



# **La biomassa vegetal:** un nou enfocament

**Autor:** Doctor

**Curs:** 2016/2017

# ÍNDEX

---

ÍNDEX.....	1
1.INTRODUCCIÓ .....	3
1.1 Estructura del treball.....	4
1.2 Motivacions .....	4
1.3 Objectius .....	4
1.4 Metodologia .....	5
1.5 Dificultats.....	5
2.PART TEÒRICA.....	7
2.1 La biomassa vegetal.....	8
2.2 Composició de la biomassa.....	8
2.2.1 Cel·lulosa .....	9
2.2.2 Hemicel·lulosa .....	10
2.2.3 Lignina.....	11
2.2.4 Extractius.....	13
2.3 Obtenció de materials a partir dels components de la biomassa .....	14
2.3.1 Cel·lulosa .....	14
2.3.2 Hemicel·lulosa .....	18
2.3.3 Lignina.....	19
3. PART PRÀCTICA.....	20
3.1 Objectius .....	21
3.2 Metodologia.....	21
3.3 Fonaments teòrics de la part pràctica.....	23
3.3.1 Extracció d'hemicel·lulosa amb sosa.....	23
3.3.2 Extracció de cel·lulosa amb àcid sulfúric.....	24
3.3.3 Extracció de lignina amb peròxid d'hidrogen .....	26
3.4 Procediments .....	27
3.4.1 Preparació de la mostra .....	27
3.4.2 Extracció de la humitat .....	27
3.4.3 Extracció dels extractius amb acetona .....	28

## La biomassa vegetal: un nou enfocament

3.4.4 Extracció de la hemicel·lulosa amb sosa.....	30
3.4.5 Extracció de la cel·lulosa amb àcid sulfúric (procediment 1) .....	33
3.4.6 Extracció de la lignina amb peròxid d'hidrogen (procediment 2) ...	35
3.5 Resultats .....	36
3.6 Interpretació dels resultats .....	37
3.6.1 Extractius.....	37
3.6.2 Hemicel·lulosa .....	37
3.6.3 Cel·lulosa i lignina (procediment 1) .....	39
3.6.4 Cel·lulosa i lignina (procediment 2) .....	40
4. CONCLUSIONS .....	43
5. BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA .....	45
6. AGRAÏMENTS.....	48
ANNEXOS .....	51

# 1.INTRODUCCIÓ

---

## 1.1 Estructura del treball

---

El treball consta de tres parts. La primera és una introducció, on explico l'objectiu del treball, les motivacions, la metodologia emprada i les dificultats. La segona és una part teòrica, on explico quins són els principals components de la biomassa vegetal. La tercera i última part és una pràctica realitzada als laboratoris d'una universitat. Aquesta pràctica consisteix a separar les diverses fraccions de biomassa vegetal d'una mostra, en el nostre cas, d'una closca de nou. Finalment, en els annexos, es troba informació complementària i el glossari. Al llarg del treball apareixen paraules específiques del món de la química. Per fer el treball més entenedor, aquestes paraules estan subratllades i explicades en el glossari (*Annex 8*).

## 1.2 Motivacions

---

La motivació per fer aquest treball sorgeix del meu interès pel món de la ciència. Des de petit he sigut un noi molt curiós i m'ha interessat saber el perquè de les coses que passen al meu voltant. Quan vaig arribar a l'ESO i vaig començar l'assignatura de Física i Química a segon, vaig saber amb seguretat que allò era el que realment m'agradava. Quan vaig començar Batxillerat, vaig tenir l'oportunitat de participar en el programa d'estada a l'empresa que ofería l'institut. Aquest programa consistia a introduir l'alumne en el món laboral, i jo tenia bastant clar que volia entrar en una empresa relacionada amb el món de la química. Gràcies a la professora que portava aquest programa, vam aconseguir que una universitat m'agafés. Com la universitat disposava d'un laboratori ben equipat, vaig decidir que la millor part pràctica que podria fer seria en el mateix laboratori que m'oferia la universitat. Vaig decidir, doncs, que el meu treball de recerca tractaria d'allò que tractés el projecte al qual m'uniria.

## 1.3 Objectius

---

Quan sentim a parlar de biomassa, acostumem a pensar en els combustibles renovables o en l'obtenció d'energia, però no són aquests tots els usos que

podem fer de la biomassa vegetal. L'objectiu del treball és, en part, donar a conèixer l'aprofitament de la biomassa vegetal per a la fabricació d'altres components útils en la indústria o en el nostre dia a dia.

També és, en l'àmbit personal, comprendre com funciona un laboratori, viure l'experiència d'estar en ell i saber si realment és el món que m'agrada, a més de posar en pràctica tot el que he après a l'institut durant aquests anys.

Amb la part pràctica intento comprovar l'eficàcia de diversos mètodes de separar la biomassa, per tal de saber quina proporció de cada fracció de la biomassa hi ha en una substància determinada per a poder ser aprofitada a la indústria.

## 1.4 Metodologia

---

La part teòrica la vaig redactar alhora que la pràctica, ja que mentre feia la pràctica tenia molt de temps.

Per a la recerca d'informació de la part teòrica vaig consultar diverses pàgines web i vaig anar a diverses biblioteques de la zona per tal de trobar llibres sobre el tema que tracto, però com el tema de la biomassa més tractat generalment és el de l'obtenció d'energia, quasi no vaig trobar informació en els llibres.

La part pràctica, com ja he esmentat prèviament, la vaig realitzar en els laboratoris d'una universitat. Durant mig mes de juny i durant tot el mes de juliol. Els integrants del grup en el qual estava m'ajudaven en el laboratori sempre que ho necessitava i la persona a qui estava a càrrec seu, també m'ajudava si tenia algun dubte sobre la part teòrica.

## 1.5 Dificultats

---

Em va sorprendre que pràcticament tota la informació que trobava estava en anglès. Entendre la informació no va ser massa complicat ja que el meu nivell d'anglès és relativament bo i que la informació, com estava escrita en "llenguatge científic", era bastant clara i concisa.

## **La biomassa vegetal:** un nou enfocament

Una altra dificultat va ser el fet d'estar en un laboratori, ja que mai havia estat en un tan ben equipat. Per això coses bàsiques com treure el contingut d'un matràs les feia més difícil del que eren. Una altra dificultat va ser fer servir aparells que mai havia utilitzat abans.

També va suposar un repte el fet d'aprendre nocions bàsiques de bioquímica, ja que a 1r de Batxillerat vaig escollir l'optativa de Tecnologia Industrial en comptes de la de Biologia, pel que vaig investigar pel meu compte part del que s'havia donat en aquesta assignatura.

## 2.PART TEÒRICA

---



## 2.1 La biomassa vegetal

---

Segons la FAO (*Food and Agriculture Organization*), la biomassa vegetal es defineix com el conjunt de plantes terrestres i aquàtiques juntament amb els seus derivats, subproductes i residus produïts en la seva transformació. El terme de biomassa vegetal comprèn, per tant, a les matèries hidrocarbonades no fòssils en les quals, mitjançant el procés bàsic de la fotosíntesi, s'ha produït la reducció i la fixació del CO<sub>2</sub>.

Un dels principals usos de la biomassa (vegetal, animal i residual) és el de l'obtenció d'energia calorífica a partir de la seva combustió. Les noves tecnologies busquen proporcionar energies substitutives als combustibles fòssils gràcies a biocombustibles líquids, gasosos o sòlids. S'entén com a biocombustible aquell combustible d'origen biològic que no s'ha fossilitzat. Un dels grans avantatges dels biocombustibles vers els anomenats combustibles fòssils és que aquests primers són renovables. Tot i que els biocombustibles han estat utilitzats des de sempre per l'home (la palla i la llenya, per exemple), la tecnologia moderna busca aplicar tecnologies més eficaces i rentables, fent ús de nous materials, en l'obtenció i transformació de la biomassa en biocombustible apte per generar calor i/o energia elèctrica.

Però aquesta no és l'única aplicació de la biomassa. També pot ser utilitzada per a l'obtenció de diversos materials útils per a la indústria a partir de la separació dels seus components: la cel·lulosa, l'hemicel·lulosa i la lignina.

## 2.2 Composició de la biomassa

---

El principal component de la biomassa és l'anomenada lignocel·lulosa, formada per cel·lulosa, hemicel·lulosa i lignina. A més, també hi ha altres substàncies que anomenem extractius.

## 2.2.1 Cel·lulosa

La cel·lulosa és el component més abundant en la planta. Està formada per monòmers de D-glucopiranosas units amb enllaços 1→4. A més a més, també existeixen ponts d'hidrogen intramoleculars i intermoleculars (*figura 1*).

