi que es presenta en l'article d'aquest treball.

La tarifa regulada permet a les plantes que produeixen biogàs entrar al mercat lliure i vendre l'electricitat que han produït.

2.2.2 Planta de tractament de matèria orgànica per la producció de biogàs

En aquest treball estudiem com es realitza un tractament correcte de diferents residus orgànics per a la obtenció de biogàs. Per realitzar aquest procés es necessiten plantes de tractament de biogàs.

Una planta de tractament per la producció de biogàs és una instal·lació que té com a objectiu resoldre la problemàtica que presenta l'impacte de contaminació a causa dels residus ramaders al medi ambient. El procés que es porta a terme en aquestes instal·lacions suposa la transformació de la barreja de diferent matèria orgànica en adob concentrat d'alta qualitat i biogàs.

Durant el procés es porta a terme la respiració anaeròbia, en la qual es combinen diferents substrats i es compensen entre si per obtenir-ne biogàs. Aquest biogàs s'utilitza com a biocombustible per la producció d'electricitat i calor mitjançant un sistema de cogeneració. La planta comercialitza tant l'adob com l'energia elèctrica sobrant, utilitzada per autoconsum en tots els processos productius.

⁸ El punt d'inflamabilitat o punt de flama d'una substància. És la temperatura més baixa en què es pugui formar-se una barreja inflamable d'una substància amb l'aire.

⁹ La pressió crítica. És una característica de qualsevol substància, que defineix el camp en el qual aquesta pot transformar-se en vapor en presència del líquid corresponent.

¹⁰ La temperatura crítica. És la temperatura per sobre de la qual ja no existeixen els estats de la matèria líquid i gasós d'un cert material.

¹¹ La densitat. És una magnitud escalar que indica la massa per unitat de volum d'una substància.

Les plantes de biogàs van ser inicialment construïdes a Alemanya, i s'utilitzaven per a la fermentació dels residus que es creaven a les granges. Aquestes primeres plantes eren simples digestors¹², res semblant amb les instal·lacions i tecnologies que podem aconseguir avui en dia.

Aquest procés alternatiu es va expandir ràpidament per tot Europa, Estats Units i Àsia, ja que és una manera molt eficaç per reduir la quantitat de residus i obtenir-ne energia. Quan les plantes de degradació de diferent matèria orgànica van adquirir més importància, van sorgir lleis que afavorien el funcionament i la construcció d'aquestes. A Catalunya, l'any 2007, es va actualitzar el Reial Decret 661/2007, una normativa que concedeix unes primes a la generació d'energia elèctrica, i concretament a l'apartat b.7.2, s'especifiquen les primes per a les centrals que utilitzen biogàs com a combustible. Aquesta variació del Reial Decret 661/2007 ha suposat un increment del 89% en la construcció de plantes a Catalunya, situant el nostre país al nivell dels països més avançats d'Europa en termes de tecnologia.

També trobem, aquí a Catalunya, el Pla de Mitigació del Canvi Climàtic, el qual contempla les plantes de biogàs com un procés que afavoreix en la disminució de les emissions dels residus en el sector agrícola ramader, i crea línies de subvenció per afavorir aquest tipus de projecte.

Per desgràcia, actualment el sistema elèctric, que per diferents causes arrossega un dèficit de 24.000 milions d'euros, no dona més de si. A conseqüència d'això, el Govern espanyol actual, degut al dèficit ha decidit frenar, almenys de moment, l'extensió de les energies renovables. Per aquest motiu, en l'any 2016, el Reial Decret Llei 661/2012 ha suspès "de manera temporal" les primes de noves instal·lacions de règim especial, la majoria energies renovables. Aquestes primes suposen en la pràctica un ajut econòmic, provinent de la factura elèctrica pagada pels consumidors, per vendre l'energia produïda de forma més competitiva.

¹² Digestors. Un digestor és un contenidor tancat, hermètic i impermeable, dins el qual es diposita el material orgànic a fermentar i així produir gas CH₄ i fertilitzants orgànics rics en N₂, fòsfor i potassi, i a més, es disminueixi el potencial contaminant dels excrements.

El seu objectiu és donar suport al desenvolupament de les energies renovables per els avantatges que suposen pel medi ambient i l'economia del país. Així doncs, el Govern espanyol ha aprovat la suspensió de subvencions per la construcció d'instal·lacions per dos motius principals: la crisi econòmica (inclòs el descens del consum elèctric), i la necessitat de contenir el dèficit de tarifa, el qual, a la pràctica, suposarà un duríssim càstig a les energies renovables, sobre les quals es carrega el pes de l'estalvi.

El problema del dèficit es va començar a generar a partir del 1997, quan l'Estat va renunciar a cedir inversions privades per a la producció de noves instal·lacions destinades a energies renovables. A més a més, va sorgir la paradoxa de que com més importància i recursos es proporcionen a les energies renovables, menys diners guanyen les elèctriques convencionals. Per culpa de la crisi i la necessitat de corregir el dèficit públic, la resposta legislativa ha estat clarament favorable a les energies no renovables. El resultat és que, en pocs anys, Espanya haurà passat d'apostar per l'energia neta a castigar-la, deixant enrere la indústria i la recerca que havia florit en aquest sector de futur, a diferència de països com Alemanya i Gran Bretanya.

Per tant, l'eliminació de primes i ajudes a les diferents energies renovables incrementa els greus problemes mediambientals i la dependència del carbó i el petroli. Per aquests darrers motius, s'ha de donar impuls a noves organitzacions, lleis i ajudes, les quals permeten que processos renovables puguin avançar i desenvolupar-se, evitant la contaminació mediambiental i millorar el nostre món.

2.2.3 Funcionament de la planta de tractament de matèria orgànica per la producció de biogàs

El biogàs és una innovadora font d'energia que es pot portar a terme gràcies a les plantes de tractament de matèria orgànica per la producció de biogàs. En aquestes instal·lacions s'hi realitza una digestió anaeròbia i fermentació. S'hi processen residus orgànics, i al mateix temps, està dissenyada per aprofitar el biogàs i el material orgànic resultant (utilitzat com a fertilitzant) obtinguts en les reaccions químiques.

El disseny i la construcció de les plantes de biogàs és molt complex ja que s'han de tenir en compte molts factors. Per entendre més bé el seu funcionament, ens centrarem en una planta de biogàs que és única a Espanya a nivell tecnològic. Està situada a quatre quilometres de la població de Sant Bartomeu del Grau, al costat d'una granja porcina. Aquesta planta de biogàs utilitza purins procedents de la pròpia granja i rep fangs i llots de diferents punts de Catalunya per poder posar en funcionament tot el procés.

El fet que no només s'utilitzin purins com a dieta del digestor, sinó que també s'hi afegeixi altra matèria orgànica i inorgànica com la palla o altres residus permet que es porti a terme una digestió més eficaç, la qual anomenem codigestió¹³.

El procés de producció de biogàs comença quan els purins o diversos residus orgànics entren a les instal·lacions de la planta. Els camions que transporten els residus, es situen a sobre un placa metàl·lica que pesa el contingut dels camions. Gràcies a això es pot saber la quantitat de purins o matèria orgànica que transporta el camió.

¹³ Codigestió: control que determina la dosificació de cosubstrat per complementar el procés de digestió anaeròbia i maximitzar la producció de biogàs.



Figura 3. Balança pels camions

Un cop el camió ja s'ha pesat, s'introdueix la matèria orgànica que transporta en dipòsits subterranis. A la planta hi ha tres dipòsits per rebre tota la matèria de rebuig que forma part de la dieta del digestor, un de purins, un de fangs i un de líquids (llet, olis...).



Figura 4. Dipòsit 1



Figura 5. Dipòsit 2



Figura 6. Dipòsit 3

El següent pas consisteix en traslladar la matèria orgànica dels dipòsits al digestor mitjançant unes bombes subterrànies, que per funcionar utilitzen energia produïda a la pròpia instal·lació. Hi ha matèria orgànica bastant densa que impedeix un pas fluid a través de les bombes, per exemple el fang. Quan això passa es barreja la matèria amb purins, ja que sola seria difícil de bombejar.

El digestor a simple vista és un dipòsit gegant cobert amb una cúpula, tot i que en realitat n'hi ha dos, un dins de l'altre. L'exterior, el més gran, és el que sempre està ple de producte, ja sigui amb purins o amb qualsevol altra tipus de matèria orgànica. En aquest dipòsit és on es realitza la digestió anaeròbia i la fermentació, per tant, és on es produeix el biogàs (compost per CO_2 i CH_4). A mida que es va consumint la matèria orgànica del primer digestor, és traslladada al dipòsit interior, el qual fa de reserva de la matèria ja consumida i emmagatzematge de gas. Els dos dipòsits han d'estar a 37°C perquè els microorganismes puguin treballar i hi hagi un bon rendiment de producció de biogàs. Aquest valor de la temperatura s'aconsegueix amb la mateixa energia tèrmica que genera la planta.

S'ha de controlar molt la quantitat de producte que s'introdueix al digestor, ja que la dieta ha de ser molt concreta perquè la producció de biogàs sigui la justa per fer funcionar el motor. Si se'n produeix menys, baixa la producció d'energia; si se'n produeix més, es crema biogàs innecessàriament.



Figura 7. Digestor



Figura 8. Cúpula del Digestor



Figura 9. Pas del gas del dipòsit exterior al interior

La matèria que s'introdueix en el dipòsit es remena constantment mitjançant unes pales per tal de facilitar la digestió anaeròbia i la fermentació. Podem veure la seva estructura exterior des de sobre el digestor.



Figura 10. Pales

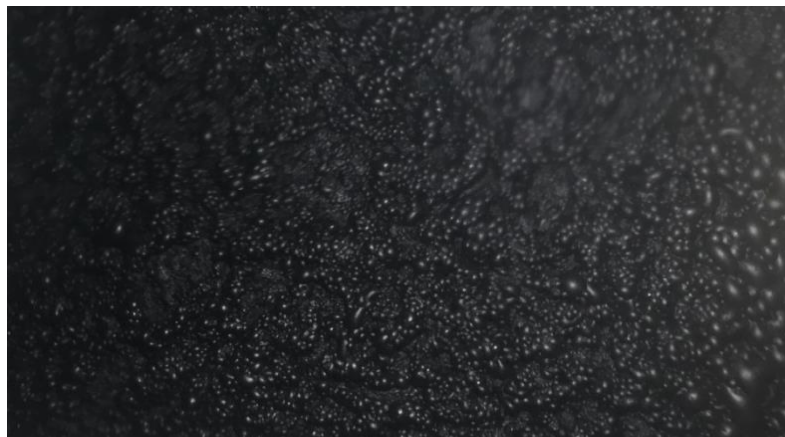


Figura 11. Purí i altra matèria orgànica interior del digestor

El biogàs és el combustible dels motors, aquest fa anar un alternador que és el que ens dona energia elèctrica. El motor s'escalfa i amb l'energia tèrmica i l' H₂O calenta que aquest genera s'escalfa el digestor i la granja. Tot i així, es produeix un excés de calor, la qual a través dels airotermes, uns dispersadors de calor, és alliberada a l'exterior de la planta.

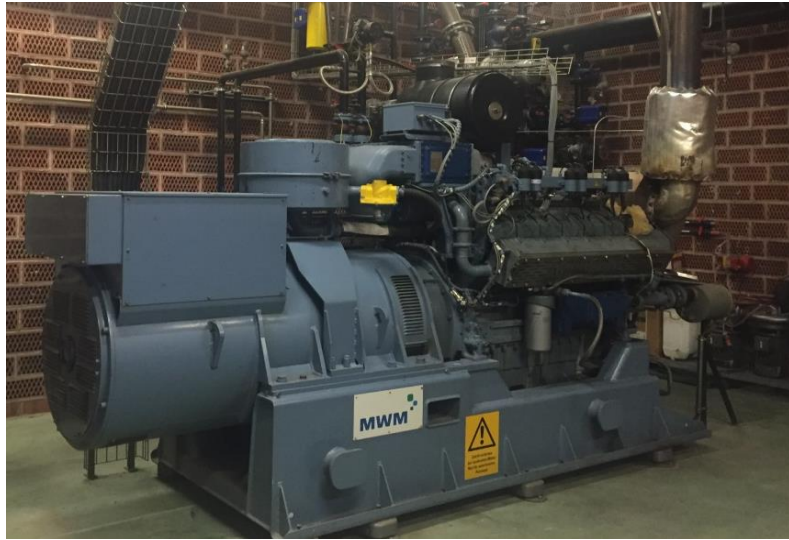


Figura 12. Motor 1



Figura 13. Motor 2



Figura 14. Airotterm

Si el motor es para, el biogàs produït es crema i surt cap a l'exterior del dipòsit mitjançant una xemeneia. Això es fa com a mesura de seguretat per tal de que el digestor no sobrepassi la seva pressió màxima i es puguin produir danys a la instal·lació.



Figura 15. Xemeneia per cremar el biogàs

Tots els processos que es porten a terme en totes les instal·lacions de la planta estan constantment controlats i totes les dades que s'obtenen s'emmagatzemen a la sala de controls.



Figura 16. Sala de controls

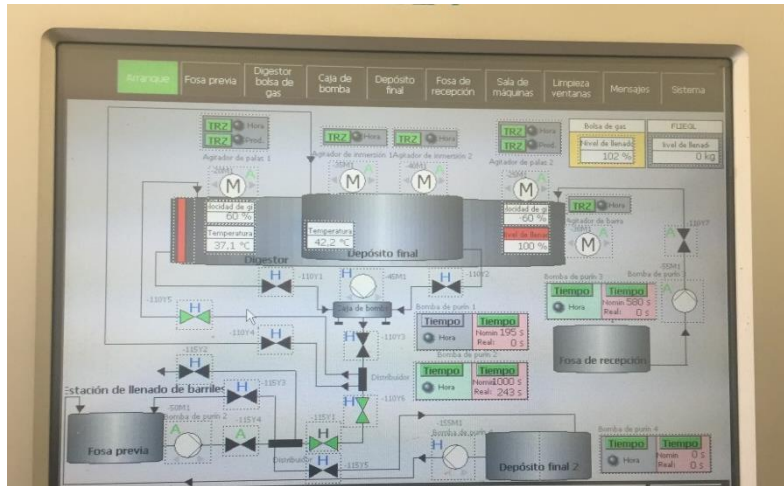


Figura 17. Pantalla de la sala de controls

3.2.4 Avantatges i inconvenients de la digestió anaeròbia per la generació d'energia

La digestió anaeròbia tendeix a ser vista com un procés car i complicat comparat amb el compostatge o digestió aeròbia. Tot i així, gràcies als avenços en la producció d'energies renovables i en les tecnologies necessàries per aconseguir aquesta energia, ha sorgit la necessitat d'utilitzar la digestió anaeròbia i donar-li més importància. Podem trobar, en aquesta digestió, diferents avantatges i inconvenients.

<i>Avantatges</i>	<i>Inconvenients</i>
<p><u>Producció de biogàs</u></p> <p>El resultat de la digestió anaeròbia és la formació de biogàs, el qual està constituït per un 20% de CO₂ i 80% de CH₄, a partir de la biodegradació de materials orgànics.</p> <p>Aquest biogàs el podem utilitzar com a electricitat, així doncs, la digestió anaeròbia ens permet obtenir electricitat a partir de residus orgànics contaminants.</p>	<p><u>Costs</u></p> <p>El principal i més important desavantatge en la utilització de la digestió anaeròbia en una planta per producció de biogàs, són els elevats costos d'inversió i de manteniment del sistema per tirar endavant el projecte i aconseguir produir biogàs.</p> <p>Aquets costos depenen, sobretot, del sistema: volum del digestor, temperatura del procés, temps de tractament, etc.</p>

<p><u>Gestió de residus orgànics</u></p> <p>Gràcies a la digestió anaeròbia podem transformar residus contaminants i perjudicials pel medi ambient i la nostra salut en energia. Per tant, aporta una solució al problema que representen aquests residus en el nostra ecosistema. També redueix les emissions de males olors i de gasos perillosos d'efecte hivernacle.</p>	<p><u>Inseguretat</u></p> <p>Una part molt important de la digestió anaeròbia, és el control que suposa, ja que el funcionament del procés es pot destorbar fàcilment per la presència de compostos tòxics o inhibidors, com l'NH_3, desinfectants, sulfurs o antibiòtics, impeding així que avanci la digestió. Quan es pateix una pertorbació d'aquest tipus, es necessari força temps per tornar a les condicions òptimes, per aquest motiu, és molt important controlar les variables que poden modificar el sistema.</p>
<p><u>Producció de material orgànic</u></p> <p>A partir d'aquesta digestió obtenim biogàs i material orgànic més estable. Aquest últim, pot ser reutilitzat com a fertilitzant pel sòl, sobretot després d'una etapa de maduració.</p>	<p><u>Despesa energètica i temps de tractament</u></p> <p>Quan utilitzem la digestió anaeròbia en una planta de biogàs, són necessàries unes condicions òptimes perquè la digestió sigui fiable. Aquesta digestió es pot donar a terme en dues condicions diferents; amb la utilització d'un digestor mesòfil o d'un digestor termòfil. Quan utilitzem un digestor mesòfil la temperatura necessària per realitzar el procés són uns 37°C i en el termòfil són aproximadament 50°C. Per tal d'escalfar el digestor per aconseguir aquesta temperatura, és necessària una despesa energètica important.</p>

	<p>Un altre desavantatge és el temps que requereix realitzar tot el procés, aquest depèn del tipus de digestor que fem servir. Quan utilitzem el digestor mesòfil per realitzar el procés, necessitem de 35 a 45 dies. A diferència d'aquest, amb el digestor termòfil necessitem 20 dies.</p>
<p><u>Higienització</u></p> <p>Aquest procés permet eliminar parcialment els patògens, uns bacteris que causen malalties i trastorns als seus hostes. La principal ruta d'infecció d'aquests bacteris és mitjançant el sòl, ja que és un medi ideal per allotjar un patogen.</p> <p>El grau d'aquesta higienització depèn de la temperatura en la que es realitza el procés.</p>	<p><u>Efecte negatiu de l'N₂ al medi ambient</u></p> <p>Un últim inconvenient de la utilització de la digestió anaeròbia en una planta per producció de biogàs, és que durant el procés no s'elimina l'N₂, el qual és perjudicial pel medi ambient per les següents raons (entre d'altres):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Formació de pluja àcida: Els òxids de nitrogen presents a la troposfera reaccionen amb l'H₂O que forma part dels núvols, per donar lloc a àcid nítric, que queda dissolt en petites gotes d' H₂O, que posteriorment creixen per condensació i precipiten, originant la pluja àcida: $3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{HNO}_3 + \text{NO} \text{ (eq. 3)}$

	<p>2. Contribució a la destrucció de la capa d'ozó: De forma natural, els òxids de nitrogen (NO_x) contribueixen a regular la quantitat d'ozó que es troba a la capa d'ozó, formant part dels anomenats cicles catalítics, mitjançant les següents reaccions:</p> $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2 \text{ (eq. 4)}$ $\text{NO}_2 + \text{O} \rightarrow \text{NO} + \text{O}_2 \text{ (eq. 5)}$ <p>3. Contribució a l'escalfament global: ja que l'ozó és un gas d'efecte hivernacle.</p>
--	---

2.3 Microorganismes o microbis

En el projecte que realitzem donem molta importància als microorganismes, ja que sense la seva participació en la respiració anaeròbia [pag.9], la matèria orgànica no es degradaria i el procés per a la producció de biogàs no es podria portar a terme.

La ciència que estudia els microorganismes s'anomena microbiologia. Al llarg de la història d'aquesta ciència, trobem molts noms coneguts que han sigut de gran importància per l'avanç de la nostra societat. En el 1665 es va donar a conèixer un dels primers científics que va estudiar el camp de la microbiologia, Hooke, el qual va utilitzar microscopis de disseny propi per observar la vida microbiana, i gràcies a això, va descobrir la cèl·lula.

Més tard, en el 1675, les observacions de Leeuwenhoek (1632–1723), juntament amb les de Spallanzani i Pasteur, van donar a conèixer que la vida no neix espontàniament a partir de substàncies mortes, acabant així amb aquesta antiga creença.

Al llarg de la història han aparegut varis microbiòlegs que han fet descobriments imprescindibles per a la nostra vida actual. Entre aquests, hi trobem en Lazzaro Spallanzani (1729-1799), el qual va descobrir la esterilització. També coneixem a Louis Pasteur (1822-1895), el qual va donar el cop a la teoria de la generació espontània¹⁴ donant suport a la teoria microbiana de la malaltia. Més tard, en el 1876, Robert Koch (1843-1910) va establir que els microorganismes poden causar malalties, i que aquestes es poden transmetre fàcilment.

Un microorganisme o microbi és un organisme viu que només es pot observar amb el microscopi electrònic o òptic, ja que és invisible a l'ull humà. Si ens imaginem que una cèl·lula eucariota té la mida d'un estadi sencer de futbol, un bacteri tindria la mida de mitja pista de tennis, i un virus de una pilota de tennis. Trobem els microorganismes arreu de la natura, ja que representen aproximadament un terç de la biomassa terrestre. Es calcula que existeixen, segons Loveland-Curtze, mes o menys unes 3.000.000 espècies microbianes diferents, de les quals només en coneixem 8.000.

A causa d'aquesta gran quantitat d'espècies de microbis diferents, podem trobar microorganismes de formes, mides i habitats completament diferents.

Podem diferenciar els microorganismes en tres grans grups. El primer grup són els microorganismes patògens, aquests són els perjudicials per l'ésser humà, els quals poden causar malalties com la grip o la malària. El segon grup són aquells que tenen un paper crucial en la naturalesa. La seva funció és descomposar la matèria orgànica morta. Per últim, trobem els microorganismes beneficiosos per els humans. Podem trobar dins d'aquest grup, els microorganismes que utilitzem per fabricar medicaments per diverses malalties humanes o per la elaboració de pa o cervesa.

Com ja hem dit abans, els microorganismes solament es poden observar a partir de microscopis. A causa de la seva petita mida, per mesurar-los utilitzem les següents unitats; micres (μm), nanòmetres (nm) i àngstroms (\AA).

¹⁴ Teoria de la generació espontània. Creu que la vida sorgeix de manera espontània a partir de la matèria inerta. Avui dia es considera una teoria científica obsoleta.

$$1\text{mm} = 1.000 \mu\text{m} = 1.000.000 \text{ nm} = 10.000.000 \text{ \AA}$$

Cèl·lula eucariota = entre 50 a 100 micres (μm)

Cèl·lula procariota (bacteri) = entre 1 a 50 micres (μm)

Virus= 10 i 300 nanòmetres (nm)

Figura 17. Mides microorganismes

Els microorganismes poden ser unicel·lulars o pluricel·lulars. Un organisme unicel·lular és aquell que està format per una cèl·lula. En els microbis aquest és el grup més comú. Els organismes pluricel·lulars estan constituïts per més d'una cèl·lula i contenen cèl·lules diferenciades¹⁵.

Un dels trets més importants dels microorganismes, és que els podem trobar en els tres dominis en que es divideixen els éssers vius; bacteria (eubacteris) [figura.18], archaea (arqueobacteris) [figura.19], i eukarya (eucariota) [figura.20]. Els eubacteris són un grup d'organismes procariotes unicel·lulars. Solen mesurar uns quants micròmetres de llargada i presenten una gran varietat de formes, que van des d'esferes fins a barres i espirals.

A diferència dels eubacteris, els arqueobacteris són un grup de microorganismes unicel·lulars de morfologia procariota. Per últim, trobem els eucariota.

Aquest últim és el domini que ajunta tots aquells organismes formats per cèl·lules amb nucli diferenciat. En la taula 2 podem veure amb més detall les diferències entre els tres dominis.

¹⁵ Cèl·lules diferenciades. Són aquelles que realitzen funcions especialitzades, per exemple, les neurones transmeten l'impuls nerviós.

Taula 2. diferències entre els tres dominis

Característiques	Bacteria(eubacteris)	Archea (arqueobacteris)	Eukarya (eucariota)
Embolcall nuclear	Absent	Absent	Present
Orgànuls	Absent	Absent	Present
RNA- polimerasa ¹⁶	Una classe	Diverses classes	Diverses classes
Aminoàcid ¹⁷ iniciador síntesi proteïnes	Formil metionina	Metionina	Metionina
Histones ¹⁸ associades amb el DNA	Absent	Present	Present
Cromosoma ¹⁹ circular	Present	Present	Absent
Bicapa lipídica ²⁰	Present, amb enllaços ester	Present, amb enllaços ester	Present, amb enllaços ester
Capacitat de créixer a temperatures de 100°C+	Absent	Alguns	Absent

¹⁶ RNA- polimerasa. Conjunt de proteïnes amb caràcter enzimàtic capaces de polimeritzar els ribonucleòtids per a sintetitzar ARN.

¹⁷ Aminoàcid. Molècules que contenen els grups funcionals amino (-NH₂) i carboxil (-COOH), a més a més d'una cadena lateral que varia entre els diferents aminoàcids.

¹⁸ Histones. Proteïnes que formen la cromatina juntament amb l'ADN.

¹⁹ Cromosoma. Estructura molt ben organitzada, formada per proteïnes i ADN, que conte la major part de la informació genètica d'un individu.

²⁰ Bicapa lipídica. Estructura formada per l'acoblament dels diferents lípids amfipàtics,

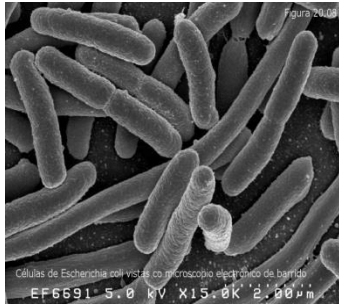


Figura 18. Escherichia coli

Font.

<http://dujs.dartmouth.edu/2013/10/producing-fuel-from-mutated-microbes/#.WFAhy9LhDcs>

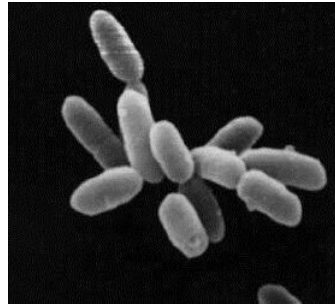


Figura 19. Halobacteria

Font.

<http://www.historyoftheuniverse.com/?p=archaea.htm>



Figura 20. Arbre

Font.

<http://www.direxi.fr/larbre-de-direxi/>

Hem vist que podem classificar els microorganismes segons siguin unicel·lulars o pluricel·lulars i segons siguin perjudicials o beneficiosos per l'èsser humà. Tot i així també els podem diferenciar segons siguin eucariotes o procariotes.

Formen part dels microorganismes procariotes els dominis bacteria i archa. Aquests microbis no tenen nucli cel·lular, i per tant el material genètic (DNA) el trobem dispers pel citoplasma. Tenen una estructura molt simple però un metabolisme molt complex, i solament trobem un grup d'organismes pluricel·lulars, els cianobacteris.

En canvi, els microorganismes eucariotes, són aquells que pertanyen al grup eukarya. Dins d'aquest domini, trobem els microorganismes en el regne dels protoctistes; algues i protozous (els quals, a diferència de les algues i els fongs, tots són microorganismes), i en el regne fungi; fongs microscòpics. Tots aquets microbis tenen en comú un nucli definit i orgànuls cel·lulars complexos.

Respecta els virus, són organismes amb una estructura més senzilla que les cèl·lules procariòtiques i eucariòtiques, per la qual cosa es consideren acel·lulars o eucariòtics.

El cicle vital d'un virus sempre necessita de la maquinària metabòlica de la cèl·lula envaïda per poder replicar el seu material genètic, produint després moltes còpies del virus original.

En aquest treball ens centrarem en els organismes procariotes, ja que en el nostre projecte treballarem amb bacteris, els quals els trobem dins d'aquest domini.

2.3.1 Bacteris

Els bacteris són un tipus de microorganisme unicel·lulars procariotes que pertanyen al grup dels eubcateris. Aquests microbis van ser observats per primera vegada per Antony van Leeuwenhoek, però el mot bacteri no va ser emprat fins el 1828, quan Ehrenberg va proposar aquest nom, el qual prové de la paraula grega *βακτηριον*, que significa petit bastó.

La mida d'aquests microbis és de 1,5µm fins a 600µm.

3.3.1.1 Morfologia bacteriana

Coneixem quatre tipus de bacteris segons la seva morfologia, representats a la taula 4; cocs, bacils, espirils i vibrions.

Cocs.

Els bacteris cocs es caracteritzen per tenir una forma esfèrica.

Els podem separar en quatre grups segons la seva capacitat de formar diferents tipus d'agrupacions; els diplococs s'uneixen en parelles, els estreptococs, gràcies a la seva unió, formen cadenes, els estafilococs s'aglomeren i formen estructures de raïm i els sarcines creen associacions irregulars. Un exemple de bacteri cocs és el *Diplococcus pneumònia*.

Bacils.

Els bacteris bacils els diferenciem gràcies a la seva forma de bastó.

Quan s'ajunten un conjunt de bacteris d'aquesta morfologia, formen cadenes de petits bastons. Un bacteri de morfologia bacils és el *Corynebacterium diphtheriae*.

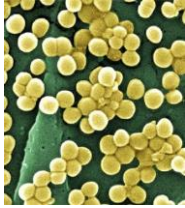

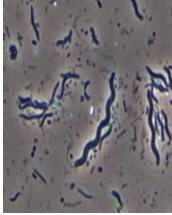

Espirils.

Aquest tipus de bacteri és caracteritza per la seva forma de bastó espiralat o helicoïdal. Podem trobar, dins d'aquest grup, el bacteri *Spirillum volutans*.

Vibrions.

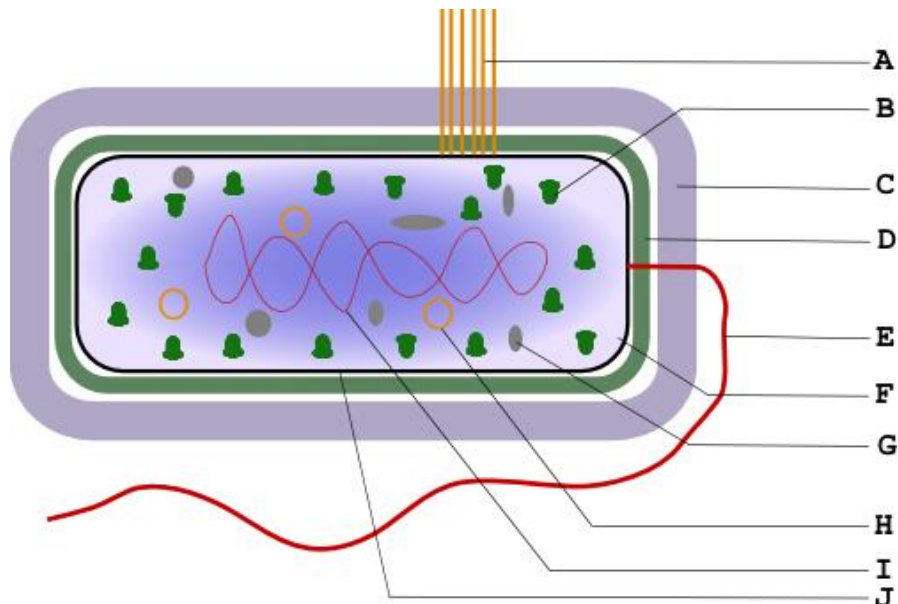
Per últim trobem els bacteris vibrions, els quals tenen forma de coma ortogràfica. Un exemple d'aquest tipus de bacteris és el *Vibrió comme*.

Taula 3. Tipus morfològics de bacteris

Tipus morfològics de bacteris			
Coc	Bacil	Espiril	Vibrió
			

3.3.1.2 Estructura bacteriana

Els bacteris són organismes molt simples amb escasses estructures internes però amb estructures externes complexes. En un bacteri hi podem diferenciar varies parts, entre aquestes hi trobem la càpsula bacteriana, la paret bacteriana, la membrana plasmàtica, els ribosomes, les inclusions, el plasmidi, el cromosoma bacterià, el citoplasma, el flagel i els pèls.



- A. Pilús. Són estructures constituïdes per pilina en forma de pèl molt curtes i fines que es troben a la superfície de molts bacteris. La seva funció és adherir-se a diferents superfícies. Trobem dos tipus de pilús, els pilis sexuals, els quals són pèls de conjugació, i les fimbries, que són pèls d'unió.
- B. Ribosomes. són orgànuls no membranosos en forma globular que medeixen uns 200Å, són molt més amb comparació amb els de les cèl·lules eucariotes. A cada bacteri hi trobem entre 5.000 i 20.000 ribosomes. La seva principal funció és participar en el procés de formació de proteïnes.
- C. Càpsula bacteriana. És una capa rígida amb el contorn ben definit que recobreix externament la paret cel·lular d'alguns bacteris. Està formada per glucoproteïnes i polisacàrids diferents. Les seves funcions són fer de coberta resistent a la fagocitosis²¹, fer de dipòsit d'aliments i absorbir H₂O.
- D. Paret cel·lular bacteriana. Coberta rígida permeable a les sals minerals i les molècules orgàniques petites gràcies a la seva capa de mureïna. És l'estructura encarregada de donar forma a les cèl·lules bacterianes amb un gruix de 50 a 100Å. En funció de la composició de la paret cel·lular, distingim dos tipus de bacteris, els bacteris Gram +, els quals només presenten una capa de mureïna, i els bacteris Gram -, els quals a més a més de la capa de mureïna, també contenen una membrana externa.
- E. Flagel. Són orgànuls allargats formats per un filament mòbil. La seva funció és permetre el moviment de la cèl·lula bacteriana.
- F. Citoplasma. Medi aquos on hi trobem els diferents orgànuls bacterians i el material genètic.
- G. Inclusions. Són grànuls de substàncies agregats del nucli cel·lular o el citoplasma. Actuen com a reserva energètica i permeten la tinció alhora de observar el bacteri al microscopi.