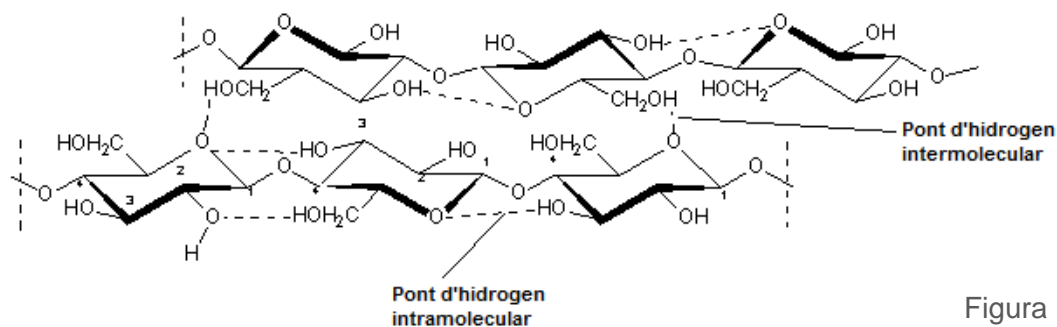


Figura 1\*

La cadena de cel·lulosa té forma plana i estreta, cosa que afavoreix més l'atracció molecular. Aquesta forma i els potents enllaços d'hidrogen donen lloc a la formació de microfibril·les. Les microfibril·les conformen fibril·les, i aquestes, a la vegada, fibres de cel·lulosa.

Hi ha diversos models que expliquen la composició interna de les microfibril·les. Un dels models explica que les microfibril·les estan compostes per dues regions diferenciades: una regió cristal·lina i una d'amorfa. La regió cristal·lina consisteix en una zona on les molècules de cel·lulosa estan altament ordenades, mentre que la regió amorfa (o paracristal·lina) té una estructura en la qual les molècules de cel·lulosa estan menys ordenades.

Els enllaços d'hidrogen i la seva estructura són factors que contribueixen al seu caràcter fibrós, a la seva força i a la seva insolubilitat.

La cel·lulosa és altament resistent a la hidròlisi. La zona amorfa tendeix a ser més fàcilment hidrolitzable amb àcids dissolts, mentre que per hidrolitzar la cel·lulosa completament cal una solució d'àcid concentrada.

\*Font: <http://www.monografias.com/trabajos44/celulosa-madera/celulosa-madera.shtml>  
(editada)

## 2.2.2 Hemicel·lulosa

L'hemicel·lulosa és un heteropolisacàrid que es va ramificant, constituït per pentoses com la D-xilopiranososa i la L-arabinofuranosa i per hexoses com la D-glucopiranososa, la D-mannopiranososa i la D-galactopiranososa.

Les principals diferències entre la cel·lulosa i l'hemicel·lulosa són que l'hemicel·lulosa no presenta una estructura ordenada cristal·lina, que el seu pes molecular és menor que el de la cel·lulosa i que està formada per altres components a més a més de la glucosa.

L'hemicel·lulosa es troba a les parets cel·lulars recobrint la superfície de les fibres de cel·lulosa, essent la base de les parets cel·lulars.

És hidrolitzable amb dissolucions alcalines.

Els tipus d'hemicel·lulosa més importants són:

- **Xilans**

Són un dels tipus d'hemicel·luloses més abundants a la natura.

Estan formades per D-xilopiranososes unides per enllaços 1→4 (*figura 2*).

Són homopolisacàrids que poden adoptar una estructura semblant a la cel·lulosa. Així, apareixen ponts d'hidrogen intramoleculars i intermoleculars. Tendeixen a formar estructures de sis cadenes. Moltes d'ells contenen petites cadenes radicals que consten d'una o dues unitats de sucre unides a la cadena principal. Aquests sucres poden variar segons l'espècie i poden incloure la L-arabinofuranosa, l'àcid D-glucurònic, la mannosa i altres pentoses i hexoses. A més, també poden contenir alguns àcids.

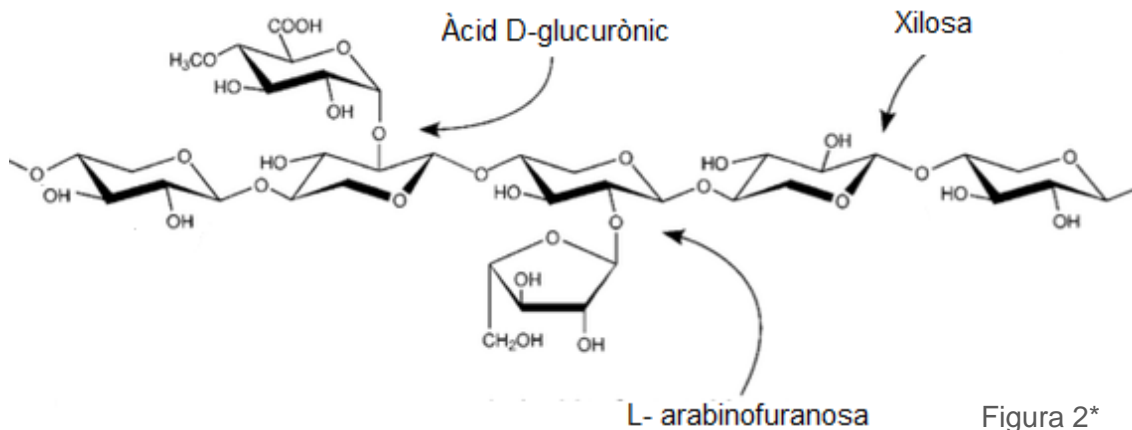
- **Mannans**

Són un tipus d'hemicel·lulosa molt abundant a la natura.

Estan formats principalment per una cadena lineal de D-mannopiranososes unides per enllaços 1→4.

## La biomassa vegetal: un nou enfocament

Un grup important dintre dels mannans són els galactoglucomannans, que estan formats per una cadena principal de D-glucopiranoses i D-mannopiranoses unides per enllaços 1→4. La cadena principal està complementada per D-galactopiranoses unides amb enllaços 1→6.



- **Arabinogalactans**

Són un tipus d'hemicel·lulosa trobat en menor proporció a la natura.

Estan formats per una cadena principal de D-galactopiranoses unides amb enllaços 1→3. Unides a la cadena principal, hi ha radicals units amb enllaços 1→6, com poden ser D-galactopiranoses o L-arabinofuranoses.

### 2.2.3 Lignina

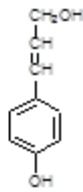
És un polímer tridimensional complex format per unitats de fenil-propà (compostos aromàtics). Les unitats de fenil-propà estan formades generalment o bé per alcohol 4-hidroxicinnamil (*figura 3*) o pels seus derivats 3-metoxilats (*figura 4*) i 3,5-metoxilats (*figura 5*) (*figura 6*).

La lignina té una estructura molt més petita que la cel·lulosa, amb 25 anells aromàtics per polímer.

Només es troba en plantes vasculars.

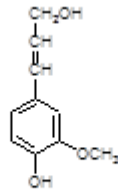
\*Font: <https://www.e-education.psu.edu/egee439/node/664> (editada)