²¹ Fagocitosis. Procés pel qual algunes cèl·lules envolten a un antigen amb la seva membrana citoplasmàtica i l'introdueixen a l'interior de la cèl·lula.

- H. Plasmidi. és una molècula d'ADN circular de doble cadena que pot existir i replicar-se independentment del cromosoma o estar integrat en el mateix. No presenta material genètic imprescindible per la vida del bacteri.
- I. Cromosoma bacterià. Doble cadena circular constituïda per DNA molt condensat unit a proteïnes de la membrana plasmàtica. La seva funció és contenir el material genètic.
- J. Membrana plasmàtica. L'embolcall que envolta a la cèl·lula bacteriana amb absència de colesterol, a diferència de les cèl·lules eucariotes. Les seves funcions principals són delimitar la cèl·lula, relacionar-la amb les cèl·lules veïnes i regular el pas de substàncies. En la membrana hi trobem varis enzims que duen a terme moltes funcions imprescindibles per a la vida del bacteri com realitzar la respiració bacteriana i la fotosíntesi.

3.3.1.3 Fisiologia bacteriana

Tots els bacteris són capaços de realitzar les tres funcions vitals: nutrició, relació i reproducció.

La nutrició bacteriana

Els bacteris poden dur a terme dos tipus de nutrició: l'autòtrofa i la heteròtrofa. Els organismes heteròtrofes són aquells que obtenen l'aliment a partir de fonts de carboni orgàniques. Existeixen dos tipus d'organismes dins d'aquest grup, els fotoorganòtrofes, els quals la font de carboni orgànic i l'energia que utilitzen és la energia lluminosa, i els quimioorganòtrofes, els quals utilitzen l'energia de les reaccions químiques. Aquests últims són els més comuns.

A diferència dels organismes heteròtrofes, els autòtrofes obtenen l'aliment de fonts de carboni inorgàniques. Podem distingir dos classes d'organismes autòtrofes, els fotolitòtrofes, els quals utilitzen al llum com a font d'energia, i els quimiolitòtrofes, que utilitzen l'energia alliberada en les reaccions químiques. Ho veiem representat a la taula 4.

Taula 4. Tipus d'organismes segons el metabolisme

Tipus d'organismes segons el metabolisme	Origen de l'energia	Origen del carboni	Exemple
Fotolitòtrofs o fotoautòtrofs	Llum	CO ₂	Cianobacteris
Fotoorganòtrofs o fotoheteròtrofs	Llum	Carboni orgànic	Bacteris porprats no sulfúrics
Quimiolitòtrofs o Quimioautòtrofs	Reaccions químiques	CO ₂	Bacteris incolors del sofre
Quimioorganòtrofs o Quimioheteròtrofs	Reaccions químiques	Carboni orgànic	Animals

També podem distingir els bacteris segons les seves necessitats d'O₂ en el procés de nutrició. Aquells que necessiten O₂ per realitzar la nutrició s'anomenen bacteris aerobis estrictes, en el cas de que solament puguin fer el procés aeròbic, o aeròbic facultatiu, en el cas que siguin capaços de fer la nutrició aeròbia i anaeròbia, com per exemple l'*Enterobacteri*. En canvi, si l'O₂ no és necessari, els anomenem bacteris anaerobis estrictes, com per exemple el *Clostridium*.

La relació bacteriana

Els bacteris aconseguen mobilitat a partir de l'interval de contracció i dilatació del propi bacteri o bé gràcies al flagel, un conjunt de cèl·lules que formen un filament mòbil. També, si el medi és adequat, poden moure's mitjançant la reptació, acció que consisteix en avançar mantenint contacte amb la paret cel·lular. Si les condicions del medi en que es troba el bacteri canvien bruscament i poden afectar a la seva vida, com a resposta a aquest canvi, alguns bacteris com el *Clostridium* tenen la capacitat de formar espores [figura.21] com a forma de resistència, les quals viuran fins que les condicions siguin favorables i el bacteri pugui tornar a la seva forma natural.

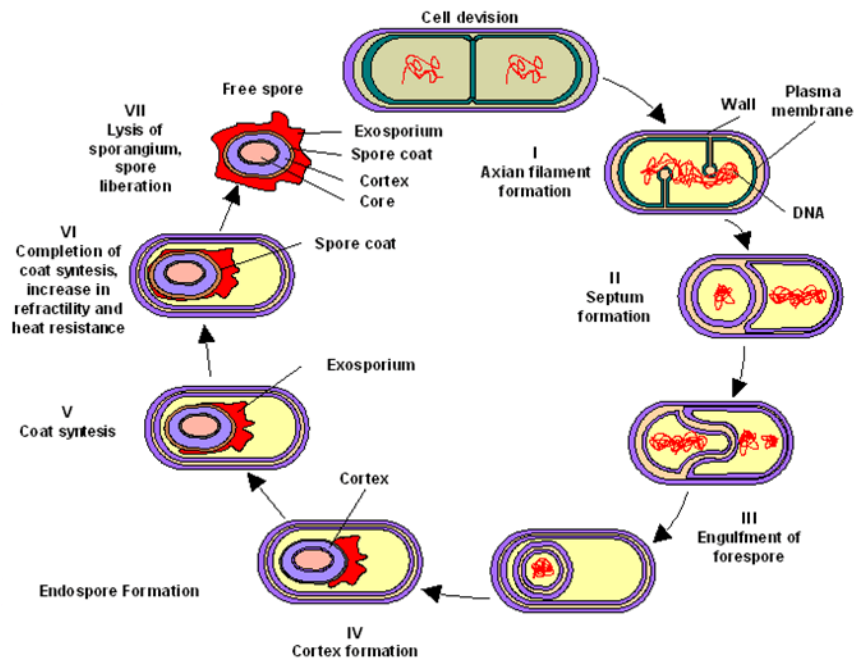


Figura 21. Formació d'espores com a resposta del bacteri a un canvi bruscat del medi extern.

Font. <https://www.ugr.es/~eianez/Microbiologia/09esporas.htm>

La reproducció bacteriana

Els bacteris tenen reproducció asexual. La reproducció asexual és un procés molt simple, ja que solament hi intervé un únic individu. Per als bacteris, la reproducció consisteix en diferents etapes. Primer de tot el bacteri duplica el seu material genètic o cromosoma circular, format per l'ADN. Tot seguit se separen els dos ADN circulars i es comença a crear un septe de separació, un tàbic que permet dividir el bacteri en dos parts, i es produeix la septació. Gràcies a aquest procés obtenim dos bacteris amb el seu pertinent ADN. D'aquesta manera al final del procés hem aconseguit dos bacteris idèntics.

Com a resultat de la reproducció asexual, obtenim descendents idèntics al progenitor, ja que durant el procés no hi ha cap intercanvi de material genètic. Aquesta és la principal característica negativa d'aquest tipus de reproducció, ja que impedeix la variabilitat dins

d'una mateixa espècie. Això pot provocar que tota una espècie quedi afectada davant de possibles canvis en el medi ambient.

Així doncs, l'única forma d'aconseguir variabilitat en una espècie que té reproducció asexual és mitjançant les mutacions, canvis permanents en l'ADN que es transmeten a la descendència.

A més a més, els bacteris tenen mecanismes parasexuals que permeten relacionar el bacteri amb altres bacteris i intercanviar-se informació genètica. Podem distingir-ne tres processos diferents: la conjugació, la transducció i la transformació.

Per entendre el procés de la conjugació es necessari conèixer que anomenem bacteri F^+ a aquell bacteri que és portador de un plasmidi, i anomenem bacteri F^- als bacteris que no contenen plasmidi. Així doncs la conjugació és el procés pel qual un bacteri F^+ , per tant portador de plasmidi, transfereix una còpia del seu plasmidi a un bacteri F^- , no portador de plasmidi.

Durant aquest procés el bacteri F^+ duplica el seu plasmidi i s'uneix al bacteri F^- mitjançant els pèls o pilús. Un cop units, el bacteri F^- rep la còpia del plasmidi del bacteri F^+ i esdevé F^+ , ja que un cop s'ha fet la transferència és portador de plasmidi. Un cop s'ha transferit el plasmidi, els dos bacteris es tronen a separar.

La transducció és el procés en el qual es produeix un intercanvi de DNA entre dos bacteris per mitjà d'un bacteriòfag, una mena de virus que infecta bacteris i fa d'agent transmissor de material genètic. El bacteriòfag és l'encarregat de segmentar el DNA d'un bacteri i infectar a un altre bacteri al introduir-li un d'aquests segments.

D'aquesta manera obtenim un bacteri amb material genètic provinent de dos bacteris diferents i per tant diferent a la resta de la seva família.

Per últim trobem la transformació. Aquesta és un procés en el que hi ha una transferència de DNA provinent del medi al bacteri. Això es produeix quan un bacteri allibera segments de DNA al medi i un altre bacteri capta aquest DNA i l'incorpora en el seu propi. Gràcies als tres processos podem obtenir variabilitat dins d'una mateixa espècie.

2.4 Materials lignocel·lulòsics

La lignocel·lulosa és un component estructural que representa una gran part de la massa de les plantes. El material lignocel·lulòsics és una gran aposta per a les energies renovables, ja que és una font abundant de matèria primera per a la bioconversió²².

Hi ha una gran varietat de materials lignocel·lulòsics, per exemple ho són les fustes, les tiges vegetals de cereals, canyes, algunes algues, papers, etc.

La lignocel·lulosa està formada per tres components. El primer és la cel·lulosa, un polisacàrid²³ que forma microfibrilles enllaçades entre si formant una estructura cristal·lina que aporta rigidesa. El segon component és l'hemicel·lulosa, un polisacàrid d'estructura ramificada i no fibrosa. Té propietats adhesives, és impermeable i no és tan resistent com la cel·lulosa. La lignina és el tercer component majoritari dels materials lignocel·lulòsics. És un polímer²⁴ que aporta rigidesa, resistència i impermeabilitat a la cèl·lula.

2.5 Pretractaments pels materials lignocel·lulòsics

Existeixen varis pretractaments que s'apliquen als materials lignocel·lulòsics per tal millorar el seu rendiment alhora de produir biogàs. Aquests materials són difícils de degradar a causa de la seva estructura, per això, se'ls hi apliquen tractaments que permeten destruir els enllaços que constitueixen la lignina, la hemicel·lulosa i la cel·lulosa, i així obtenir més producció de biogàs durant el mateix període de temps.

²² Bioconversió: transformació de la biomassa en substàncies combustibles

²³ Polisacàrid: polímers formats per molts monosacàrids (glúcids senzills)

²⁴ Polímer: macromolècules formades per la unió de molècules més petites anomenades monòmers.

2.5.1 Pretractament tèrmic

Durant el pretractament tèrmic, els material lignocel·lulòsic s'escalfen per sobre de 150-180°C, d'aquesta manera la lignocel·lulosa comença a solubilitzar (en primer lloc l'hemicel·lulosa seguida de la lignina).

A causa d'aquesta hidròlisi tèrmica, augmenta la de producció metà, i per tant, augmenta la producció de biogàs.

Els compostos produïts a partir de la solubilització de la lignina són molt reactius i en molts casos inhibeixen els bacteris.

2.5.2 Pretractament químic

Els pretractaments químics es poden realitzar amb àcids, alcalins (sals iòniques) i amb òxids. Quan es tracta amb un àcid, només s'hidrolitzen els hidrats de carboni. En canvi, amb el pretractament oxidatiu i l'alcalí, també s'ataca la lignina, però l'hemicel·lulosa no.

Les primeres reaccions d'aquests pretractaments, destrueixen els enllaços èster intermoleculars de hemicel·lulosa i de les lignines. Això fa que el substrat sigui més accessible per a les enzims i bacteris.

2.5.3 Pretractament biològic

Els pretractaments biològics formen part de dos processos: la digestió aeròbia i la digestió anaeròbia. Consisteixen en eliminar l'excés de fangs dels materials lignocel·lulòsics abans de realitzar la digestió anaeròbia o aeròbia. L'objectiu d'aquest pretractament biològic és millorar el procés d'hidròlisi en una etapa addicional abans del procés de digestió principal.

El procediment que hem utilitzat a la part pràctica realitzada pertany a aquests tipus de pretractament, i s'anomena *steam process*.

ARTICLE

INTRODUCCIÓ A L'ARTICLE

Com ja hem esmentat a la justificació del tema, hem redactat la part pràctica realitzada a les instal·lacions de la Universitat de Vic en forma d'article. El treball realitzat al laboratori ha set fruit de la incorporació a la part pràctica de la tesi doctoral d'en Mustafà Imeni. Dirigit pel Dr. Sergio Ponsá i amb l'ajuda del Dr. Joan Colon. El projecte es va iniciar el dia 29 de setembre del 2016, i va finalitzar el dia 7 de novembre del 2016. Durant aquest període hem anat tres dies a la setmana al laboratori a fer el control de l'experiment.

ÍNDEX DE L'ARTICLE

0. RESUM	45
0.1 Abreviacions	45
0.2 Paraules clau	45
1. INTRODUCCIÓ	45
2. HIPÒTESIS	47
3. MATERIALS I MÈTODES	47
3.1 Materials	47
3.2 Mètodes	49
3.2.1 Mètodes de caracterització fisicoquímics	49
3.2.1.1 Sòlids totals (TS)	49
3.2.1.2 Sòlids volàtils (VS)	49
3.2.2 Descripció experimental dels BMP	49
4. RESULTATS I DISCUSSIÓ	53
4.1 Sarment	53
4.2 Palla	55
4.3 Codigestió de les briquetes i purí	56
5. CONCLUSIONS	57
6. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	57
7. AGRAÏMENTS	58

AVALUACIÓ TÈCNICA DE LA TECNOLOGIA "STEAM PROCESS" COM A PRETRACTAMENT PER A LA DIGESTIÓ ANAERÒBIA DE MATERIALS LIGNOCEL·LULÒSICS

Treball de recerca de segon de batxillerat

RESUM

En aquest article s'ha avaluat l'efectivitat de *l'steam process* com a pretractament per a la digestió anaeròbia en materials lignocel·lulòsics. Aquest procediment és molt favorable en el medi ambient, ja que permet l'obtenció de biogàs a partir de la degradació de matèria orgànica difícil d'hidrolitzar biològicament. El material lignocel·lulòsic utilitzat és el sarment. També es valora el rendiment de la codigestió del sarment i el purí degradat en un mateix BMP.

Abreviacions

Ampolles on es produeix la biodegradació de la matèria orgànica i els purins	BMP
Sòlids volàtils	VS
Sòlids totals	TS
Nitrogen	N ₂
Oxigen	O ₂
Diòxid de carboni	CO ₂
Steam process	SP

Paraules clau

Steam process, pretractament, material lignocel·lulòsic, sarment, briquetes, purí.

1. INTRODUCCIÓ

La demanda d'energia creix molt ràpidament, i s'espera que durant el segle XXI es dupliques o triplichi aquesta necessitat d'energia. Aproximadament un 88% de l'energia que es gasta, prové de combustibles fòssils¹. Això ha provocat que al llarg dels anys, a causa de la immensa quantitat de CO₂ alliberat, l'efecte hivernacle a l'atmosfera augmenti exponencialment i tingui una repercussió directa en la nostra salut i la del nostre planeta. Una manera de minimitzar aquest greu problema són les energies renovables², les quals permeten reduir les emissions perilloses i la quantitat de residus acumulats. Un exemple n'és la producció de biogàs a partir de la codigestió de purins

amb diferent matèria orgànica, la qual permet disminuir un excés de purins, i aconseguir-ne, com a benefici, energia de font renovable³.

La quantitat sobrant de purins, representa un greu problema pel medi ambient, ja que els purins líquids abocats massivament als camps, contaminen els aqüífers subterranis. Aquest fet provoca l'eutrofització⁴. Com ja s'ha esmentat anteriorment, una manera eficaç i sostenible de minimitzar la quantitat de purins i obtenir-ne profit en forma d'energia renovable és la producció biogàs a partir d'ells².

Per altra banda, la digestió individual dels purins produeix una quantitat de N₂ molt elevada, i això té una repercussió directa en els microorganismes, els quals es moren i no es produeix tanta quantitat de biogàs. A diferència d'aquesta digestió, la codigestió, combinant purins amb altres matèries orgàniques permet afegir a la reacció de descomposició un segon substrat que conté carboni, i així s'igualava la relació Carboni/Nitrogen⁵.

En aquesta recerca s'estudia la repercussió que provoca un tractament previ en la matèria orgànica, concretament en el sarment, amb l'objectiu d'augmentar la producció de biogàs. El sarment és un compost lignocel·lulòsic, per tant les seves cèl·lules contenen lignina, hemicel·lulosa i cel·lulosa. La lignina no conté un enllaç hidrolitzable que es vagi repetint al llarg de la seva cadena principal, sinó que té una sèrie d'enllaços tipus èter distribuïts a l'atzar. Això suposa que està configurada per una estructura que provoca unes certes dificultats perquè es doni a terme la hidròlisi biològica i significa que la molècula és difícil de trencar. Així doncs, en aquesta recerca, es planteja un tractament previ als composts orgànics, en concret el sarment (una branca llarga i prima de la vinya), que permeti produir un trencament de les capes de lignina que envolten les cèl·lules. Segons diversos estudis^{2 6 7}, aquest tractament permet que la codigestió del sarment amb purí produeixi un major rendiment de biogàs que en la digestió anaeròbia (un procés en el qual diversos microorganismes descomponen material biodegradable en absència d'oxigen) del sarment. Això es deu al fet que els microorganismes encarregats de degradar la matèria orgànica poden accedir amb més facilitat a les cèl·lules. Aquest procés s'anomena *steam process*, i consisteix en comprimir el sarment utilitzat en briquetes. Aquesta compressió provoca un increment de densitat i pressió, la qual cosa comporta al trencament dels enllaços de carboni de la lignina. Això permet una descomposició de la lignina més ràpida i fàcil.

Es considera com a objectiu principal del projecte, augmentar la producció de biogàs a partir de l'aplicació prèvia de l'SP a la matèria orgànica utilitzada per tal de realitzar la codigestió d'aquesta amb purí.

2. HIPÒTESIS

- Potser a través de la conversió de diferents substrats a briquetes mitjançant l'SP, s'aconseguirà que el carboni que conté la lignina dels diferents substrats lignocel·lulòsics estigui disponible perquè els microorganismes el puguin degradar a metà.
- Potser s'aconseguirà un major rendiment de biogàs a través de la codigestió de les diferents briquetes de matèria orgànica amb purins respecta el biogàs obtingut solament a través de la digestió anaeròbia de purí i briquetes per separat.

3. MATERIALS I MÉTODES

3.1 Materials

S'ha utilitzat purí, sarment i inòcul com a productes per tal de portar a terme la digestió anaeròbia i obtenir-ne com a producte biogàs.

El purí és un producte constituït per la barreja de dejeccions sòlides i líquides de productes d'alimentació animal i aigua. La relació entre cada producte que constitueix els purins es completament variable.

El sarment és una branca llarga i prima de la vinya que sobte a partir de la seva poda. És un compost amb un gran poder calorífic i aromàtic.

L'inòcul és el medi utilitzat on s'hi troben els diferents microorganismes anaeròbics que realitzen la digestió anaeròbia seguint quatre etapes: la hidròlisi, l'acidogènesi, l'acetogènesi i la metanogènesi.

Taula 1. Llistat de material utilitzat al laboratori

Llistat de material utilitzat al laboratori

Vas de precipitats de 200ml	Balança d'alta precisió
Vas de precipitats de 50ml	Espàtula
Proveta de 100ml	Paper d'alumini
Comptagotes	Taps
Embut	Estufa a 37°C
BMP	Aparell per mesurar la pressió
Taps hermètics	Agulla emmanegada
Balança	N ₂
Cinta adhesiva	

Taula 2. Característiques fisicoquímiques dels materials utilitzats

Material		Sòlids totals (%)	Sòlids Volàtils (%)
Sarment	Mostra 1: 0,7g de sarment	0,63	0,62055
	Mostra 2: 1g de sarment	0,90	0,8865
	Mostra 3: 0,45g de sarment	0,41	0,398925
Purí	Mostra 1: 20ml de purí	0,67	12,6
	Mostra 2: 13ml de purí	0,43	8,19
	Mostra 3: 25ml de purí	0,84	15,75
Inòcul	Mostra 1: 60ml de purí	0,78	0,49
	Mostra 2: 65ml de purí	0,85	0,53
	Mostra 3: 55ml de purí	0,72	,45

3.2 Mètodes

3.2.1. Mètodes de caracterització fisicoquímics

3.2.1.1 Sòlids totals (TS)

És la part dels fangs que queden després de l'assecat a 105°C durant 20 hores

$$TS (\%) = \frac{\text{pes assecat a } 105^{\circ}\text{C}}{\text{pes moll}} \cdot 100$$

3.2.1.2 Sòlids volàtils (VS)

La part dels fangs que es crema a 550°C durant 2 hores.

$$VS (\%) = \frac{\text{pes assecat a } 105^{\circ}\text{C} - \text{pes assecat a } 550^{\circ}\text{C}}{\text{pes assecat a } 105^{\circ}\text{C}} \cdot 100$$

3.2.2. Descripció experimental dels BMP (biomethane potential test)

Per tal de validar les hipòtesis d'aquest projecte s'ha definit com a variable independent la digestió microbiana, i com a variable dependent la producció de biogàs, mesurat a través de la pressió de cada mostra, (la pressió produïda per l' inòcul i per la degradació dels microorganismes). I es consideren com a variables controlades la temperatura i la quantitat de substrat (*sarment, purí, inòcul*).

En primer lloc s'han preparat 36 ampolles de vidre, també anomenades BMP, d'una capacitat de 100ml amb diferents quantitats de sarment, purí i inòcul. La quantitat de producte que hi ha a cada ampolla està especificada a la taula 3. *Considerem que 1ml equival a 1g per a tots els productes.*

A la taula 3 s'indica que el valor de volum total a cada ampolla és de 80ml. Els 20ml restants serveixen perquè el gas format a partir de la digestió i la codigestió tingui espai suficient en l'ampolla.

S'han creat ampolles amb diferents quantitats de productes per tal de controlar-ne la mesura idònia que permeti un rendiment màxim de producció de biogàs. Quan es diposita un excés de matèria orgànica als microorganismes, incrementa el nivell d'àcids grassos i com a conseqüència, el PH del medi disminueix. Si aquest PH és inferior a 6, els microorganismes no suporten un medi tan àcid i moren, impeding la producció de biogàs.

Es pot veure, a través de les dades de la taula 3, que s'han preparat 3 grups control, els quals són les ampolles que pertanyen al grup 1, 2 i 3.

El primer són les ampolles que contenen 80ml d'inòcul. Aquest primer grup s'ha fet per determinar la quantitat de biogàs produït pel medi microbià.

El segon grup control està compost per 60ml d'inòcul i 20ml de purí. Aquest grup serveix per determinar la quantitat de biogàs produït en la digestió de purí, realitzat pels microorganismes de l' inòcul. L'altra funció d'aquest grup control és comparar el valor obtingut de la digestió individual del purí amb la codigestió de purí i sarment produïda els grups 10, 11 i 12.

El tercer i últim grup control esta format per 0,5g de glucosa i 75ml d'inòcul. Té la funció d'assegurar que l'inòcul es manté actiu, ja que es coneix la quantitat de biogàs que es forma a partir de la degradació de la glucosa, d'aquesta manera es pot comprovar si el valor del biogàs obtingut és l'òptim.

Per tal de comprovar que el sarment pretractat té un major rendiment de producció de biogàs respecte el sarment no tractat, s'han realitzat els grups 4, 5 i 6 formats per diferents quantitats de sarment tractat i inòcul, i els grups 7, 8 i 9, formats per diferents quantitats de sarment no tractat i inòcul.

El sarment conté lignina, degut a que la degradació d'aquest polímer és complicada, en els grups 4,5 i 6 s'ha aplicat l'SP. Segons la hipòtesi número dos, a partir d'aquest tractament previ, s'aconsegueix produir més quantitat de biogàs que en el cas del sarment no tractat en el mateix període de temps. A partir de la comparació dels valors obtinguts de biogàs produïts en els grups 4, 5, 6, 7, 8, i 9, es podrà negar o afirmar la hipòtesi formulada.

El tres grups restants, 10, 11 i 12, constituïts per sarment, purí i inòcul, són els utilitzats per determinar si a partir de la codigestió es pot obtenir més quantitat de biogàs en comparació a la digestió de purí i sarment individualment. Cada ampolla conté diferents quantitats de cada producte.

Una vegada s'han introduït les quantitats de matèria indicades a cada ampolla, es realitza l'extracció de l'O₂ dels pots, ja que en el medi preparat es porta a terme una digestió anaeròbia (sense oxigen). Aquest procés consisteix en introduir N₂ gasós dins de les ampolles per tal de substituir l'oxigen, i deixar el medi absent d'O₂. Cal tapar ràpidament les ampolles per evitar l'entrada d'O₂ provinent de l'aire. Els taps utilitzats són homologats, hi permeten un tancament hermètic dels pots per prevenir la sortida del

biogàs produït per la digestió anaeròbia o l'entrada d'O₂. Estan constituïts per una part de silicona envoltada per una anella metàl·lica.

La segon part del procés consisteix en mesurar i extreure el biogàs produït cada dos dies aproximadament. Cal respectar aquest període de temps perquè les ampolles no explotin, ja que no suporten una pressió superior a 2atm.



Figura. 1. Mesurador de pressió

*Figura. 2. Mesurador de pressió
A l'hora de punxar les BMP*

*Figura. 3. Procés d'extreure la pressió
amb una agulla emmanegada*

A partir del valor obtingut al mesurar la pressió, es realitzen diversos càlculs complexos que permeten obtenir la quantitat de biogàs produït [annex E, F, G, H, I, J i K]. Per extreure el biogàs de l'interior de les ampolles i així evitar superar el límit de pressió, es punxa la part de silicona dels taps amb una agulla emmanegada. Aquesta part dels taps impedeix una fuga de gas, tot i així, per tal d'assegurar que no es produeixi, s'enganxa una capa de cinta adhesiva sobre la part de silicona. Per tant, el valor obtingut de pressió és el real, ja que tot el biogàs produït queda dins de l'ampolla.

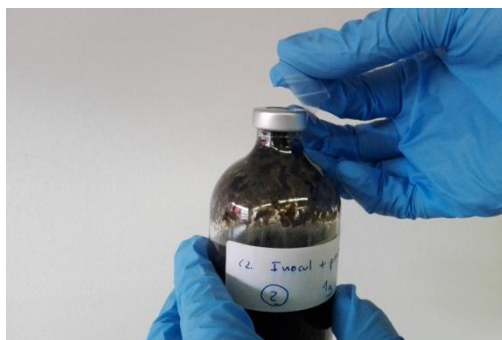


Figura. 4. Cinta adhesiva

Per últim es posen les ampolles a una estufa a 37°C. Els pots es conserven a aquesta temperatura per obtenir un major rendiment de producció de biogàs, ja que pels microorganismes de l'inòcul aquest és el valor òptim per degradar la matèria en un període de temps més curt que a qualsevol altra temperatura.

Es considera el final de l'experiment quan el valor obtingut de biogàs no augmenta, ja que els microorganismes han consumit tota la matèria orgànica present a l'ampolla.

Taula 3. Quantitat de inòcul i massa a cada BMP

Grup ampolles	Mostra	Inoculum mass (g)	Sample mass (g)	Total mass (g)
1	Inoculum	80,00	0,00	80,00
	Inoculum	80,00	0,00	80,00
	Inoculum	80,00	0,00	80,00
2	inoculum + purí 20g	60,00	20,00	80,00
	inoculum + purí 20g	60,00	20,00	80,00
	inoculum + purí 20g	60,00	20,00	80,00
3	inoculum + glucosa 0,5g	79,50	0,50	80,00
	inoculum + glucosa 0,5g	79,50	0,50	80,00
	inoculum + glucosa 0,5g	79,50	0,50	80,00
4	inoculum + treated sarment 1g	79,00	1,00	80,00
	inoculum + treated sarment 1g	79,00	1,00	80,00
	inoculum + treated sarment 1g	79,00	1,00	80,00
5	inoculum + treated sarment 5g	75,00	5,00	80,00
	inoculum + treated sarment 5g	75,00	5,00	80,00
	inoculum + treated sarment 5g	75,00	5,00	80,00
6	inoculum + treated sarment 10g	70,00	10,00	80,00
	inoculum + treated sarment 10g	70,00	10,00	80,00
	inoculum + treated sarment 10g	70,00	10,00	80,00
7	inoculum + non treated sarment 1g	79,00	1,00	80,00
	inoculum + non treated sarment 1g	79,00	1,00	80,00
	inoculum + non treated sarment 1g	79,00	1,00	80,00
8	inoculum + non treated sarment 5g	75,00	5,00	80,00
	inoculum + non treated sarment 5g	75,00	5,00	80,00
	inoculum + non treated sarment 5g	75,00	5,00	80,00
9	inoculum + non treated sarment 10g	70,00	10,00	80,00
	inoculum + non treated sarment 10g	70,00	10,00	80,00
	inoculum + non treated sarment 10g	70,00	10,00	80,00
10	inoculum + purí + sarment 1g	79,00	1,00	80,00
	inoculum + purí + sarment 1g	79,00	1,00	80,00
	inoculum + purí + sarment 1g	79,00	1,00	80,00
11	inoculum + purí + sarment 0,7g	79,30	0,70	80,00
	inoculum + purí + sarment 0,7g	79,30	0,70	80,00
	inoculum + purí + sarment 0,7g	79,30	0,70	80,00
12	inoculum + purí + sarment 0,45g	79,55	0,45	80,00
	inoculum + purí + sarment 0,45g	79,55	0,45	80,00
	inoculum + purí + sarment 0,45g	79,55	0,47	80,02



Figura 5. Conjunt de BMP

4. RESULTATS I DISCUSSIÓ

4.1 Sarment

En la figura 6 s'hi representen els resultats obtinguts del biogàs produït ($L_{\text{biogàs}}\text{kg}^{-1}\text{SV}$) en els grups d'ampolles 4, 5 i 6 [taula 3] els quals fan referència al sarment pretractat, i els grups 7, 8 i 9 [taula 3] els quals fan referència al sarment no tractat.

Segons la hipòtesi 1 les BMP que contenen una mescla en la que s'ha aplicat l'SP a al sarment, la producció de biogàs hauria d'haver estat major respecte les BMP en les que no s'ha aplicat aquest tractament previ. Com es veu en la figura 6, el biogàs produït en els grups en què no s'ha aplicat el pretractament és exageradament superior que la resta de grups. Aquest fet invalida la hipòtesi formulada.

En la figura 6 es pot diferenciar el temps de latència de la producció de biogàs, representat per la lletra "h" en l'annex M. També, gràcies als resultats obtinguts representats a la figura 6, es comprova que el període amb més rendiment en la producció de biogàs és el que es troba entre els dies 14 i 15, com es pot veure en l'annex M representat per la lletra "b". Per últim, es pot deduir el període en què la producció de biogàs es manté constant ja que els microorganismes ja han degradat tota la matèria orgànica disponible. Aquest període s'inicia a partir del dia 50 com es pot veure en l'annex M representat per la lletra "a".

Durant els primers 21 dies, la producció del sarment tractat equival a un 15% de la producció de biogàs realitzada pel sarment no tractat, i un 31,2% de la realitzada pel purí. En canvi, a l'article de Xavier et al⁸ s'esmenta que la producció de biogàs en la matèria orgànica comprimida en briquetes i sense comprimir, és més elevada que la produïda pels purins, amb els valors 200, 187, 128 ($L_{\text{biogàs}} \text{kg}^{-1} \text{SV}$) respectivament. Per tant, la producció de biogàs en les briquetes és major que en la matèria orgànica que no s'hi ha aplicat l'SP, en contraposició amb els resultats obtinguts representats en aquest article. Comparant els resultats amb els articles de Angelidaki i Ellegaard⁹, Jackowiak et al¹⁰, Krishania et al¹¹ i Taherdanak i Zilouei¹², es pot veure que també són diferents. Això pot ser degut a una composició química diferent de les matèries orgàniques utilitzades o a l'ús de diferents pretractaments.