## La biomassa vegetal: un nou enfocament



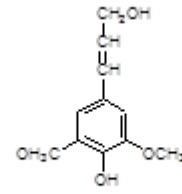
4-hidroxicinamil

Figura 3\*



3-O-metil-4-hidroxicinamil

Figura 4\*



3,5-O-dimetil-4-hidroxicinamil

Figura 5\*

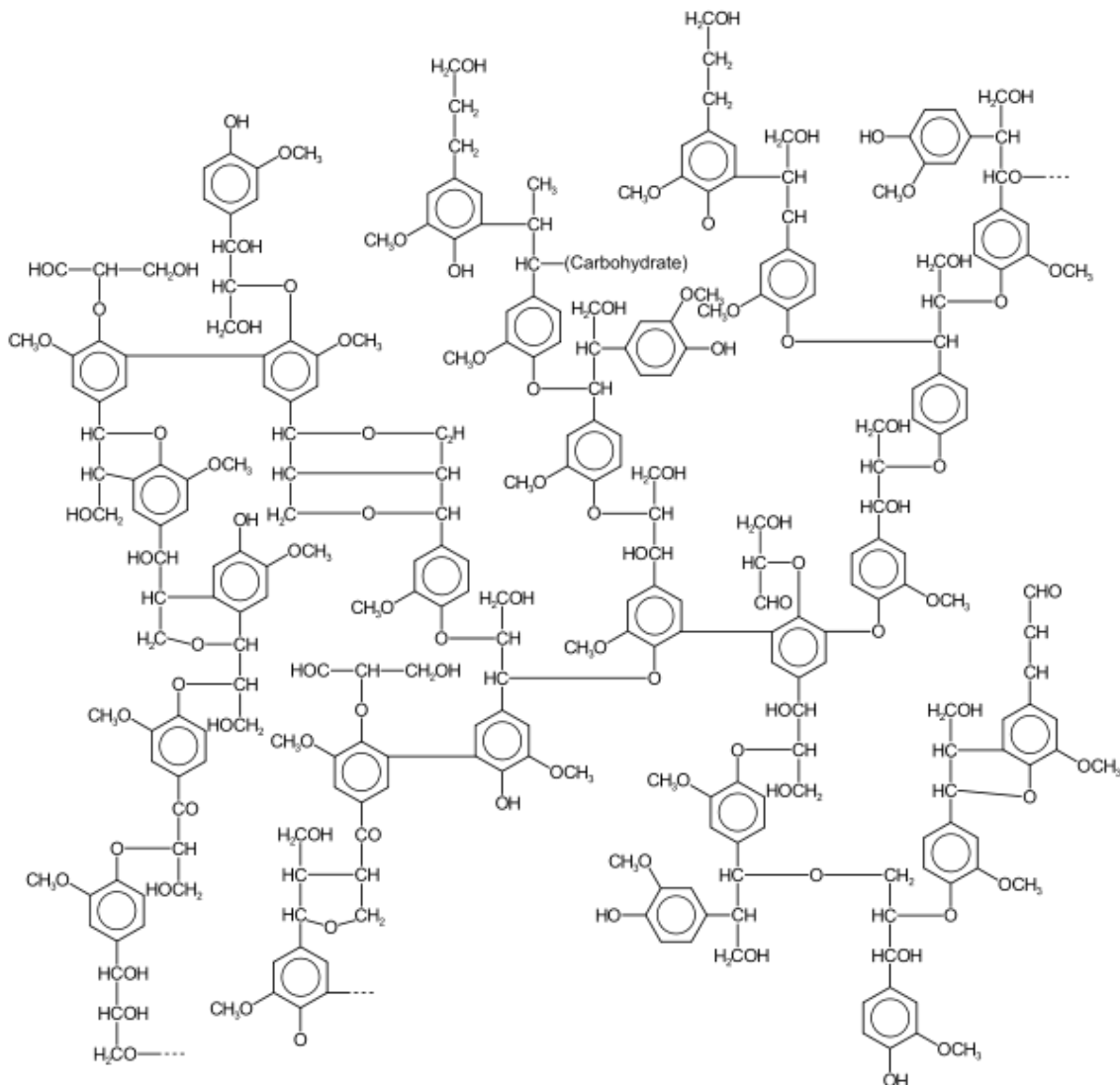


Figura 6: model de l'estructura de la lignina \*\*

\*Font: [http://www.davidmoore.org.uk/Assets/Mostly\\_Mycology/Lucy\\_Goodeve-Docker\\_bioremediation\\_website/whatislignin.htm](http://www.davidmoore.org.uk/Assets/Mostly_Mycology/Lucy_Goodeve-Docker_bioremediation_website/whatislignin.htm) (editada)

\*\*Font: <https://en.wikipedia.org/wiki/Lignin>

## 2.2.4 Extractius

Són components que poden ser separats de la paret cel·lular fàcilment per la seva solubilitat en aigua o en dissolvents orgànics neutrals. Per extraure els diferents tipus d'extractius, calen dissolvents de diferent polaritat.

Fan diverses funcions, com la de protecció, la d'emmagatzematge d'energia, la de formació de membranes, la de donar color, la de fer olor, etc.

Hi ha un gran nombre de diferents tipus d'extractius. Estan classificats per la semblança de les seves estructures químiques. Les categories principals inclouen monosacàrids, polisacàrids, olis volàtils, terpens, olis greixosos i els seus èsters, ceres, alcohols polihídrics, alcaloides i components aromàtics.

- **Terpens**

Tenen la funció de fer olor, principalment per atraure els insectes i que es produeixi la pol·linització. També són utilitzats amb la resina com a antisèptic.

Són hidrocarburs de cadena tancada amb composicions molt diferents. Poden tenir grups funcionals com alcohols, àcids carboxílics i aldehids, essent llavors terpenoides.

- **Olis i greixos**

Tenen la funció de reserva d'energia.

Són acilglicèrids (lípid simple) formats per l'esterificació d'una, dues o tres molècules d'àcids grassos amb una molècula d'alcohol, usualment glicerina.

Es consideren olis els acilglicèrids que presenten com a mínim un àcid gras insaturat i que a temperatura ambient són líquids.

- **Ceres**

Tenen la funció de coberta protectora de molts òrgans vegetals. Són impermeables.

Són lípid que s'obtenen per l'esterificació d'un alcohol de cadena llarga i una molècula d'àcid gras, tot i que també es poden trobar altres components químics en elles.

- **Midó**

Té una funció molt important d'emmagatzematge del sucre. És el principal component de les patates, del blat de moro, del blat, de la civada i de moltes altres espècies de plantes.

És un dels glucans més simples, barreja de dos polisacàrids: l'amilosa i la amilopectina.

- **Proteïnes**

Tenen moltes funcions en el desenvolupament i el creixement de la planta.

Estan formades pels anomenats aminoàcids. Els aminoàcids són molècules que contenen el grup amino ( $\text{NH}_2$ ), un grup àcid carboxílic i una cadena lateral.

Els aminoàcids s'uneixen generalment mitjançant enllaços covalents que es formen entre els grups amino i el grup carboxil. Hi ha uns 20 tipus d'aminoàcids que es combinen per formar diferents proteïnes.

- **Altres extractius**

Com poden ser les estibines (milloren la resistència de la planta), els flavonoides (fan diverses funcions, com la de fungicida, antioxidants, colorant, etc.) ...

## 2.3 Obtenció de materials a partir dels components de la biomassa

---

### 2.3.1 Cel·lulosa

L'aplicació industrial directa de la cel·lulosa és la de l'obtenció de paper, però també té derivats com la viscosa, l'acetat de cel·lulosa, la nitrocel·lulosa i altres productes.

- **Paper**

Un dels principals usos de la cel·lulosa és l'obtenció de paper. Aquest procés pot ser mecànic o químic i, segons quin mètode s'utilitzi, les propietats del paper seran unes o altres.

En ambdós casos, el procés de l'obtenció de paper comença traient l'escorça als troncs i triturant la fusta. Després, aquesta s'estella i es tamisa. En el tamisatge es controla l'espessor, ja que és important per al procés de cocció que les estelles s'impregnin adequadament amb els reactius.

El següent pas és la fabricació de l'anomenada pasta de cel·lulosa. Per a fer-ho cal dissoldre la lignina que manté unides les fibres de cel·lulosa de la fusta. Com ja he esmentat anteriorment, hi ha dos processos:

### **A) Procés mecànic**

La fusta triturada se sotmet a pressions altes i a una temperatura d'uns 140°C. Aquest procés té un rendiment d'entre el 85 i el 95%. El problema està en el fet que queda lignina residual en el producte, susceptible d'oxidar-se i generar un color groguenc. També dona lloc a una cel·lulosa menys resistent que la cel·lulosa obtinguda pel procés químic, ja que en aquest procés les fibres s'han trencat en el procés de fabricació.

### **B) Procés químic (cel·lulosa Kraft)**

Les estelles s'impregnen amb vapor d'aigua per eliminar el seu contingut en aire. En aquesta etapa ja es comença a agregar l'anomenat *lleixiu blanc*, que és una dissolució aquosa de sosa (NaOH) i sulfur de sodi (Na<sub>2</sub>S).

La barreja s'introdueix en grans olles, on la lignina es va separant de la cel·lulosa. La temperatura oscil·la entre els 130 i els 170°C i el temps entre 1 i 2 hores, segons el tipus de fusta. Com a resultat, s'obté una pasta composta per fibres de cel·lulosa i *lleixiu negre*, que és una barreja de la lignina i del lleixiu blanc. La pasta de cel·lulosa se sotmet a diverses etapes de rentatge a temperatures altes i de classificació.

Així s'obté cel·lulosa Kraft sense blanquejar, que encara posseeix entre un 2'4 i un 5% de lignina (anomenada *pasta cafè*). El procés de blanquejat busca



## La biomassa vegetal: un nou enfocament

eliminar la lignina que encara conté la pasta de cel·lulosa sense reduir la resistència de les fibres. Generalment es realitzen entre 3 i 5 etapes de blanqueig mitjançant tractaments amb agents oxidants i extraccions amb sosa aquosa. Així, la lignina i altres substàncies responsables del color fosc de la pasta es transformen en compostos solubles en aigua i s'eliminen amb rentatges. El principal producte químic utilitzat en el blanqueig és el diòxid de clor. Actua oxidant les molècules de lignina i trencant les seves cadenes.

La pasta procedent de la planta de blanqueig es prepara per a l'asseccament i es distribueix uniformement per una cinta de tela metàl·lica que es mou horitzontalment. S'extrau l'aigua amb premses de succió i corròns i la pasta entra als preassecadors, grans cilindres per on circula vapor a altes temperatures. En aquest punt s'afegeixen additius a la pasta per millorar l'estabilitat de les làmines. Després entren als assecadors, on diversos corròns calents condueixen la fulla de paper a través d'escalfadors per convecció i radiadors infrarojos. Finalment, el full passa per la talladora, deixant-lo en forma de plec, que s'apilen i es premsen.