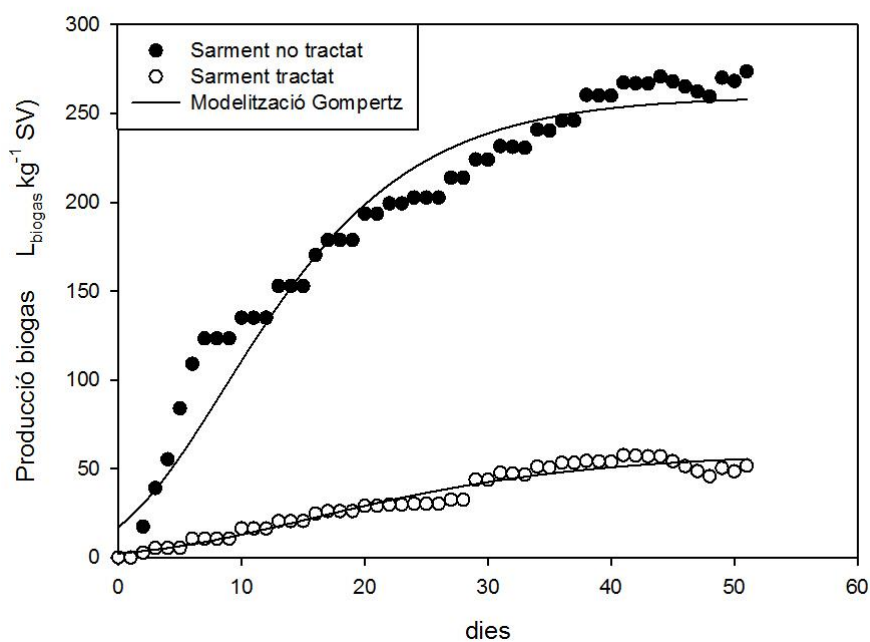


Figura 6. Modalització Gompertz de la producció de biogàs del sarment tractat i no tractat

4.2 Palla

Un segon grup d'investigació de la Universitat de Vic ha estudiat el comportament de la palla aplicant-hi el mateix pretractament que s'ha realitzat amb el sarment en aquest article. Els resultats, representats a la figura 7, demostren que, en contraposició amb els d'aquest article, l'SP no ha afectat en la producció de biogàs, tot i que tampoc l'ha augmentat.

La diferència entre els dos resultats pot ser deguda a una mala aplicació del pretractament al sarment degut a algun error al realitzar-lo. Una segona divergència és la possibilitat de que s'hagi produït una fuga de gas en les BMP del sarment, tot i les prevencions durant el procés.

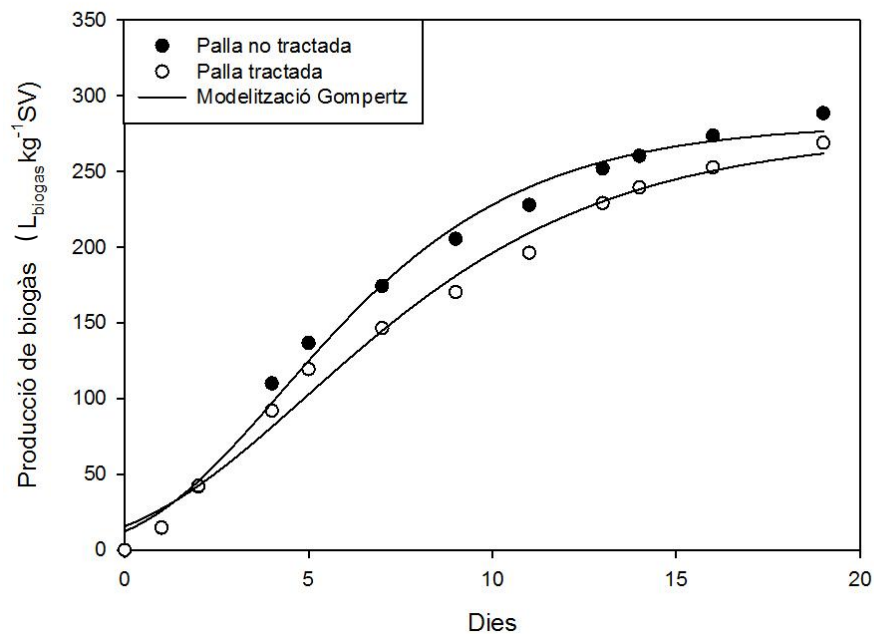


Figura 7. Modalització Gompertz de la producció de biogàs de la palla tractada i no tractada

4.3 Codigestió de les briquetes i purí

La hipòtesi 2 prediu que a través de la codigestió de les diferents briquetes de matèria orgànica amb purins s'obté més biogàs respecte l'obtingut solament a través de la digestió anaeròbia de purí i briquetes per separat. Així doncs, segons els resultats obtinguts mostrats a la figura 8 la hipòtesi proposada no és vàlida. Això és degut al baix rendiment de les briquetes com s'ha demostrat anteriorment, ja que la codigestió s'ha realitzat amb aquestes. Una segona raó és el fet de que el purí utilitzat no estava en les condicions adequades. Això es corrobora amb el resultat de l'experiment realitzat per un segon grup d'investigació de la Universitat de Vic. Aquest grup, com ja s'ha vist a l'apartat anterior, ha realitzat el mateix experiment però amb palla, en comptes de sarment. Els resultats obtinguts d'aquest segon experiment demostren que la producció de biogàs aconseguida en la degradació del purí és més elevada que els resultats en aquest experiment ja que el purí utilitzat no és el mateix. Per tant es considera que no s'han aconseguit els resultats esperats en la codigestió a causa del mal estat del purí. Cal tenir en compte també, que en contraposició amb la hipòtesi, la producció de biogàs del sarment i el purí per separat, és major que en la codigestió.

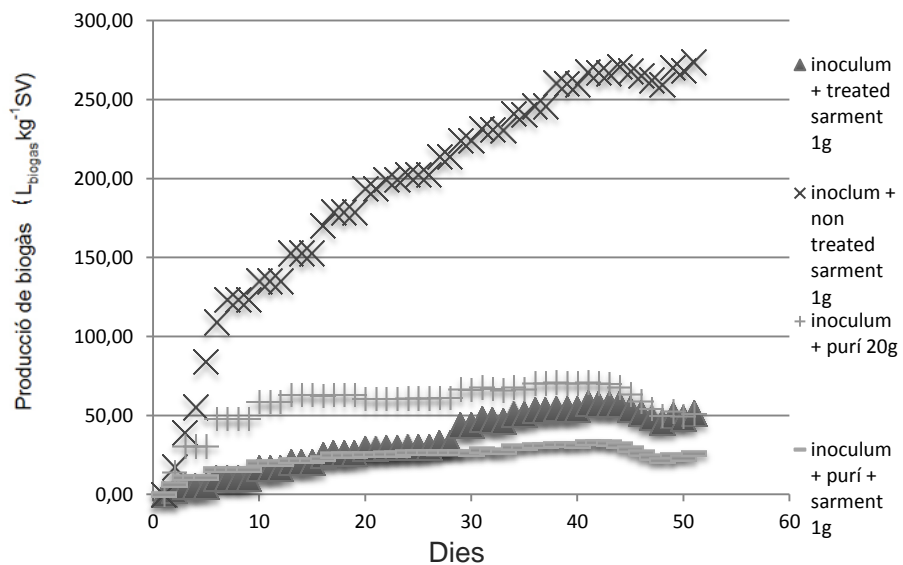


Figura 8. Gràfic de la producció de biogàs del sarment pretractat, tractat, el purí, i la codigestió

5. CONCLUSIONS

Com a explicació segons els resultats obtinguts, l'*steam process* realitzat en aquest estudi no ha resultat efectiu, ja que la matèria orgànica pretractada amb aquest procés ha produït menys biogàs que la matèria orgànica no tractada. Això pot ser degut a una possible fuga de gas o a una mala aplicació del pretractament. A causa de la invalidació de la primera hipòtesi, la qual diu que l'aplicació de l'*steam process* proporciona un major rendiment en la producció de biogàs respecte a la matèria orgànica no pretractada, la segona hipòtesi s'invalida. Això és degut a que la codigestió s'ha realitzat amb el sarment pretractat, per tant, la producció de biogàs en aquest procés també és inferior a l'esperada.

Es considera que l'experiment s'hauria de repetir tenint en compte que les BMP siguin completament hermètiques i que tots els substrats que s'utilitzen es trobin en les condicions òptimes.

6. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- 1- King Hubbert M. Energy from Fossil Fuels. Science. 1949;109(2823):103-109.
- 2- Teghammar A. Biogas production from lignocelluloses: pretreatment, substrate characterization, co-digestion, and economic evaluation (tesi). Göteborg: Chalmers University of Technology; 2013.
- 3- Nagy G, Wopera A. Biogas production from pig slurry: feasibility and challenges. Mat Sci Eng. 2012;37:65–75.
- 4- Institució Catalans d'Estudis Agraris. Agricultura i qualitat ambiental a Catalunya: 6 i 7 de maig de 1994. Barcelona: IEC; 1994.
- 5- Angelidaki I, Ellegaard L. Codigestion of manure and organic wastes in centralized biogas plants. Appl Biochem Biotechnol. 2003;109(1):95-105.
- 6- Liqian W. Different pretreatments to enhance biogás production: a comparison of termal, chemical and ultrasonic methods (tesi). Halmstad: Halmastad University; 2011.
- 7- Hendriks AT, Zeeman G. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. Bioresour Technol. 2009;100(1):10-8.

- 8- Xavier C, Moset V, Wahid R, Moller H. The efficiency of shredded and briquetted wheat straw in anaerobic codigestion with dairy cattle manure. *Biosystems Engineering*. 2015;139:16-24.
- 9- Angelidaki I, Ellegaard L. Codigestion of manure and organic wastes in centralized biogas plants. Status and future trends. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2003;109:95-105
- 10- Jackowiak D, Bassard D, Pauss A, Ribeiro T. Optimisation of a microwave pretreatment of wheat straw biosystems engineering for methane production. *Bioresource Technology*. 2011;102(12):6750-6.
- 11- Krishania M, Vijay VK, Chandra R. Methane fermentation and kinetics of wheat straw pretreated substrates co-digested with cattle manure in batch assay. *Energy*. 2013;57:359-67.
- 12- Taherdanak M, Zilouei H. Improving biogas production from wheat plant using alkaline pretreatment. *Fuel*. 2014;115:714-9.

7. AGRAÏMENTS

Agraïm l'aportació al projecte de la nostra tutora, ja que ens ha guiat durant tota l'experiència i ha sigut un suport constant, no ho hauríem pogut fer sense ella!

També agraïm l'ajuda d'en Sergio Ponsá, en Joan Colon i en Mostafa Imeni, ja que ens han ofert la gran oportunitat de incorporant-nos a una tesis doctoral i viure l'experiència que suposa.

Per últim, donem les gracies a Selecció Deseuras per ensenyar-nos la instal·lació de la planta, la importància de la contaminació i el canvi climàtic creixent dels darrers anys i la solució que ells aporten a aquest problema.

4. Conclusions finals

Realitzar aquesta recerca ens ha obert als ulls al problema mediambiental que afecta globalment i intensivament al nostra planeta. Hem vist que s'han de buscar solucions, i que una d'aquestes és la producció d'energia a partir de matèria orgànica i inorgànica. D'aquesta manera s'ajuda a disminuir l'excés de residus orgànics i inorgànics que suposen un perill per la salut del planeta, i s'aconsegueix energia de font renovable.

La recerca realitzada al laboratori requeria uns coneixements bàsics de la digestió anaeròbia per entendre el procés de producció de biogàs. Per tal de comprendre aquesta digestió hem estudiat també la digestió aeròbia i la fermentació. La digestió anaeròbia és la respiració amb absència d'oxigen en la qual s'obté una molècula inorgànica. La fermentació també es realitza sense oxigen però a diferència de la anaeròbia es realitza una oxidació parcial i s'obté una molècula orgànica. Al contrari d'aquestes, la digestió aeròbia es realitza amb presència d'oxigen ja que aquest és l'últim acceptor en la cadena transportadora d'electrons.

Aquest treball ens ha permès aprofundir en la microbiologia, en concret els bacteris, ja que són els responsables de la biodegradació de la matèria orgànica, la qual hem realitzat en la part pràctica. Hem après la seva estructura, morfologia i fisiologia. Per tal de comprendre com es realitza la digestió anaeròbia amb producció de biogàs, vam visitar la planta de producció de biogàs Selecció Deseuras S.L. La visita a aquestes instal·lacions ens va impressionar i ens va fer veure que cal donar a conèixer aquest mètode d'obtenció d'energia, sobretot als joves, ja que són el futur del planeta i aquesta és una manera de cuidar-lo i protegir-lo.

El treball realitzat al laboratori ha sigut una oportunitat molt bona que ens ha ajudat a conèixer com es treballa a un laboratori professional i ens ha influït en la decisió dels nostres estudis futurs. A més a més, ens agradaria mencionar que tot el projecte experimental l'hem fet en anglès ja que hem tingut l'ocasió de treballar amb gent d'altres països amb els quals l'únic idioma que podíem utilitzar per comunicar-nos era l'anglès.

Respecte a la part pràctica, hem vist que els resultats no són sempre els esperats, però que això també és important ja que la ciència avança a través d'hipòtesis descartades.

5. Fonts d'informació

5.1 Recursos informàtics

1. Mercedes Lecea Romera y Javier Manzano Gómez; *Estructura y función de la lignina*. (consultada: 16 juny 2016)

<http://www.laenergiadelcambio.com/estructura-funcion-lignina>

2. Khan Academy; *Glycolysis* (consultada: 27 juny 2016)

<https://www.khanacademy.org/science/biology/cellular-respiration-and-fermentation/glycolysis/a/glycolysis>

3. Khan Academy; *Why do we need oxygen?* (consultada: 25 juliol 2016)

<https://www.khanacademy.org/science/biology/cellular-respiration-and-fermentation/oxidative-phosphorylation/a/oxidative-phosphorylation-etc>

4. Desconegut; *Producció de biogàs per codigestió anaeròbia* (consultada: 6 juliol 2016)

http://www.ruralcat.net/c/document_library/get_file?uuid=fe3105ab-08f5-4ac4-b070-242f34d4f4e6&groupId=10136

5. Xavier Flotats; *La digestió anaeròbia com alternativa de tractament o com procés previ al procés de compostatge* (consultada: 6 juliol 2016)

http://mie.esab.upc.es/ms/recerca_experimentacio/articulos_ESAB/digestio%20anaerobia%20com%20alternativa%20al%20compostatge.pdf

6. IDAE; “*Biomasa: Digestores anaerobios*” (consultada: 30 setembre 2016)

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_Digestores_Anaerobios_A2007_0d62926d.pdf

7. Desconegut; *Disseny d'una planta de tractament de purins amb producció de biogàs* (consultada: 19 setembre 2016)

<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3927/34024-9.pdf?sequence=9>

8. Institut català d'energies; *Certificació d'eficiència energètica d'edifici*. (consultada: 16 setembre 2016)

http://icaen.gencat.cat/ca/energia/usos_energia/edificis/certificacio/

9. Sergio Ponsá; *Different indices to express biodegradability in organic solid wastes. Application to full scale waste treatment plants* (consultada per primera vegada: 19 setembre 2016)

<http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/48707/sps1de1.pdf?sequence=1>

10. Èric Motjer; Selecció Deseuras: *Planta de biogàs* (consultada: 16 setembre 2016)
<https://www.youtube.com/watch?v=GW5Cio0Tl1Y>
11. Antonia Tapia; *¿Qué es el biogás?* (consultada: 6 setembre 2016)
<http://www.vix.com/es/btg/curiosidades/4505/que-es-el-biogas>
12. Juan Miguel Mantilla González; *diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogas utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno* (consultada: 6 setembre 2016)
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000300015&lng=en&nrm=iso&tlng=es
13. Ecobiogàs; *biogás, la nova energia renovable* (consultada: 6 setembre 2016)
http://www.ecobiogas.es/archivos/ca/biogas_biogasienergia.php
14. Jhon Bryant Toro Ponce; *Bacterias microbiologia* (consultada: 5 octubre 2016)
<http://es.slideshare.net/Jbryantdj/bacterias-microbiologia>
15. Diferenciaciones celulares; *endospora bacteriana* (consultada: 5 setembre 2016)
<https://www.ugr.es/~eianez/Microbiologia/09esporas.htm>
16. Nova Valladares; *Microbiologia bacterias* (consultada: 5 octubre 2016)
<http://es.slideshare.net/novavalladares/microbiologia-bacterias>
17. EnErGi; *projectes i serveis d'ensinyeria* (consultada: 14 octubre 2016)
http://www.energi.cat/descarregues/biogas_1.pdf
18. Antonio Cerrillo; *Las plantas que producen electricidad con residuos ganaderos, también a la banca rota* (consultada: 14 octubre 2016)
<http://www.lavanguardia.com/natural/20140220/54401515874/plantas-producen-electricidad-residuos-ganaderos-banca-rota.html>
19. Universitat Politècnica de Catalunya; *BACTERIS* (consultada: 5 octubre 2016)
<http://www.epsem.upc.edu/fermentador/Bacteris.html>
20. Enciclopèdia; *cel·lulosa*. (consultada: 18 novembre 2016)
<http://www.enciclopedia.cat/EC-GEC-0089828.xml>
21. La guía; *Lignina – La química de la madera* (consultada: 18 novembre 2016)
<http://quimica.laguia2000.com/elementos-quimicos/lignina-la-quimica-de-la-madera>

22. Enciclopèdia; *hemicel·lulosa*. (consultada: 18 novembre 2016)
<http://www.enciclopedia.cat/EC-GEC-0113757.xml>
23. S. Dea, M. Kaiadib, M. Fastb, M. Assadib, *Development of an artificial neural network model for the steam process of a coal biomass cofired combined heat and power (CHP) plant in Sweden* (consultada: 2 desembre 2016)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544207000722>
24. Wang Liqian; *Different pretreatments to enhance biogas production* (consultada: 2 desembre 2016)
<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:439865/fulltext01.pdf>
25. Institut d'estudis catalans; *diccionari*
<http://dlc.iec.cat/>
26. diccionari sinònims;
<http://diccionaris.cat/>

5.2 Bibliografia

1. A.Esteller Pérez, M.Á. Fernández. E. Labrador, J.M. López, E.Martinez, J.R.Reguiero, M.D. Torres, A.J.Villena. *Biologia-2*. Vicens Vives, 2013.
2. A.Jimeno, M.Ballesteros. *Biologia 2 batxillerat*. Projecte La Casa del Saber, 2009.