- **Viscosa i cel·lofana**

Un derivat de la cel·lulosa és l'obtenció de l'anomenat *rayon* o viscosa i de cel·lofana.

En la seva preparació, les fibres de cel·lulosa es tracten amb una dissolució de sosa (NaOH) i de CS<sub>2</sub>. La sosa produeix el trencament de les cadenes de cel·lulosa, obtenint així una cel·lulosa de menor pes molecular. S'obté una massa viscosa que es fa passar per uns orificis de platí. Les fibres resultants es coagulen en una barreja d'àcid sulfúric (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), sulfat de sodi (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) i sulfat de zinc (ZnSO<sub>4</sub>).

Les fibres obtingudes s'allarguen fins a trenta vegades la seva longitud original, es recullen en bobines i s'assequen per eliminar el dissolvent (aigua). Després, les fibres s'estiren en feixos, formant fils.

En canvi, si la dissolució de viscosa es fica en laminadores, s'obté cel·lofana. Aquest paper s'ha de preparar refredant ràpidament la làmina, ja que cal que cristal·litzi ràpidament per què la mida dels cristalls sigui inferior a la longitud

d'ona de la llum, per a donar-li l'aspecte transparent a la llum visible i a la ultraviolada.

- **Acetat de cel·lulosa**

Un altre derivat de la cel·lulosa és l'acetat de cel·lulosa, un producte utilitzat en laques, pel·lícules fotogràfiques, pel·lícules cinematogràfiques i fibres.

S'obté pel tractament de la cel·lulosa amb anhídrid acètic amb una posterior hidròlisi parcial del producte obtingut.

- **Nitrocel·lulosa**

La nitrocel·lulosa és també un derivat de la cel·lulosa, que anteriorment s'utilitzava molt com a plàstic, però era perillós per la seva inflamabilitat. Actualment s'usa com a material per als projectils de fusell, per a fabricar laques i tintes lluents, per a certs plàstics o per fer boles de billar.

S'obté tractant la cel·lulosa amb una barreja d'àcid nítric ( $\text{HNO}_3$ ) i àcid sulfúric ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

- **Etanol**

També es pot aconseguir la formació d'etanol a partir de la cel·lulosa. Un dels mètodes utilitzats és l'anomenada "cel·lulolisis".

Aquest procés consisteix en la hidròlisi per enzims de la lignocel·lulosa tractada amb diferents mètodes físics i químics per trencar l'estructura complexa de la cel·lulosa en sucres simples com la glucosa, aplicant una fermentació i una destil·lació posterior.

La hidròlisi pot ser química, mitjançant l'ús d'àcids dissolts a altes pressions i altes temperatures, però aquest tipus d'hidròlisi és massa agressiva. Per això es fa servir una hidròlisi enzimàtica, en què la cel·lulosa és hidrolitzada mitjançant enzims. Un dels enzims utilitzats és el produït pel fong *Trichoderma reesei*.

La fermentació es produeix gràcies al llevat *Saccharomyces cerevisiae*, molt utilitzat en la indústria de la cervesa.

### 2.3.2 Hemicel·lulosa

L'hemicel·lulosa pot ser la matèria primera de diverses substàncies, com l'etanol, el xilitol o el 2,3 butandiol. Abans, però, ha de ser hidrolitzada per aconseguir els components a partir dels quals s'obtenen els altres productes.

- **Etanol**

S'obté a partir de la fermentació de la xilosa per llevats com *Pachysolen tannophilus* i *Pichia stipitis*. Altres bacteris com l'*Escherichia coli* (*E.Coli*), el *Lactobacillus Bacillus* i bacteris del gènere *Klebsiella* poden utilitzar diferents tipus de sucres, però només produeixen una quantitat limitada d'etanol, ja que generalment produeixen àcids.

- **Xilitol**

És un sucre molt utilitzat com a edulcorant natural, no produeix càries i és un substituent de la sacarosa per als diabètics, ja que no cal insulina per al metabolisme d'aquest sucre.

Es produeix per la reducció química de la xilosa. Els principals llevats coneguts per a produir xilitol són la *Candida boidini*, la *Guilliermondii candida*, la *Candida tropicalis*, la *Candida parapsilosis* i la *Debaryomyces hansenii*.

- **2,3-butandiol**

És un dissolvent de combustible líquid i precursor de diversos polímers sintètics i resines. També s'utilitza com a additiu de combustible líquid.

A partir de la seva deshidratació s'aconsegueix 2-butanona, més adequat com a combustible; o 1,3-butandiè, utilitzat com a matèria primera del cautxú.

- **Furfural**

És un aldehid aromàtic que es fa servir en la fabricació de plàstics i és la base química d'herbicides, fungicides i insecticides.

Un cop tenim l'hemicel·lulosa hidrolitzada, s'obté el furfural deshidratant les pentoses. D'aquesta deshidratació obtenim furfural i aigua. Aquests dos productes formen una mescla azeotròpica, d'un 90% en massa d'aigua i un 6% en massa de furfural. Després d'una destil·lació on s'aconsegueix un 30% en

### **La biomassa vegetal:** un nou enfocament

massa de furfural, es refreda el producte i es separen els components per decantació. Com a resultat, obtenim un furfural del 99% de riquesa.

### **2.3.3 Lignina**

La varietat de components de la lignina fa que es puguin obtenir una gran quantitat de productes a partir d'aquesta, com fenols, aldehids, cetones, hidrocarburs líquids i gasos (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ...).

## 3. PART PRÀCTICA

---

## 3.1 Objectius

---

La part pràctica del treball consisteix a establir les proporcions de les fraccions en què es divideix la biomassa vegetal d'una mostra qualsevol, en aquest cas d'una closca de nou. La finalitat d'aquest procés és establir quin percentatge de cada fracció de biomassa hi ha en un component per, posteriorment, aprofitar-lo a la indústria.

## 3.2 Metodologia

---

Per separar la biomassa vegetal en els seus components, vam seguir dos procediments que es basen en el mateix principi.

La base d'aquests processos és anar solubilitzant els diferents components de la biomassa vegetal en la nostra mostra mitjançant diversos dissolvents. Gràcies a la pèrdua de massa i a l'anàlisi del dissolvent amb mostra dissolta vam poder determinar quina és la proporció de cada fracció de la biomassa vegetal en la nostra mostra.

Tant en el primer com en el segon procediment, vam començar extraient la humitat de la mostra.

Tot seguit, vam fer una extracció amb acetona dels extractius, que quedaven dissolts en aquest dissolvent orgànic i en la mostra sòlida restaven la cel·lulosa, l'hemicel·lulosa i la lignina.

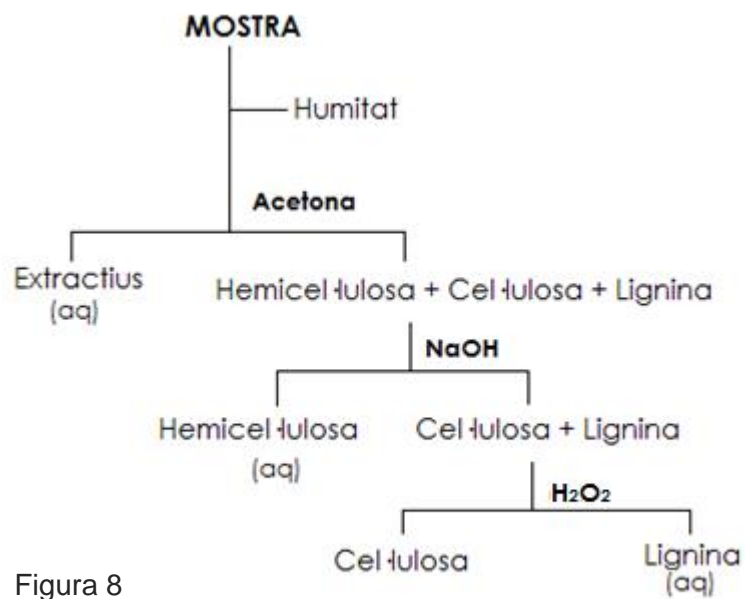
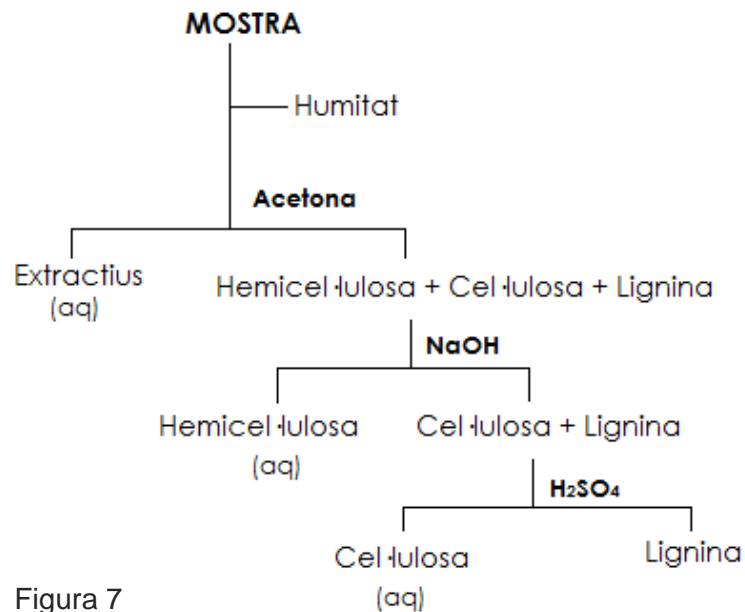
Seguidament vam fer una extracció amb una dissolució de sosa (NaOH) que dissolgué l'hemicel·lulosa. En la mostra sòlida restaren la cel·lulosa i la lignina.