Cal mencionar que vam anar a la biblioteca de Vic a buscar un llibre relacionat amb els materials lignocel·lulòsics i no el vam trobar. Per això vam recórrer a buscar informació a través de la xarxa i amb articles científics online.

ANNEXOS

Índex annexos

Annex A	2
Annex B	7
Annex C	8
Annex D	8
Annex E	9
Annex F	12
Annex G	14
Annex H	14
Annex I	15
Annex J	16
Annex K	17
Annex L	17
Annex M	18
Annex N	19

Annex A: Procés digestió anaeròbia

La respiració anaeròbia en les cèl·lules procarïotes, com els bacteris, consisteix en què a partir de la degradació de proteïnes, glúcids i lípids n'obtenim energia i un altre substrat, com podria ser el metà.

Per tal d'explicar aquest procés, utilitzem com a exemple la glucosa, un tipus de glúcid simple que és la principal font d'energia de moltes cèl·lules.

La primera etapa de la respiració cel·lular és la glucòlisi [figura.1], la qual consisteix en degradar la glucosa fins a àcid pirúvics¹ a partir d'una sèrie de reaccions complexes. A partir d'una molècula de glucosa se n'obtenen dues de piruvat. Aquesta via catabòlica² té lloc al citoplasma de totes les cèl·lules eucariotes [annex B] i serveix per aconseguir coenzims reduïts, principalment l' NADH .

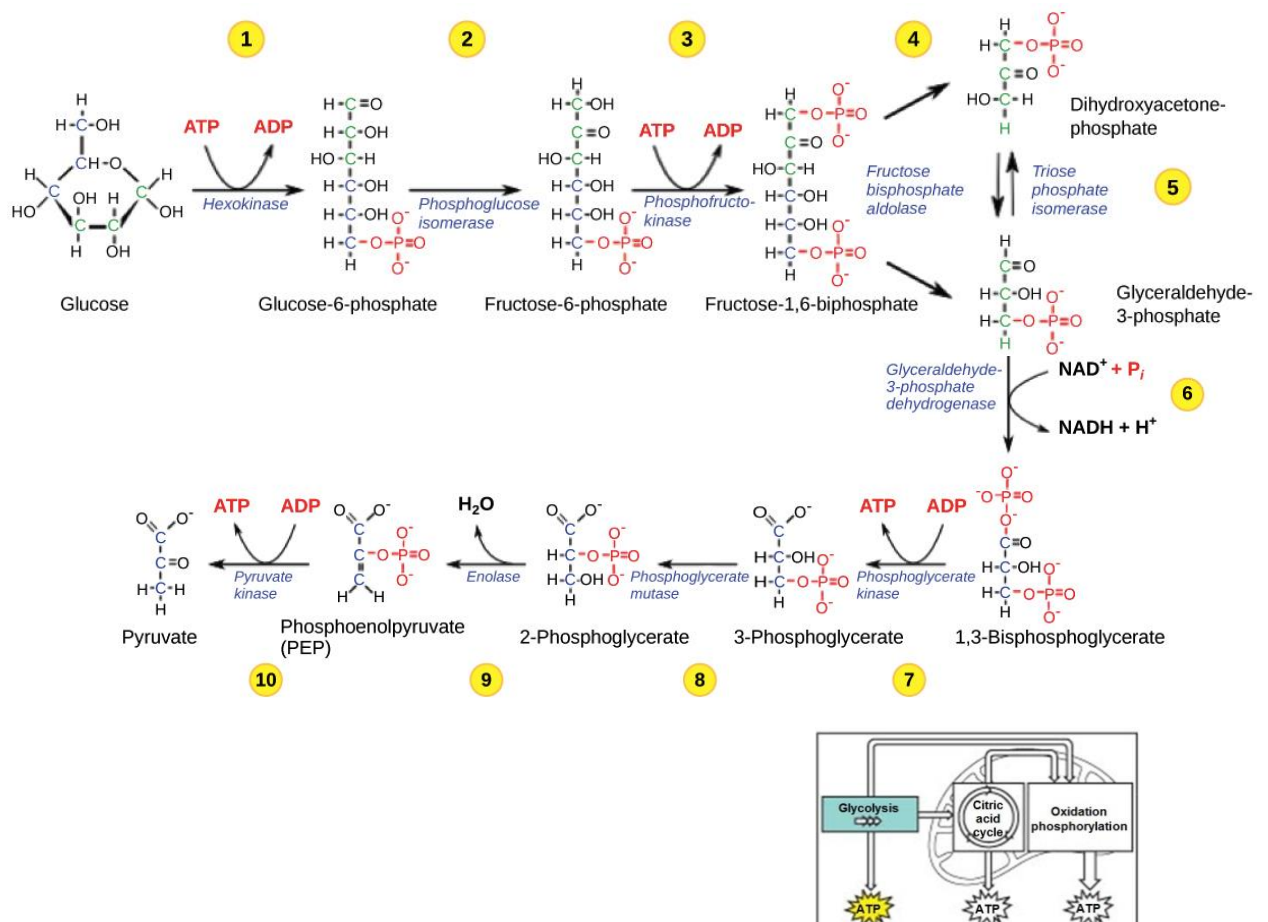


Figura.1. Esquema procés glucòlisi

Font. <https://www.khanacademy.org/science/biology/cellular-respiration-and-fermentation/glycolysis/a/glycolysis>

¹ Àcid pirúvic o piruvats. Compost químic orgànic amb propietats d'un àcid.

² Via catabòlica. Sèrie de reaccions favorables que formen energia en forma de ATP o NADH.

Seguidament trobem la segona etapa [figura.2], quan es produeix el pas de piruvat a acetil CoA.

A continuació s'inicia una ruta metabòlica, és a dir, una successió de reaccions químiques que formen part de la respiració cel·lular en totes les cèl·lules anaeròbies.

Aquesta ruta s'anomena el cicle de Krebs [figura.2].

El cicle de Krebs s'inicia amb la transferència de dos àtoms de carboni, procedents de l'acetil CoA, a una molècula de quatre àtoms de carboni, anomenada oxalacetat, que és l'encarregada de que comenci aquest cicle. Seguidament tenen lloc un conjunt de reaccions químiques que necessiten NADH per realitzar-se, provinent de la glucòlisi.

La Nicotinamida adenina dinucleòtid, abreujada com NAD és un coenzim d'oxidoreducció³ present en totes les cèl·lules vives.

L'NAD [annex.C], és un dinucleòtid⁴, ja que està compost de dos nucleòtids enllaçats pels seus grups fosfat.

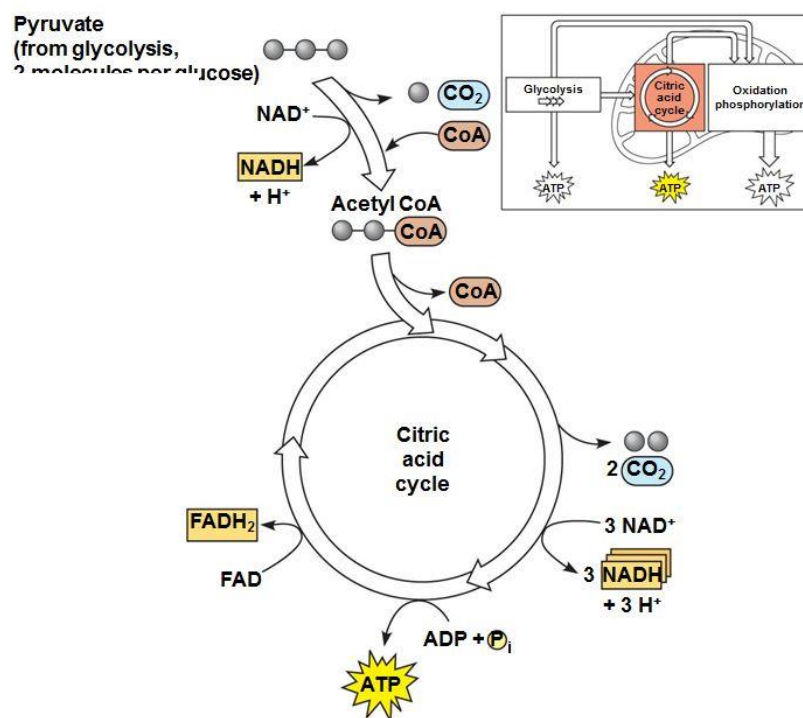


Figura.2. Procés de transformació de piruvat a acetil CoA i cicle de Krebs

Font: <http://slideplayer.com/slide/7519982/>

³ Oxidoreducció o reacció redox. Reacció química en la qual hi ha una transferència electrònica entre els reactius, donant lloc a un canvi en els seus estats d'oxidació pel que fa als productes.

⁴ Dinucleòtid. Molècula formada per dos nucleòtids, les unitats estructurals bàsiques dels àcids nucleics,

En el metabolisme, l'NAD⁺ està implicat en les reaccions redox, en les quals transporta electrons d'una molècula a una altra [annex.C]. Així doncs, a les cèl·lules, és present en dues formes diferents: NAD⁺ i NADH. L'NAD⁺ és un agent oxidant, això significa que accepta electrons d'altres molècules, quedant així reduït. Aquesta reacció de reducció forma l'NADH, que pot ser utilitzat com a agent reductor per a cedir electrons. Aquesta transferència d'electrons és la funció principal del NAD⁺ [annex.D].

Així doncs, en la respiració cel·lular, L'NAD⁺ realitza la seva funció principal explicada anteriorment. Aquest coenzim agafa un H₂ provinent del cicle de Krebs formant NADH. Tot seguit aquest coenzim reduït NADH, i també l'FADH (el qual fa la mateixa funció que l'NAD⁺), cedeixen els seus electrons a la cadena transportadora d'electrons [figura.3], passant a la seva forma oxidada. Aquests electrons salten d'una proteïna transportadora a una altra produint reduccions i oxidacions constants. Durant aquestes reaccions s'allibera energia, la qual és utilitzada per les pròpies proteïnes per bombejar hidrogenions a l'exterior de la matriu, a l'espai intermembranós. Aquest espai queda amb més concentració i amb el pH més àcid. Aquesta diferència de concentració activa l'ATP sintetasa, la qual deixa passar els hidrogenions per igualar el medi, i quan ho fa es despren energia, la necessària per unir un ADP i Pi formant ATP.

Per tant, com a resultat final d'aquesta sèrie de reaccions, obtenim energia en forma d'ATP, el compost energètic que utilitzem els éssers vius.

En la cadena transportadora d'electrons, com podem veure en la taula.1, els electrons poden tenir diferents elements com a últim acceptor:

Taula.1: últims acceptors de la cadena transportadora d'electrons

ACCEPTOR	PRODUCTE FINAL	MICROORGANISME
nitrat	Nitrits, òxids de nitrogen i N ₂	Pseudomonas, Bacillus
sulfur	Sulfurs	Desulfovibrio, Clostridium
sofre	Sulfurs	Thermoplasma
trisulfat	Sulfat i sulfur	Thermotogae, Thermoanaerobacteriales
Co ₂	Metà	Methanococcus, Methanosarcina, Methanopyrus
Fe ³⁺	Fe ²⁺	Shewanella, Geobacter
Mn ⁴⁺	Mn ²⁺	Shewanella putrefaciens

Com podem observar a la taula.1, per obtenir CH₄ (i seguidament biogàs), és necessari que l'últim acceptor sigui el CO₂. La reacció que succeeix és l'equació.1:



En aquesta reacció tenim com a reactiu l'hidrogeni provinent de l'NADH + H⁺ format al cicle Krebs, el qual entra a la cadena transportadora d'electrons. L'altre reactiu de la reacció és el CO₂, l'últim acceptor de la cadena transportadora d'electrons [figura.3]. Respecte els productes, s'obté CH₄, gràcies a la unió de hidrogenions amb el carboni provinent del CO₂, i H₂O, gràcies a la unió d'hidrogenions i l'O₂ del CO₂.

L' H₂ necessari en aquesta reacció no és comú a la biosfera, per aquest motiu els microorganismes que porten a terme la respiració anaeròbia es troben a llocs específics com el fons de llacs i pantans o l'estomac dels rumugants, on diferents microorganismes produeixen H₂ lliure.

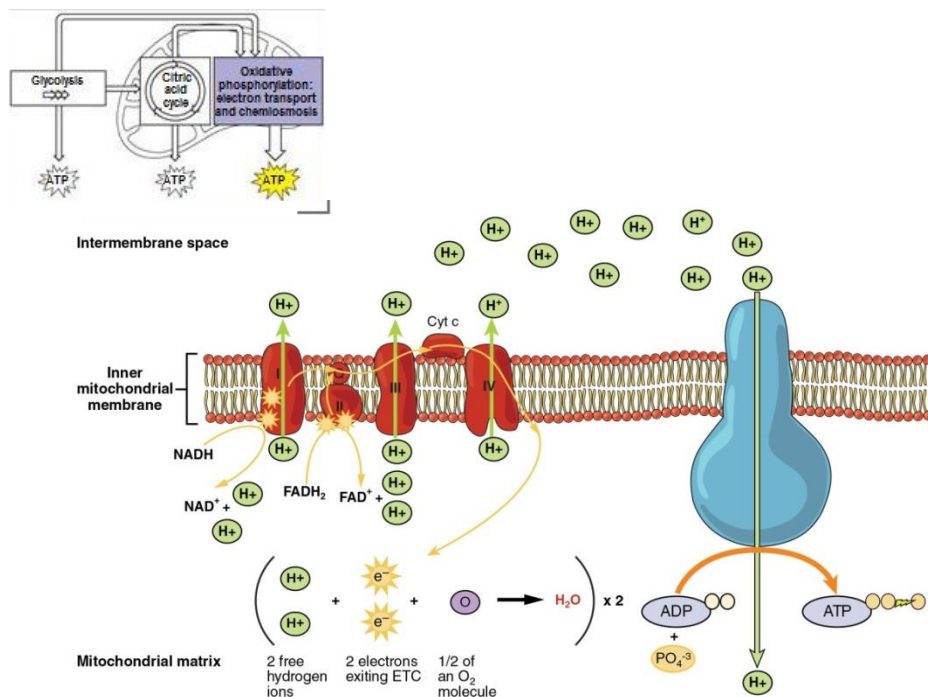


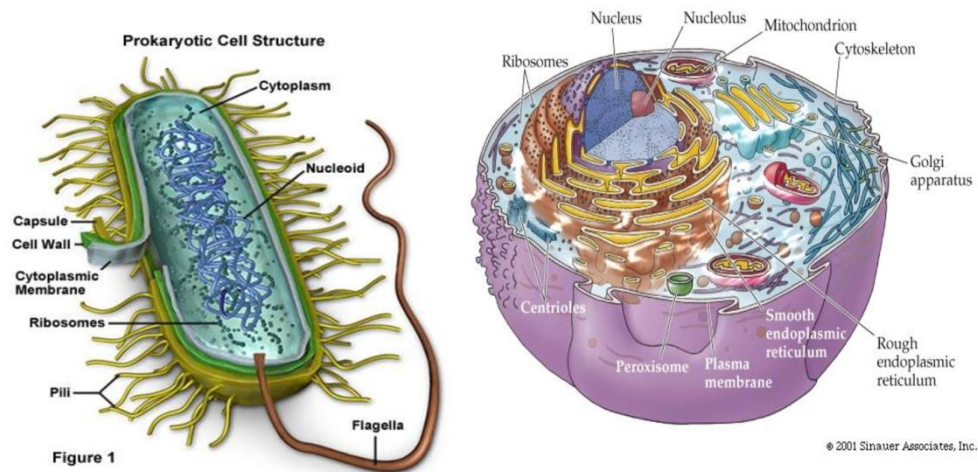
Figura.3. Cadena transportadora d'electrons

Font. <https://www.boundless.com/biology/textbooks/boundless-biology-textbook/cellular-respiration-7/oxidative-phosphorylation-76/chemiosmosis-and-oxidative-phosphorylation-363-11589/>

Annex B: Esquema cèl·lula procariota i cèl·lula eucariota

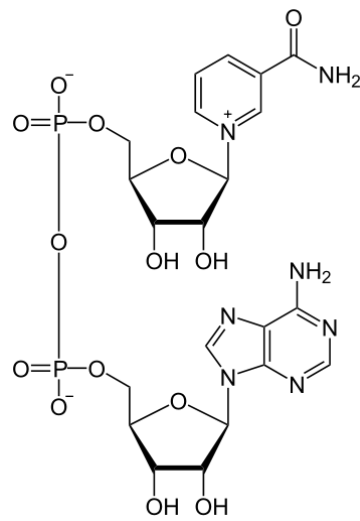
Una cèl·lula eucariota és aquella que constitueix els organismes eucariotes. Esta formada per l'estructura clàssica membrana-citoplasma-nucli. La característica pròpia de les cèl·lules eucariotes és que posseeixen un nucli amb membrana nuclear, i per tant, diferenciat del citoplasma. També tenen una sèrie d'òrgànuls complexos, com són els ribosomes, aparell de golgi, mitocondris, vacúols, lisosomes, reticle endoplasmàtic, peroxisoma i els cloroplasts.