En el primer procediment (*figura 7*) vam fer una última extracció amb àcid sulfúric, que dissolgué la cel·lulosa i deixà en la part sòlida únicament la lignina.

En el segon procediment (*figura 8*) vam fer una última extracció amb peròxid d'hidrogen, també conegut com a aigua oxigenada (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), que dissolgué la lignina, deixant en la part sòlida únicament la cel·lulosa.

## La biomassa vegetal: un nou enfocament

Els procediments i les concentracions per a les extraccions amb acetona, sosa i àcid sulfúric estan estandarditzats, en aquest cas estan extrets del volum 143 del diari *Bioresource Technology*. El procediment per extraure la lignina amb peròxid d'hidrogen va ser idea del noi a qui estava a càrrec seu, un estudiant de doctorat, integrant del grup de recerca del que jo formava part.



## 3.3 Fonaments teòrics de la part pràctica

### 3.3.1 Extracció d'hemicel·lulosa amb sosa

L'extracció de l'hemicel·lulosa amb la dissolució de sosa es basa en la hidròlisi de les cadenes d'hemicel·lulosa en monòmers o oligòmers.

Quan dissolem la sosa en aigua, les molècules de l'hidroxil de sodi es divideixen en sodi ( $\text{Na}^+$ ) i grups hidroxil ( $\text{OH}^-$ ). Alguns d'aquests grups hidroxil ataquen als grups alcohol de la cadena d'hemicel·lulosa (figura 9).

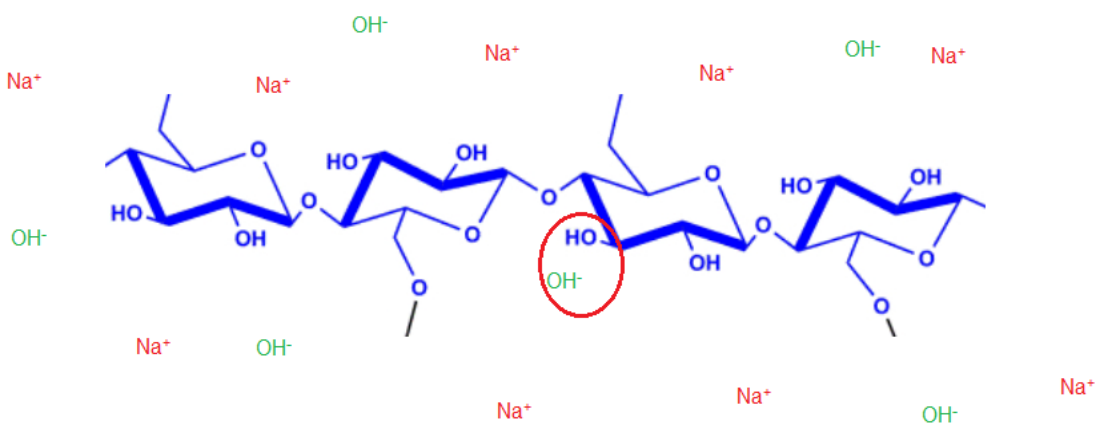


Figura 9: En blau, la cadena d'hemicel·lulosa. En la imatge es veu com un dels grups  $\text{OH}^-$  ataca a un dels grups alcohol de la cadena.\*

Quan els grups hidroxil ataquen als grups alcohol de la cadena, els deixen amb un hidrogen de menys per formar una molècula d'aigua (figura 10).

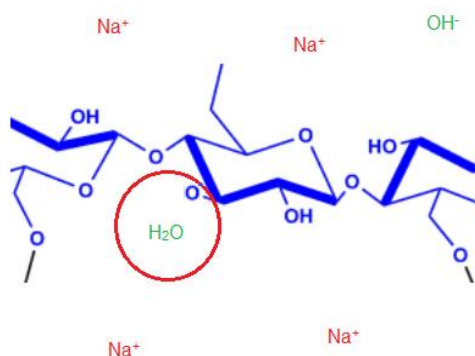


Figura 10: El grup  $\text{OH}^-$  ha agafat un hidrogen de la cadena, transformant-se en una molècula d'aigua.\*

\*Font: <http://www.intechopen.com/books/polymerization/plant-cell-wall-polymers-function-structure-and-biological-activity-of-their-derivatives> (editada)



Per tal d'assolir la màxima estabilitat, la cadena es trenca en aquest punt (figura 11).

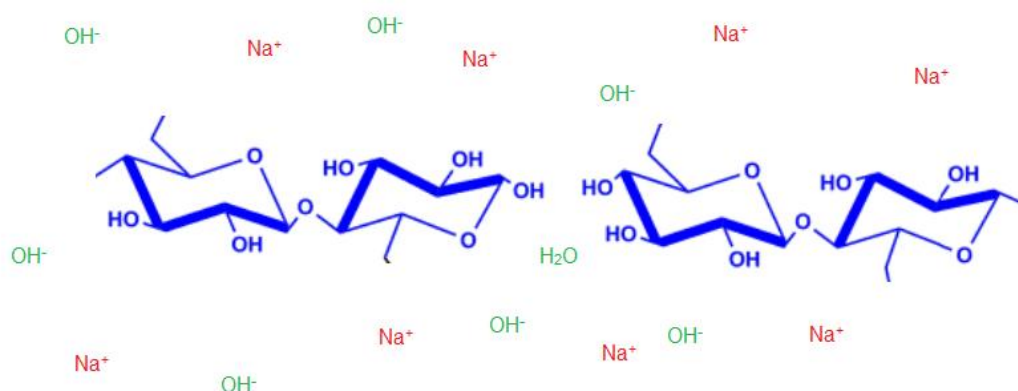


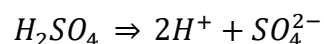
Figura 11: La cadena d'hemicel·lulosa s'ha dividit.\*

Com veiem en la part pràctica, no es va poder separar completament el polímer d'hemicel·lulosa en monòmers. Això pot ser degut al fet que la cadena no es trenqués i es formessin oligòmers. La raó per la qual els oligòmers es dissolen en l'aigua és que, en el punt de la cadena on s'ha perdut un ió d'hidrogen, s'hi ha quedat un oxigen carregat negativament. Això ha fet que hi hagi una polaritat elèctrica major i que, per tant, l'oligòmer sigui més soluble en aigua.

### 3.3.2 Extracció de cel·lulosa amb àcid sulfúric

L'extracció de cel·lulosa amb l'àcid sulfúric es basa en la hidròlisi de les cadenes de cel·lulosa.

Quan dissolem l'àcid sulfúric en aigua, les molècules d'aquest es divideixen en dos hidrògens carregats positivament ( $H^+$ ) i en un anió sulfat ( $SO_4^-$ ).



Aquests hidrògens ataquen a certs oxígens de la cadena, formant grups  $OH^+$  (figura 12 i 13).

\*Font: <http://www.intechopen.com/books/polymerization/plant-cell-wall-polymers-function-structure-and-biological-activity-of-their-derivatives> (editada)

## La biomassa vegetal: un nou enfocament

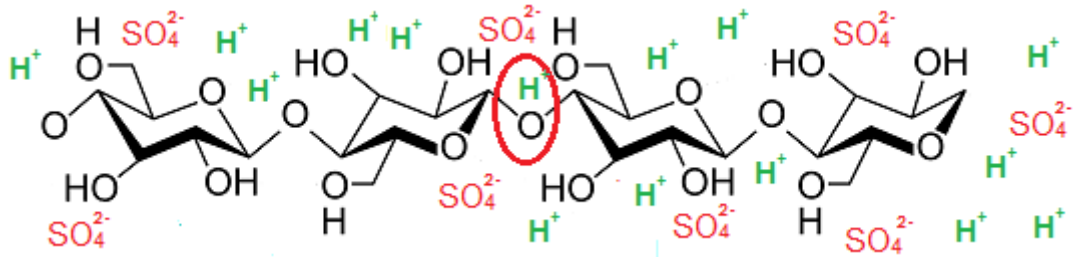


Figura 12: Un dels hidrògens ataca a un oxigen de la cadena.\*

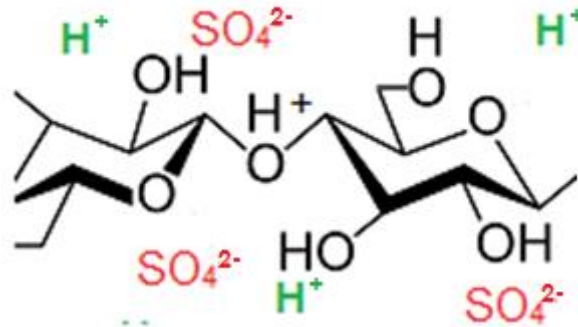


Figura 13: Es forma un grup OH<sup>+</sup>

Perquè el grup hidroxil no tingui càrrega elèctrica, el carboni del costat cedeix un electró. Per a assolir la màxima estabilitat, la cadena es trenca en aquest punt (figura 14).

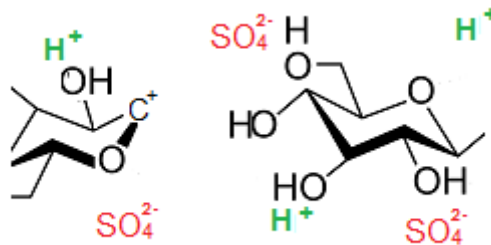
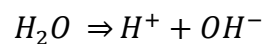


Figura 14: La cadena se separa i el carboni queda carregat positivament.\*

Una molècula d'aigua deixa anar un hidrogen carregat positivament, deixant restants el grup OH<sup>-</sup>.



Com tenim un OH<sup>-</sup> i un C<sup>+</sup>, els grups s'ajunten mitjançant un enllaç doble i s'aconsegueix la neutralitat elèctrica (figura 15, 16 i 17).

\*Font: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cellulose\\_strand.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cellulose_strand.svg) (editada)

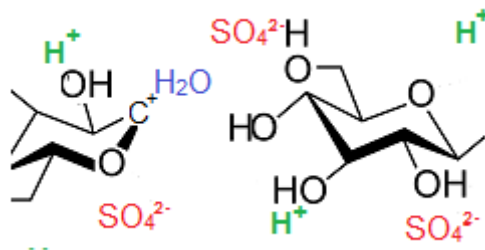


Figura 15: Cadena de cel·lulosa tallada i molècula d'aigua.\*



Figura 16: La molècula d'aigua es divideix en un protó i un grup hidroxil carregat.

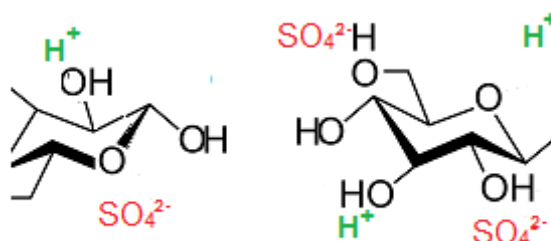
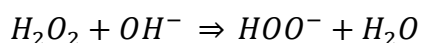


Figura 17: S'aconsegueix la neutralitat elèctrica.\*

### 3.3.3 Extracció de lignina amb peròxid d'hidrogen

L'extracció la lignina amb el peròxid d'hidrogen es basa en la hidròlisi de l'estructura de la lignina.

Quan es dissol el peròxid d'hidrogen en aigua, juntament amb la sosa, dóna lloc la reacció següent:



El peròxid d'hidrogen i l'anió hidroxil (que prové de la sosa) reaccionen formant un anió peròxid i una molècula d'aigua. L'anió peròxid reacciona amb els aldehids, les cetones, els àcids carboxílics i els èsters de la cadena. Això és degut al fet que el carboni d'aquests grups és electropositiu, ja que l'oxigen amb el qual s'enllaça és molt electronegatiu (*figura 18*).

Com l'anió peròxid té carrega negativa, ataca a aquests grups i, per tal d'obtenir la màxima estabilitat, la cadena se separa en aquest punt.

\*Font: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cellulose\\_strand.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cellulose_strand.svg) (editada)

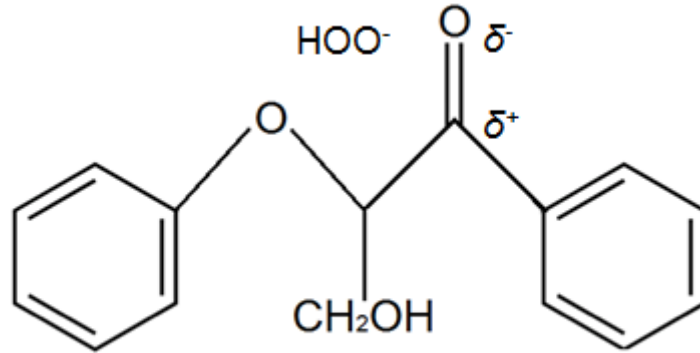


Figura 18: Secció de lignina, on es veu com el carboni del grup cetona és electropositiu.

## 3.4 Procediments

---

### 3.4.1 Preparació de la mostra

El primer pas va ser preparar la mostra. Vam triturar la closca de nou per tal que aquesta tingués la superfície més gran possible de contacte amb els reactius. Per tal de tenir mostres amb diferents variables, vam triturar les closques de nou amb mides diferents (*figura 19*) i vam pesar-les.



Figura 19: Closca de nou triturada.

### 3.4.2 Extracció de la humitat

Després de preparar la closca de nou, vam assecar-la al forn (*figura 20*) durant 16 o 18 hores per tal d'extreure tota la humitat possible i saber quina era la massa real de matèria orgànica. Després d'assecar-la, no podíem refredar la

## La biomassa vegetal: un nou enfocament

mostra a l'aire lliure perquè tornaria a absorbir la humitat de l'aire, així que vam deixar refredar-la a temperatura ambient al dessecador. El dessecador (figura 21) és un instrument de laboratori utilitzat per mantenir neta i deshidratada una substància mitjançant el buit. Està fabricat amb un vidre gruixut, amb una cavitat superior per on es fica la mostra i una d'inferior on es fica el dessecant, en aquest cas sílice gel ( $\text{SiO}_2$ ). També posseeix una aixeta o clau de pas per on s'extrau l'aire per a deixar-lo al buit. En aquesta clau de pas, s'hi acobla un tub que va a parar a un extractor d'aire.



Figura 20: Forns utilitzats



Figura 21: Dessecador

Un cop la closca de nou estava dessecada i refredada, vam pesar-la i vam calcular el percentatge d'humitat que havia perdut. Per fer-ho, vam calcular la diferència de masses entre la closca de nou abans d'extreure la humitat i un cop estava dessecada. La diferència de masses era la humitat que havia perdut.

### 3.4.3 Extracció dels extractius amb acetona

Un cop teníem la closca de nou dessecada, vam procedir a extraure la primera fracció de biomassa, els extractius. Aquests (ja explicats en l'apartat 2.3.4 *Extractius*) solen ser solubles en dissolvents orgànics i, depèn de quins, en aigua.

Per extraure els extractius, vam introduir en un matràs rodó 1 gram de mostra i 100mL d'acetona (un dissolvent orgànic). Tot seguit vam portar la dissolució a reflux.

## La biomassa vegetal: un nou enfocament

El reflux (*figura 22*) és una tècnica utilitzada per escalfar reaccions químiques que tenen lloc a temperatures superiors a l'ambient i en les que es vol mantenir un volum de reacció constant, evitant la pèrdua del dissolvent. S'acoba a la boca del matràs on tindrà lloc la reacció un refrigerant (aigua), perquè a mesura que el dissolvent s'evapori, es condensi per l'acció refrigerant de l'aigua.



Figura 22: Reacció amb columna de reflux

Vam col·locar el matràs dintre d'un recipient amb oli i el vam escalfar. Això ho vam fer per tal que s'escalfés tot el matràs uniformement, i li vam ficar un imant perquè la mostra es barregés. Vam ficar el fogó a la temperatura requerida (en aquest cas, una lleugerament superior als 60°C, que és la temperatura d'ebullició de l'acetona) i a unes certes revolucions per minut perquè l'imant remogués la dissolució.

Vam deixar la closca de nou en reflux durant 3 hores i vam filtrar la dissolució obtinguda. Per a fer-ho, vam desmuntar la columna de reflux i vam abocar la dissolució en un vas de precipitats amb l'ajuda d'un embut i un paper de filtre. El paper de filtre deixava passar la part líquida de la dissolució però retenia el solut. Com els extractius eren solubles en l'acetona (*figura 23*), es van dissoldre i van deixar la cel·lulosa, l'hemicel·lulosa i la lignina en la part sòlida. Vam deixar el paper de filtre amb la mostra obtinguda al forn perquè s'assequés i,

## La biomassa vegetal: un nou enfocament

passades unes 18 hores, la vam traure i la vam deixar al dissecador perquè es refredés sense absorbir humitat (*figura 24*).