A la imatge es pot veure clarament la diferència entre una cèl·lula procariota (a la dreta) i una cèl·lula eucariota (a la esquerra de la imatge).

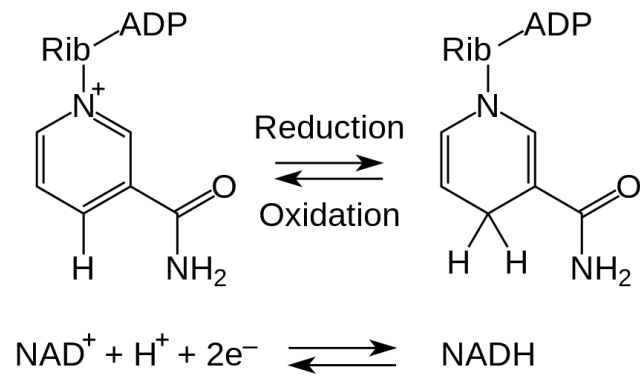


Font. <https://www.quora.com/What-are-prokaryotes-and-eukaryotes>

Annex C. Esquema NAD



Annex D. Pas de NAD a NADH



Annex E. Taula de les pressions mesurades cada dia al laboratori (bars)

nº botella	sample	dia 1	dia 2	dia 3	dia 4	dia 5
1	inoculum	0	0,17	0,08		
2	inoculum	0	0,17	0,09		
3	inoculum	0	0,16	0,09		
4	inoculum + treated sarment 5g	0	0,41	0,36		
5	inoculum + treated sarment 5g	0	0,41	0,46		
6	inoculum + treated sarment 5g	0	0,38	0,30		
7	inoculum + treated sarment 10g	0	0,46	0,41		
8	inoculum + treated sarment 10g	0	0,38	0,40		
9	inoculum + treated sarment 10g	0	0,52	0,46		
10	inoculum + treated sarment 1g	0	0,23	0,15		
11	inoculum + treated sarment 1g	0	0,22	0,14		
12	inoculum + treated sarment 1g	0		0,20		
13	inoculum + non treated sarment 1g	0	0,58	0,63	0,39	0,70
14	inoculum + non treated sarment 1g	0	0,59	0,68	0,42	0,73
15	inoculum + non treated sarment 1g	0	0,5	0,43	0,29	0,52
16	inoculum + non treated sarment 5g	0	1,15	1,11	0,83	1,70
17	inoculum + non treated sarment 5g	0	1,22	1,12	0,84	1,93
18	inoculum + non treated sarment 5g	0	1,37	1,03	0,81	1,68
19	inoculum + non treated sarment 10g	0	1,92	1,12	0,59	0,96
20	inoculum + non treated sarment 10g	0	2,02	1,12	0,52	0,93
21	inoculum + non treated sarment 10g	0				
22	inoculum + purí 20g	0	0,3	0,24		
23	inoculum + purí 20g	0	0,26	0,23		
24	inoculum + purí 20g	0	0,27	0,25		
25	inoculum + glucosa 0,5g	0	0,37	1,72	0,84	0,89
26	inoculum + glucosa 0,5g	0	0,44	1,75	0,68	1,08
27	inoculum + glucosa 0,5g	0	0,43	1,77	0,82	1,52
28	inoculum + purí + sarment 1g	0	0,33	0,21		
29	inoculum + purí + sarment 1g	0	0,3	0,19		
30	inoculum + purí + sarment 1g	0	0,34	0,20		
31	inoculum + purí + sarment 0,7g	0	0,3	0,30		
32	inoculum + purí + sarment 0,7g	0	0,27	0,31		
33	inoculum + purí + sarment 0,7g	0	0,29	0,29		
34	inoculum + purí + sarment 0,45g	0	0,28	0,27		
35	inoculum + purí + sarment 0,45g	0	0,3	0,30		
36	inoculum + purí + sarment 0,45g	0	0,3	0,32		

A l'inici d'aquest període va explotar l'ampolla numero 21, ja que es va produir un excés de biogàs i la pressió va ser superior a 2 atm. Durant la resta de l'experiment aquest pot no es té en conte. El segon dia registrat, es va observar que l'ampolla numero 12 no tancava hermèticament. Així doncs, es va substituir el tap i es va menysprear el valor obtingut de la pressió mesurada del dia dos, ja que era excessivament baix a causa de la fuga de gas.

Les caselles marcades de color vermell fan referència a les ampolles afectades explicades anteriorment.

nº botella	sample	dia 6	dia 7	dia 10	dia 13	dia 16	dia 17	dia 20
1	inoculum	0,23		0,22	0,13	0,12	0,06	0,11
2	inoculum	0,21		0,20	0,10	0,12	0,05	0,11
3	inoculum	0,20		0,20	0,11	0,11	0,05	0,11
4	inoculum + treated sarment 5g	0,74		0,64	0,39	0,38	0,18	0,35
5	inoculum + treated sarment 5g	0,71		0,58	0,37	0,34	0,22	0,34
6	inoculum + treated sarment 5g	0,72		0,63	0,40	0,35	0,17	0,32
7	inoculum + treated sarment 10g	1,03	0,45	0,62	0,44	0,37	0,19	0,26
8	inoculum + treated sarment 10g	1,29	0,50	0,67	0,48	0,40	0,21	0,25
9	inoculum + treated sarment 10g	1,03	0,42	0,64	0,47	0,37	0,19	0,26
10	inoculum + treated sarment 1g	0,35		0,35	0,22	0,22	0,09	0,19
11	inoculum + treated sarment 1g	0,31		0,32	0,19	0,20	0,08	0,16
12	inoculum + treated sarment 1g	0,43		0,37	0,22	0,21	0,23	0,18
13	inoculum + non treated sarment 1g	0,83	0,33	0,49	0,53	0,51	0,25	0,47
14	inoculum + non treated sarment 1g	0,87	0,35	0,51	0,56	0,58	0,25	0,48
15	inoculum + non treated sarment 1g	0,63	0,29	0,41	0,46	0,44	0,23	0,39
16	inoculum + non treated sarment 5g	0,15	0,71	0,26	0,93	1,00	0,57	1,25
17	inoculum + non treated sarment 5g	0,14	0,91	1,23	1,16	0,97	0,55	1,25
18	inoculum + non treated sarment 5g	0,35	0,56	1,25	1,19	1,07	0,57	1,26
19	inoculum + non treated sarment 10g	0,44	0,60	1,82	1,47	1,85	0,45	0,78
20	inoculum + non treated sarment 10g	1,10	0,54	1,07	1,97	1,68	0,41	0,82
21	inoculum + non treated sarment 10g							
22	inoculum + purí 20g	0,34		0,27	0,13	0,12	0,05	0,05
23	inoculum + purí 20g	0,35		0,26	0,13	0,11	0,05	0,07
24	inoculum + purí 20g	0,36		0,28	0,14	0,01	0,04	0,05
25	inoculum + glucosa 0,5g	1,20	0,45	1,32	0,88	0,32	0,14	0,06
26	inoculum + glucosa 0,5g	0,99	0,65	1,27	0,98	0,41	0,15	0,13
27	inoculum + glucosa 0,5g	1,72	0,74	1,06	0,78	0,32	0,14	0,16
28	inoculum + purí + sarment 1g	0,34		0,32	0,15	0,17	0,19	0,12
29	inoculum + purí + sarment 1g	0,33		0,30	0,14	0,14	0,06	0,11
30	inoculum + purí + sarment 1g	0,35		0,31	0,15	0,15	0,07	0,12
31	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,44		0,35	0,20	0,15	0,08	0,08
32	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,43		0,33	0,19	0,15	0,07	0,08
33	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,40		0,17	0,13	0,14	0,07	0,10
34	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,50		0,35	0,21	0,15	0,06	0,07
35	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,50		0,39	0,21	0,16	0,07	0,10
36	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,53		0,39	0,23	0,16	0,08	0,09

nº botella	sample	dia 22	dia 24	dia 27	dia 29	dia 31	dia 34	dia 36
1	inoculum	0,03	0,03	0,02	0	0,023	0	0
2	inoculum	0,04	0,06	0,04	0	0,01	0,03	0
3	inoculum	0,05	0,04	0,04	0,01	0	0,01	0
4	inoculum + treated sarment 5g	0,73	0,17	0,16	0,16	0,16	0,24	0,16
5	inoculum + treated sarment 5g	0,83	0,09	0,29	0,20	0,25	0,33	0,2
6	inoculum + treated sarment 5g	0,73	0,18	0,21	0,18	0,14	0,24	0,14
7	inoculum + treated sarment 10g	0,08	0,15	0,18	0,15	0,15	0,23	0,11
8	inoculum + treated sarment 10g	0,11	0,14	0,17	0,21	0,13	0,26	0,14
9	inoculum + treated sarment 10g	0,12	0,06	0,21	0,19	0,16	0,24	0,15
10	inoculum + treated sarment 1g	0,04	0,03	0,06	0,09	0,08	0,1	0,12
11	inoculum + treated sarment 1g	0,07	0,08	0,11	0,43	0,12	0,13	0
12	inoculum + treated sarment 1g	0,05	0,03	0,10	0,05	0,7	0,09	0
13	inoculum + non treated sarment 1g	0,15	0,09	0,31	0,20	0,2	0,25	0,16
14	inoculum + non treated sarment 1g	0,15	0,07	0,30	0,30	0,2	0,25	0,13
15	inoculum + non treated sarment 1g	0,21	0,19	0,25	0,21	0,15	0,24	0,09
16	inoculum + non treated sarment 5g	0,80	0,87	1,12	0,84	0,75	0,93	0,62
17	inoculum + non treated sarment 5g	0,85	0,82	1,21	0,74	0,75	1,06	0,72
18	inoculum + non treated sarment 5g	0,82	0,90	1,12	0,71	0,71	0,91	0,55
19	inoculum + non treated sarment 10g	0,52	0,61	0,87	0,81	0,82	1,65	0,58
20	inoculum + non treated sarment 10g	0,68	0,53	1,04	0,76	0,72	1,38	0,5
21	inoculum + non treated sarment 10g							
22	inoculum + purí 20g	0,05	0,03	0,02	0,06	0,03	0,05	0,08
23	inoculum + purí 20g	0,02	0,04	0,03	0,07	0,04	0,03	0,04
24	inoculum + purí 20g	0,02	0,04	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00
25	inoculum + glucosa 0,5g	0,01	0,14	0,05		0,04	0,7	0,02
26	inoculum + glucosa 0,5g	0,05		0,04		0,03	0,12	0,1
27	inoculum + glucosa 0,5g	0,02	0,06	0,04		0,05	0,1	0
28	inoculum + purí + sarment 1g	0,02	0,05	0,05		0,06	0,07	0
29	inoculum + purí + sarment 1g	0,06	0,06	0,05		0,05	0,1	0,07
30	inoculum + purí + sarment 1g	0,06	0,09	0,00		0,05	0,1	0,05
31	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,06	0,11	0,06		0	0,05	0,08
32	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,02	0,01	0,07		0	0,02	0,08
33	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,03	0,01	0,04		0,02	0,02	0,07
34	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,05	0,04	0,05		0,02	0,03	0,1
35	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,03	0,04	0,05		0,04	0,03	0,09
36	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,03	0,04	0,02		0,07	0,06	0,11

n° botella	sample	dia 38	dia 41	dia 44	dia 49	dia 51
1	inoculum	0	0,01	0,024	0,06	
2	inoculum	0,016	0,01	0,16	0,04	
3	inoculum	0	0	0,01	0,025	
4	inoculum + treated sarment 5g	0,19	0,29	0,19	0,34	0,18
5	inoculum + treated sarment 5g	0,24	0,23	0,24	0,38	0,18
6	inoculum + treated sarment 5g	0,27	0,28	0,23	0,39	0,19
7	inoculum + treated sarment 10g	0,33	0,27	0,2	0,42	0,22
8	inoculum + treated sarment 10g	0,30	0,29	0,2	0,45	0,21
9	inoculum + treated sarment 10g	0,26	0,28	0,15	0,4	0,2
10	inoculum + treated sarment 1g	0,03	0,09	0,05	0,14	0,07
11	inoculum + treated sarment 1g	0,03	0,09	0,08	0,15	0,07
12	inoculum + treated sarment 1g	0,02	0,09	0,09	0,13	0,1
13	inoculum + non treated sarment 1g	0,16	0,18	0,16	0,28	0,18
14	inoculum + non treated sarment 1g	0,14	0,17	0,17	0,29	0,19
15	inoculum + non treated sarment 1g	0,70	0,17	0,14	0,27	0
16	inoculum + non treated sarment 5g	0,57	0,67	0,52	0,81	0,42
17	inoculum + non treated sarment 5g	0,67	0,78	0,67	0,89	0,48
18	inoculum + non treated sarment 5g	0,52	1,05	0,67	0,92	0,5
19	inoculum + non treated sarment 10g	0,60	0,71	0,77	0,45	0,75
20	inoculum + non treated sarment 10g	0,37	0,56	0,6	0,96	0,54
21	inoculum + non treated sarment 10g					
22	inoculum + purí 20g	0,00	0,03	0,02	0,09	0,03
23	inoculum + purí 20g	0,02	0,01	0,02	0,09	0,02
24	inoculum + purí 20g	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00
25	inoculum + glucosa 0,5g	0,07	0,08	0,02		
26	inoculum + glucosa 0,5g	0,07	0,04	0,02		
27	inoculum + glucosa 0,5g	0,03	0,02	0,02		
28	inoculum + purí + sarment 1g	0,00	0,06	0,02	0,12	0,08
29	inoculum + purí + sarment 1g	0,00	0,04	0,05	0,15	0,08
30	inoculum + purí + sarment 1g	0,05	0,05	0,04	0,11	0,05
31	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,00	0,05	0,01	0,11	0,05
32	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,01	0,06	0	0	0
33	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,04	0,06	0	0,1	0,05
34	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,07	0,03	0	0	0
35	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,08	0,04	0,02	0,11	0,06
36	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,10	0,03	0	0,06	0,04

Annex F. pressions acumulades de cada dia mesurat (bars)

nº botella	muestra	dia 1	dia 2	dia 3	dia 4	dia 5
1	inoculum	0	0,17	0,25	0,25	0,25
2	inoculum	0	0,17	0,26	0,26	0,26
3	inoculum	0	0,16	0,25	0,25	0,25
4	inoculum + treated sarment 5g	0	0,41	0,77	0,77	0,77
5	inoculum + treated sarment 5g	0	0,41	0,87	0,87	0,87
6	inoculum + treated sarment 5g	0	0,38	0,68	0,68	0,68
7	inoculum + treated sarment 10g	0	0,46	0,87	0,87	0,87
8	inoculum + treated sarment 10g	0	0,38	0,78	0,78	0,78
9	inoculum + treated sarment 10g	0	0,52	0,98	0,98	0,98
10	inoculum + treated sarment 1g	0	0,23	0,38	0,38	0,38
11	inoculum + treated sarment 1g	0	0,22	0,36	0,36	0,36
12	inoculum + treated sarment 1g	0	0,00	0,20	0,20	0,20
13	inoculum + non treated sarment 1g	0	0,58	1,21	1,60	2,30
14	inoculum + non treated sarment 1g	0	0,59	1,27	1,69	2,42
15	inoculum + non treated sarment 1g	0	0,50	0,93	1,22	1,74
16	inoculum + non treated sarment 5g	0	1,15	2,26	3,09	4,79
17	inoculum + non treated sarment 5g	0	1,22	2,34	3,18	5,11
18	inoculum + non treated sarment 5g	0	1,37	2,40	3,21	4,89
19	inoculum + non treated sarment 10g	0	1,92	3,04	3,63	4,59
20	inoculum + non treated sarment 10g	0	2,02	3,14	3,66	4,59
21	inoculum + non treated sarment 10g	0	0,00	0,00	0,00	0,00
22	inoculum + purí 20g	0	0,30	0,54	0,54	0,54
23	inoculum + purí 20g	0	0,26	0,49	0,49	0,49
24	inoculum + purí 20g	0	0,27	0,52	0,52	0,52
25	inoculum + glucosa 0,5g	0	0,37	2,09	2,93	3,82
26	inoculum + glucosa 0,5g	0	0,44	2,19	2,87	3,95
27	inoculum + glucosa 0,5g	0	0,43	2,20	3,02	4,54
28	inoculum + purí + sarment 1g	0	0,33	0,54	0,54	0,54
29	inoculum + purí + sarment 1g	0	0,30	0,49	0,49	0,49
30	inoculum + purí + sarment 1g	0	0,34	0,54	0,54	0,54
31	inoculum + purí + sarment 0,7g	0	0,30	0,60	0,60	0,60
32	inoculum + purí + sarment 0,7g	0	0,27	0,58	0,58	0,58
33	inoculum + purí + sarment 0,7g	0	0,29	0,58	0,58	0,58
34	inoculum + purí + sarment 0,45g	0	0,28	0,55	0,55	0,55
35	inoculum + purí + sarment 0,45g	0	0,30	0,60	0,60	0,60
36	inoculum + purí + sarment 0,45g	0	0,30	0,62	0,62	0,62

En aquesta taula es representen les pressions acumulades en bars, de tal manera que la pressió del dia tres és la suma de la pressió mesurada el dia 1 i el dia 2, així successivament.

Cal tenir en compte que només hem adjuntat els dies 1,2,3,4 i 5 respecte els 50 dies que va durar l'experiment.

Annex G. Pressions acumulades mitjanes de cada grup format per tres ampolles (bars)

nº botella	muestra	dia 1	dia 2	dia 3	dia 4	dia 5
1-3	inoculum	0,00	0,17	0,25	0,25	0,25
4-6	inoculum + treated sarment 5g	0,00	0,40	0,43	0,43	0,43
7-9	inoculum + treated sarment 10g	0,00	0,45	0,88	0,88	0,88
10-12	inoculum + treated sarment 1g	0,00	0,15	0,31	0,31	0,31
13-15	inoculum + non treated sarment 1g	0,00	0,56	1,14	1,50	2,15
16-18	inoculum + non treated sarment 5g	0,00	1,25	2,33	3,16	4,93
19-21	inoculum + non treated sarment 10g	0,00	1,31	2,06	2,43	3,06
22-24	inoculum + purí 20g	0,00	0,28	0,52	0,52	0,52
25-27	inoculum + glucosa 0,5g	0,00	0,41	2,16	2,94	4,10
28-30	inoculum + purí + sarment 1g	0,00	0,32	0,52	0,52	0,52
31-33	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,00	0,29	0,59	0,59	0,59
34-36	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,00	0,29	0,59	0,59	0,59

En aquesta taula s'han calculat les mitjanes de les pressions acumulades que constituïen cada grup de tres ampolles. S'ha fet realitzant el següent càlcul:

$$\frac{\text{valor pressió mesurada a l'ampolla 1} + \text{valor pressió mesurada a l'ampolla 2} + \text{valor pressió mesurada a l'ampolla 3}}{3}$$

Annex H. Biogàs acumulat a cada ampolla o BMP

$$\text{cumulated biogas (l) } V_{37^{\circ}C,n} = \frac{[B - (W/BD_w)] \times \sum_{i=0}^n P_i}{1.0132502}$$

nº botella	muestra	dia 1	dia 2	dia 3	dia 4	dia 5
1	inoculum	0,000	0,008	0,011	0,011	0,011
2	inoculum	0,000	0,008	0,012	0,012	0,012
3	inoculum	0,000	0,007	0,011	0,011	0,011
4	inoculum + treated sarment 5g	0,000	0,018	0,034	0,034	0,034
5	inoculum + treated sarment 5g	0,000	0,018	0,039	0,039	0,039
6	inoculum + treated sarment 5g	0,000	0,017	0,030	0,030	0,030
7	inoculum + treated sarment 10g	0,000	0,020	0,039	0,039	0,039
8	inoculum + treated sarment 10g	0,000	0,017	0,035	0,035	0,035
9	inoculum + treated sarment 10g	0,000	0,023	0,044	0,044	0,044
10	inoculum + treated sarment 1g	0,000	0,010	0,017	0,017	0,017
11	inoculum + treated sarment 1g	0,000	0,010	0,016	0,016	0,016
12	inoculum + treated sarment 1g	0,000	0,000	0,009	0,009	0,009
13	inoculum + non treated sarment 1g	0,000	0,026	0,054	0,071	0,102
14	inoculum + non treated sarment 1g	0,000	0,026	0,056	0,075	0,107
15	inoculum + non treated sarment 1g	0,000	0,022	0,041	0,054	0,077
16	inoculum + non treated sarment 5g	0,000	0,051	0,100	0,137	0,213
17	inoculum + non treated sarment 5g	0,000	0,054	0,104	0,141	0,227
18	inoculum + non treated sarment 5g	0,000	0,061	0,107	0,143	0,217
19	inoculum + non treated sarment 10g	0,000	0,085	0,135	0,161	0,204
20	inoculum + non treated sarment 10g	0,000	0,090	0,139	0,163	0,204
21	inoculum + non treated sarment 10g	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
22	inoculum + purí 20g	0,000	0,013	0,024	0,024	0,024
23	inoculum + purí 20g	0,000	0,012	0,022	0,022	0,022
24	inoculum + purí 20g	0,000	0,012	0,023	0,023	0,023
25	inoculum + glucosa 0,5g	0,000	0,016	0,093	0,130	0,170
26	inoculum + glucosa 0,5g	0,000	0,020	0,097	0,127	0,175
27	inoculum + glucosa 0,5g	0,000	0,019	0,098	0,134	0,202

28	inoculum + purí + sarment 1g	0,000	0,015	0,024	0,024	0,024
29	inoculum + purí + sarment 1g	0,000	0,013	0,022	0,022	0,022
30	inoculum + purí + sarment 1g	0,000	0,015	0,024	0,024	0,024
31	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,000	0,013	0,027	0,027	0,027
32	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,000	0,012	0,026	0,026	0,026
33	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,000	0,013	0,026	0,026	0,026
34	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,000	0,012	0,024	0,024	0,024
35	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,000	0,013	0,027	0,027	0,027
36	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,000	0,013	0,028	0,028	0,028

En aquesta taula s'han transformat a litres els valor de pressió obtinguts en l'annex G i s'han convertit a condicions normals de pressió, utilitzant les equacions que es troben a l'inici d'aquesta mateixa taula.

Annex I. Volum net de biogàs produït (resta del biogàs produït per l'inòcul)

$$V_{net\ 37^{\circ}C,n} = [V_{37^{\circ}C,n}] - \left[\left(\sum_{i=0}^3 V_{37^{\circ}C\ inoc,i} / W_{inoc,i} \right) / 3 \right] \times S_{inoc}$$

average biogas production (L/gramo de inoculo)

inoculum	0,0000000	0,0000925	0,0001406	0,0001406	0,0001406
-----------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

nº botella	muestra	dia 1	dia 2	dia 3	dia 4	dia 5
4	inoculum + treated sarment 5g	0,000	0,011	0,024	0,024	0,024
5	inoculum + treated sarment 5g	0,000	0,011	0,028	0,028	0,028
6	inoculum + treated sarment 5g	0,000	0,010	0,020	0,020	0,020
7	inoculum + treated sarment 10g	0,000	0,014	0,029	0,029	0,029
8	inoculum + treated sarment 10g	0,000	0,010	0,025	0,025	0,025
9	inoculum + treated sarment 10g	0,000	0,017	0,034	0,034	0,034
10	inoculum + treated sarment 1g	0,000	0,003	0,006	0,006	0,006
11	inoculum + treated sarment 1g	0,000	0,002	0,005	0,005	0,005
12	inoculum + treated sarment 1g	0,000	-0,007	-0,002	-0,002	-0,002
13	inoculum + non treated sarment 1g	0,000	0,018	0,043	0,060	0,091
14	inoculum + non treated sarment 1g	0,000	0,019	0,045	0,064	0,096
15	inoculum + non treated sarment 1g	0,000	0,015	0,030	0,043	0,066
16	inoculum + non treated sarment 5g	0,000	0,044	0,090	0,127	0,202
17	inoculum + non treated sarment 5g	0,000	0,047	0,093	0,131	0,216
18	inoculum + non treated sarment 5g	0,000	0,054	0,096	0,132	0,207
19	inoculum + non treated sarment 10g	0,000	0,079	0,125	0,151	0,194
20	inoculum + non treated sarment 10g	0,000	0,083	0,130	0,153	0,194
21	inoculum + non treated sarment 10g	0,000	-0,006	-0,010	-0,010	-0,010
22	inoculum + purí 20g	0,000	0,008	0,016	0,016	0,016
23	inoculum + purí 20g	0,000	0,006	0,013	0,013	0,013
24	inoculum + purí 20g	0,000	0,006	0,015	0,015	0,015
25	inoculum + glucosa 0,5g	0,000	0,009	0,082	0,119	0,158
26	inoculum + glucosa 0,5g	0,000	0,012	0,086	0,116	0,164
27	inoculum + glucosa 0,5g	0,000	0,012	0,087	0,123	0,190
28	inoculum + purí + sarment 1g	0,000	0,007	0,013	0,013	0,013
29	inoculum + purí + sarment 1g	0,000	0,006	0,011	0,011	0,011
30	inoculum + purí + sarment 1g	0,000	0,008	0,013	0,013	0,013
31	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,000	0,006	0,015	0,015	0,015

32	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,000	0,005	0,015	0,015	0,015
33	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,000	0,006	0,015	0,015	0,015
34	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,000	0,005	0,013	0,013	0,013
35	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,000	0,006	0,015	0,015	0,015
36	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,000	0,006	0,016	0,016	0,016

En aquest annex s'ha calculat el biogàs produït per l'inòcul i s'ha restat el valor obtingut a totes les ampolles, de tal manera que solament es té present el biogàs format pel sarment i el purí. La franja vermella fa referència al biogàs produït per l'inòcul, i en la taula s'ha efectuat la resta.

Annex J. Biogàs net acumulat a 0°C unitats: L biogàs/kg SV total

$$GB_n(BMP_n) = \left[\left(V_{net\ 37^\circ C, n} / Z \right) \times \frac{273.15}{310.15} \right]$$

nº botella	muestra	dia 1	dia 2	dia 3	dia 4	dia 5
4	inoculum + treated sarment 5g	0,00	2,24	4,70	4,70	4,70
5	inoculum + treated sarment 5g	0,00	2,24	5,58	5,58	5,58
6	inoculum + treated sarment 5g	0,00	1,97	3,90	3,90	3,90
7	inoculum + treated sarment 10g	0,00	1,39	2,86	2,86	2,86
8	inoculum + treated sarment 10g	0,00	1,03	2,46	2,46	2,46
9	inoculum + treated sarment 10g	0,00	1,65	3,35	3,35	3,35
10	inoculum + treated sarment 1g	0,00	2,89	5,73	5,73	5,73
11	inoculum + treated sarment 1g	0,00	2,45	4,85	4,85	4,85
12	inoculum + treated sarment 1g	0,00	-7,26	-2,21	-2,21	-2,21
13	inoculum + non treated sarment 1g	0,00	18,33	42,35	59,56	90,44
14	inoculum + non treated sarment 1g	0,00	18,77	45,00	63,53	95,74
15	inoculum + non treated sarment 1g	0,00	14,80	30,00	42,79	65,73
16	inoculum + non treated sarment 5g	0,00	8,77	17,84	25,17	40,17
17	inoculum + non treated sarment 5g	0,00	9,39	18,55	25,96	42,99
18	inoculum + non treated sarment 5g	0,00	10,71	19,08	26,23	41,05
19	inoculum + non treated sarment 10g	0,00	7,83	12,43	15,04	19,27
20	inoculum + non treated sarment 10g	0,00	8,27	12,88	15,17	19,27
21	inoculum + non treated sarment 10g	0,00	-0,64	-0,98	-0,98	-0,98
22	inoculum + purí 20g	0,00	16,22	32,44	32,44	32,44
23	inoculum + purí 20g	0,00	12,51	27,81	27,81	27,81
24	inoculum + purí 20g	0,00	13,44	30,59	30,59	30,59
25	inoculum + glucosa 0,5g	0,00	16,65	149,79	218,24	290,76
26	inoculum + glucosa 0,5g	0,00	22,36	157,94	213,35	301,36
27	inoculum + glucosa 0,5g	0,00	21,54	158,76	225,57	349,43
28	inoculum + purí + sarment 1g	0,00	6,53	11,44	11,44	11,44
29	inoculum + purí + sarment 1g	0,00	5,34	9,47	9,47	9,47
30	inoculum + purí + sarment 1g	0,00	6,92	11,44	11,44	11,44
31	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,00	6,76	17,49	17,49	17,49
32	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,00	5,25	16,49	16,49	16,49
33	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,00	6,26	16,49	16,49	16,49
34	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,00	7,46	19,46	19,46	19,46
35	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,00	8,77	22,73	22,73	22,73
36	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,00	8,77	24,04	24,04	24,04

En aquesta taula s'han convertit els valors de volum de cada ampolla a condicions normals de temperatura, , utilitzant l'equació que es troba a l'inici d'aquesta mateixa taula.

Annex K. Pressions acumulades mitjanes (bars)

nº botella		1	2	3	4	5
4-6	inoculum + treated sarment 5g	0,00	2,15	4,73	4,73	4,73
7-9	inoculum + treated sarment 10g	0,00	1,36	4,12	4,12	4,12
10-12	inoculum + treated sarment 1g	0,00	2,67	5,29	5,29	5,29
13-15	inoculum + non treated sarment 1g	0,00	17,30	39,11	55,29	83,97
16-18	inoculum + non treated sarment 5g	0,00	9,62	18,49	25,79	41,40
19-21	inoculum + non treated sarment 10g	0,00	8,05	12,66	15,10	19,27
22-24	inoculum + purí 20g	0,00	14,06	30,28	30,28	30,28
25-27	inoculum + glucosa 0,5g	0,00	20,18	155,50	219,06	313,85
28-30	inoculum + purí + sarment 1g	0,00	6,27	10,78	10,78	10,78
31-33	inoculum + purí + sarment 0,7g	0,00	6,09	16,83	16,83	16,83
33-36	inoculum + purí + sarment 0,45g	0,00	8,33	22,08	22,08	22,08

En aquesta taula s'han calculat les mitjanes dels volums acumulats que constituïen cada grup de tres ampolles. S'ha fet realitzant el següent càlcul:

$$\frac{\text{valor volum mesurat a l'ampolla 1} + \text{valor volum mesurat a l'ampolla 2} + \text{valor volum mesurat a l'ampolla 3}}{3}$$

Annex L. Valors del període latència (h), la producció màxima de biogàs (a) i la normalització (b) del sarment tractat.

Equation: User-Defined, gomperz_biogas

$$f=a*\exp(-\exp(b*2.71/a*(h-x)+1))$$

R	Rsqr	Adj Rsqr	Standard Error of Estimate
0.9771	0.9548	0.9529	3.9657

	Coefficient	Std. Error	t	P
a	59.3715	2.5325	23.4443	<0.0001
h	2.4096	1.0807	2.2296	0.0304
b	1.6625	0.1143	14.5435	<0.0001

La lletra “h” fa referència al temps de latència de la producció de biogàs del sarment tractat, el qual es produeix a l'inici del procés de biodegradació. Aquest període es caracteritza per el seu baix rendiment.

La lletra “*b*” fa referència al període amb més rendiment en la producció de biogàs del sarment tractat.

lletra “*a*” fa referència al període en que la producció de biogàs del sarment tractat es manté constant ja que els microorganismes ja han degradat tota la matèria orgànica disponible.

Annex M. Valors del període latència (*h*), la producció màxima de biogàs (*a*) i la normalització (*b*) del sarment no tractat.

Equation: User-Defined, gomperz_biogas

$$f=a*\exp(-\exp(b*2.71/a*(h-x)+1))$$

R	Rsqr	Adj Rsqr	Standard Error of Estimate		
0.9760	0.9525	0.9505	16.7414		
		Coefficient	Std. Error	t	P
a	259.6882	4.5057	57.6351	<0.0001	
h	2.9348E-008	0.3085	9.5132E-008	1.0000	
b	11.0986	0.3767	29.4590	<0.0001	

La lletra “*h*” fa referència el temps de latència de la producció de biogàs del sarment no tractat, el qual es produeix a l’inici del procés de biodegradació. Aquest període es caracteritza per el seu baix rendiment.

La lletra “*b*” fa referència el període amb més rendiment en la producció de biogàs del sarment no tractat.

La lletra “*a*” fa referència el període en que la producció de biogàs del sarment no tractat es manté constant ja que els microorganismes ja han degradat tota la matèria orgànica disponible.

Annex N. Visió general de les instal·lacions de la planta de biogàs de selecció Deseuras.