Figura 23: Acetona amb extractius



Figura 24: Mostra sense extractius

Per calcular la quantitat d'extractius que hi havia en la closca de nou dessecada, vam calcular la diferència de masses entre la closca de nou abans d'extreure els extractius i la mostra que hi havia al paper de filtre (cel·lulosa, hemicel·lulosa i lignina).

Era innecessari analitzar la mostra líquida resultant (extractius i acetona) a causa del fet que la varietat de compostos presents en la fracció d'extractius feia molt difícil determinar quina proporció havia de cada compost i quins eren.

### 3.4.4 Extracció de la hemicel·lulosa amb sosa

Un cop teníem la mostra (en la que restava l'hemicel·lulosa, la cel·lulosa i la lignina) dessecada, vam procedir a extraure la segona fracció de biomassa, l'hemicel·lulosa. Aquesta (ja explicada en l'apartat 2.3.2 *Hemicel·lulosa*) és hidrolitzable en els seus monòmers amb una dissolució alcalina.

Per extraure l'hemicel·lulosa vam introduir 1 gram de mostra (hemicel·lulosa, cel·lulosa i lignina) en 150 mL d'una dissolució de NaOH amb concentració 0'5 molar. Fent els càlculs adients (veure l'*Annex 1*) vam determinar que per obtenir una dissolució de sosa amb aquesta concentració, tenint disponible només sosa pura, eren necessaris 150 mL d'aigua i 3 g de sosa (considerem el

## La biomassa vegetal: un nou enfocament

volum de la sosa negligible). Amb una balança i amb l'ajuda d'una espàtula, vam mesurar aproximadament 3 grams de sosa (a causa del fet que la sosa que teníem era en escates i era difícil trobar la massa exacta) i amb una proveta graduada vam mesurar els 150 mL d'aigua.

Un cop teníem la dissolució de sosa, vam posar-la a reflux amb la mostra a uns 100°C durant 3 hores. Vam filtrar la dissolució obtinguda (*figura 25*) i vam posar a assecar al forn el solut que vam obtenir (lignina i cel·lulosa) (*figura 26*) durant unes 18 hores, amb un posterior refredament en el dissecador.



Figura 25: Dissolució de sosa i hemicel·lulosa



Figura 26: Mostra sense extractius ni hemicel·lulosa

- **Càlcul de la massa d'hemicel·lulosa**

- **Mètode directe**

Vam calcular la diferència de masses entre la mostra inicial (cel·lulosa, hemicel·lulosa i lignina) i la mostra un cop extreta l'hemicel·lulosa.

- **Mètode indirecte**

Vam analitzar la part líquida filtrada, que era una dissolució de sosa i d'hemicel·lulosa. Per a fer-ho, vam utilitzar 2 màquines diferents: el TOC (Total Organic Carbon analyzer) (*figura 27*) i l'HPLC (High-Performance Liquid Chromatography) (*figura 28*).



## La biomassa vegetal: un nou enfocament

Abans d'introduir la dissolució de sosa i d'hemicel·lulosa en qualsevol de les dues màquines, havíem de neutralitzar la dissolució per tal que baixes la seva basicitat, ja que tot i que les màquines sí que accepten pH alts i baixos, per a augmentar la vida útil de la màquina és millor neutralitzar les mostres que s'hi introdueixen.

Per a fer-ho, vam agafar una mostra entre 1 i 5 grams i, amb un comptagotes, vam anar afegint-li àcid clorhídric (HCl) fins que obtinguéssim pH neutre, cosa que sabíem gràcies a un indicador de pH (*figura 29*). En el cas que ens passéssim i obtinguéssim una dissolució massa àcida, afegíem sosa (NaOH) fins a neutralitzar la solució. Un cop havíem preparat la mostra per l'anàlisi, vam separar una mostra per al TOC i una altra per a l'HPLC.



Figura 27: TOC



Figura 28: HPLC



Figura 29: Marcadors de pH, dissolució de sosa i d'àcid clorhídric i mostra líquida.

❖ **Anàlisi de la mostra amb el TOC**

La funció del TOC és calcular la concentració de carboni d'una mostra. Vam diluir la mostra que introduiríem en aquesta màquina a 1 mL de mostra per cada 10 mL d'aigua perquè treballés amb una dissolució menys concentrada, ja que l'aparell treballa amb concentracions baixes. Un cop vam obtenir la concentració de carboni de la dissolució de sosa i d'hemicel·lulosa, vam fer una estimació de la massa d'hemicel·lulosa que hi havia diluïda.

Aquesta estimació la vam fer suposant que totes les molècules que conformaven l'hemicel·lulosa eren de xilosa (tot i no ser cert, sí que és veritat que una gran majoria de l'hemicel·lulosa està formada per D-xilopiranos). Com la xilosa té 5 carbonis, dividim entre 5 la quantitat de carbonis per obtenir la quantitat de molècules de xilosa que hi ha. Mitjançant els càlculs adients (veure *Annex 6*) vam calcular la massa d'hemicel·lulosa dissolta.

❖ **Anàlisi de la mostra a l'HPLC**

La funció de l'HPLC és separar els diferents components d'una dissolució. Vam introduir la mostra que introduiríem en aquesta màquina en uns vials perquè aquest analitzés la mostra i saber quina proporció de cada component d'hemicel·lulosa hi havia en la mostra.

### **3.4.5 Extracció de la cel·lulosa amb àcid sulfúric (procediment 1)**

Un cop teníem la mostra sòlida dessecada (cel·lulosa i lignina), vam procedir a extraure la tercera fracció de biomassa, la cel·lulosa. Aquesta (ja explicada l'apartat 2.3.1 *Cel·lulosa*) és hidrolitzable en els seus monòmers en una dissolució àcida concentrada.

Per extraure la cel·lulosa vam introduir 1 gram de mostra en 30 mL d'una dissolució de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> del 72% de concentració en massa. Com no disposàvem de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> d'aquesta concentració, vam haver de diluir l'àcid del qual disposàvem. Fent els càlculs adients (veure l'*Annex 2*) vam determinar que per obtenir una dissolució de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> amb aquesta concentració, tenint disponible només H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> del 95% de concentració en massa, eren necessaris 18,407 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> del 95% i 10,815 mL d'aigua.

## La biomassa vegetal: un nou enfocament

Amb una proveta graduada i un comptagotes vam mesurar els volums necessaris de cada substància i els vam introduir en un matràs rodó. És important remarcar que primer s'ha d'introduir l'aigua i a continuació l'àcid sulfúric, ja que tot i que el contacte de l'aigua i l'àcid dona lloc a un increment de temperatura sobtat, si invertim l'ordre d'aquesta reacció, seria molt més violenta i podria esquitxar. Un cop introduïda la mostra en l'àcid sulfúric al 72% en massa, vam escalfar-la durant 2 hores a uns 40°C. Passades aquestes hores, calia diluir la dissolució al 4% en massa.

Fent els càlculs adients (veure l'*Annex 3*), vam determinar que calia afegir un volum d'aigua de 759,73 mL per diluir-la.

Després de deixar-ho escalfar a la mateixa temperatura durant 4 hores, vam filtrar la dissolució obtinguda. Vam posar a assecar al forn el paper de filtre i el solut que vam obtenir (lignina) durant unes 18 hores, amb un posterior refredament en el dissecador.

Va sorgir el problema que com el paper de filtre havia estat impregnat en àcid sulfúric, es va cremar i al treure la mostra es va perdre part d'aquesta a causa del paper cremat.

Així doncs, vam decidir que assecaríem les mostres en el dissecador per extreure la humitat sense cremar el paper. Si el dissecador es connecta al buit, el punt d'evaporació de l'aigua disminueix i, per tant, l'aigua es va evaporant. Al final, la mostra sòlida que obteníem era lignina (*figura 30*). La part líquida filtrada era una dissolució de cel·lulosa i àcid sulfúric.



Figura 30: Lignina

Com els resultats (veure l'apartat 3.5 *Interpretació dels resultats*) no eren els que se suposava que havien de donar, vam decidir analitzar la mostra líquida en l'espectrofotòmetre, una màquina que ens permet saber els diferents components d'una substància mitjançant l'absorbància d'aquests components. L'absorbància d'un component depèn dels grups funcionals que tingui. Gràcies als resultats que ens va donar (veure l'*Annex 7*), vam saber que l'acció de l'àcid

sulfúric amb la mostra va ser tan agressiva que va hidrolitzar i diluir també part de la lignina.

### 3.4.6 Extracció de la lignina amb peròxid d'hidrogen (procediment 2)

Com els resultats de l'extracció amb àcid sulfúric no eren els que havien de donar segons el model que preniem com a referència, vam decidir fer una extracció amb peròxid d'hidrogen ( $H_2O_2$ ) per extraure la lignina en comptes de la cel·lulosa.

Per extraure la lignina vam introduir 1 gram de mostra en 50mL d'una dissolució de  $H_2O_2$  al 5% en volum. Fent els càlculs adients (veure l'*Annex 4*) vam determinar que per obtenir una dissolució de peròxid d'hidrogen amb aquesta concentració, tenint disponible només peròxid d'hidrogen amb una concentració del 35% en volum, eren necessaris 7'14mL de peròxid d'hidrogen del 35% en volum i 42.85mL d'aigua.

Amb una proveta graduada i un comptagotes, vam mesurar els volums necessaris de cada substància i els vam introduir en un matràs rodó. Vam augmentar el pH de la dissolució a 12, perquè la lignina reacciona amb el peròxid d'hidrogen només en un medi bàsic. Un cop introduïda la mostra (cel·lulosa i lignina) en el peròxid d'hidrogen al 5% en volum, vam escalfar-la durant 16 hores a uns 40°C.

Vam filtrar la dissolució obtinguda i vam posar a assecar al forn el solut que vam obtenir (cel·lulosa) durant unes 5 hores, amb un posterior refredament en el dissecador.

Al final, la mostra sòlida que obteníem era cel·lulosa (*figura 31*). Com els resultats no es corresponien amb el model que teníem com a referència, vam decidir augmentar la concentració de la dissolució al 10% al 20% i al 35% en volum.



Figura 31: Cel·lulosa

Fent els càlculs necessaris (veure l'Annex 5) vam determinar que per obtenir una dissolució amb aquestes concentracions, tenint disponible peròxid d'hidrogen amb la concentració ja esmentada, calien 14'28 mL de peròxid d'hidrogen i 35'71 mL d'aigua (al 10% en volum) i 28'56 mL de peròxid i 21'44 mL d'aigua (al 20% en volum) i 50 mL de peròxid (al 35% en volum).

## 3.5 Resultats

Cada extracció la realitzàvem diverses vegades per tal d'assegurar la validesa dels resultats. Després de fer les extraccions, vam obtenir els següents resultats (més detallats en l'Annex 7). El número que apareix en les taules següents és la mitjana aritmètica dels valors obtinguts aplicant els respectius procediments a diverses mostres. Els resultats estan en percentatge en massa.

### Primer procediment:

Extractius	Hemicel·lulosa	Lignina (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Cel·lulosa (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
7'12%	23'59%	27'25%	42'04%

### Segon procediment:

Extractius	Hemicel·lulosa	Lignina (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35%)	Cel·lulosa (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35%)
7'12%	23'59%	46%	23'2%

Com el resultat que millor s'adapta a la referència que seguïem és el de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 35% de concentració en volum, agafem com a resultat aquesta mitjana.

Segons la referència que seguïem, els resultats obtinguts haurien de ser:

Extractius	Hemicel·lulosa	Lignina	Cel·lulosa
2'80%	22'10%	52'30%	25'60%

\* <https://www.ecn.nl/phyllis2/>

## 3.6 Interpretació dels resultats

---

### 3.6.1 Extractius

Entre el resultat que ens va donar (7'12% en massa) i el que teníem com a referència (2'80% en massa) hi havia una diferència d'un 4'32% en massa. Aquesta diferència podria ser deguda o bé a la diferència de les tècniques utilitzades per nosaltres i la web de referència, o bé a què la mostra no era la mateixa i pot mostrar diferències, o bé a petites pèrdues de mostra que hi ha en el paper de filtre.

Aquest resultat, llavors, s'adapta a l'estàndard.

### 3.6.2 Hemicel·lulosa

Entre el resultat que ens va donar (23'59% en massa) i el que teníem com a referència (22'1% en massa) hi havia una diferència d'un 1'49% en massa. Aquesta diferència, de la mateixa manera que la diferència dels resultats dels extractius, podria ser deguda tant per la diferència de la mostra, com per les petites pèrdues de mostra que hi ha en el paper de filtre, etc.

Aquest resultat, llavors, s'adapta a l'estàndard.

Per donar suport als resultats obtinguts, vam fer una anàlisi de la mostra amb el TOC i un altre amb el HPLC.

- **Anàlisi amb el TOC**

Aquest anàlisi el vam fer per comprovar que la massa d'hemicel·lulosa que s'havia perdut en la mostra sòlida corresponia amb la massa d'hemicel·lulosa que s'havia diluït.

Entre el resultat que ens va donar el TOC (23'62% en massa) i el que teníem com a referència (22'1% en massa) hi havia una diferència d'un 1'52% en massa. Aquesta diferència era deguda a que suposàvem que totes les molècules que formaven l'hemicel·lulosa eren xilosa, cosa que no és del tot correcte.

## La biomassa vegetal: un nou enfocament

Per calcular la massa dissolta d'hemicel·lulosa a partir de les dades que ens donava el TOC (la concentració de carbonis) (*figura 32*), calculàvem la concentració de xilosa i, a partir d'aquesta, la massa de xilosa dissolta (veure l'*Annex 6*).



Figura 32: Monitor del TOC després d'analitzar una mostra. En l'eix horitzontal, es mostra el temps que porta la mostra en el TOC en minuts; en l'eix vertical, es mostra la quantitat de carboni que detecta (segons el que els rajos infrarojos detecten) en mil·livolts. Veiem 4 pics, que representen la quantitat de carboni que ha absorbit el TOC en cada mesura. El TOC està configurat perquè faci 3 mesures, però si una s'allunya de la mitjana (com és el cas de la segona mesura), en faci una altra. Com la mostra està diluïda, la concentració és deu vegades més gran que la que ens indica el TOC.

- **Anàlisi amb l'HPLC**

Vam analitzar la dissolució d'hemicel·lulosa a l'HPLC, però no va poder determinar cap monòmer procedent de l'hemicel·lulosa. La gràfica (*figura 33*) mostra com tota la mostra és identificada de cop al principi, cosa que significa que l'HPLC no ha sigut capaç de separar correctament la mostra, doncs la xilosa hauria d'aparèixer al voltant de 9'5 i 10 minuts. El pic que s'observa al voltant de 6 minuts és el que anomenem front d'elució, un pic que mostra el moment en què tot el dissolvent s'analitza. Com només hi ha aquest pic és una prova que no s'han pogut separar els components completament.

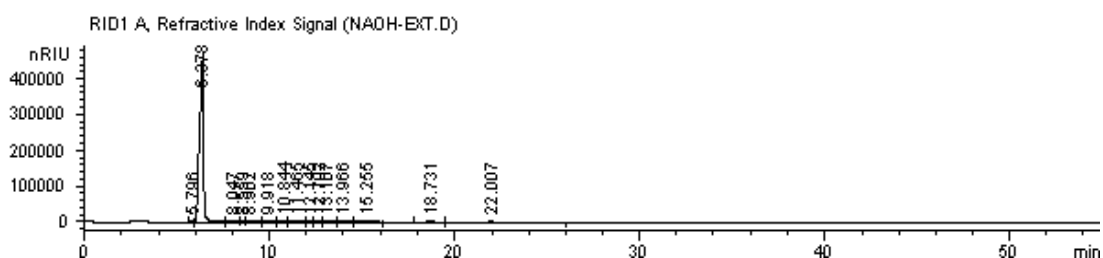


Figura 33: Gràfica que mostra l'HPLC després d'analitzar la mostra. En l'eix horitzontal es mostra el temps en minuts, i en l'eix vertical l'índex de refracció. Veiem entre el minut 6 i 8 el front d'elució, i al voltant de 9'5 i 10 minuts no veiem cap pic rellevant.

### 3.6.3 Cel·lulosa i lignina (procediment 1)

Entre el resultat que ens va donar amb el primer procediment (27'25% en massa de lignina, i 42'04% en massa de cel·lulosa) i el que teníem com a referència (52'30% en massa de lignina, i 25'60% en massa de cel·lulosa) hi havia una diferència d'un 25'05% i un 16'44% en massa respectivament.

Aquests resultats s'allunyen de l'estàndard (ja que la massa de cel·lulosa era massa baixa i la de lignina massa alta). Aquesta diferència podia ser deguda al fet que part de la lignina s'havia hidrolitzat i dissolt també amb l'àcid sulfúric.

Per comprovar-ho, vam ficar una mostra de la part líquida (que en teoria només havia de ser àcid sulfúric i cel·lulosa) en l'espectrofotòmetre. Aquest aparell mostra la presència de certs components que tenen algun grup funcional. Com la cel·lulosa no té cap grup funcional, no hauria de sortir cap pic, però en la gràfica resultant (*figura 34*) es veu com hi ha un màxim entre 270nm i 280nm, que indica la presència de compostos aromàtics, presents en la lignina.

Comptàvem amb un cert error, ja que un petit percentatge de la lignina és soluble en àcid sulfúric, però no tanta quantitat.

Com es dissolia part de la lignina, i com el valor de desviació mitjana era massa alt (14'13) (veure l'*Annex 7*) vam decidir fer un segon procediment per tal de comparar els resultats.



## Anàlisi de la mostra líquida

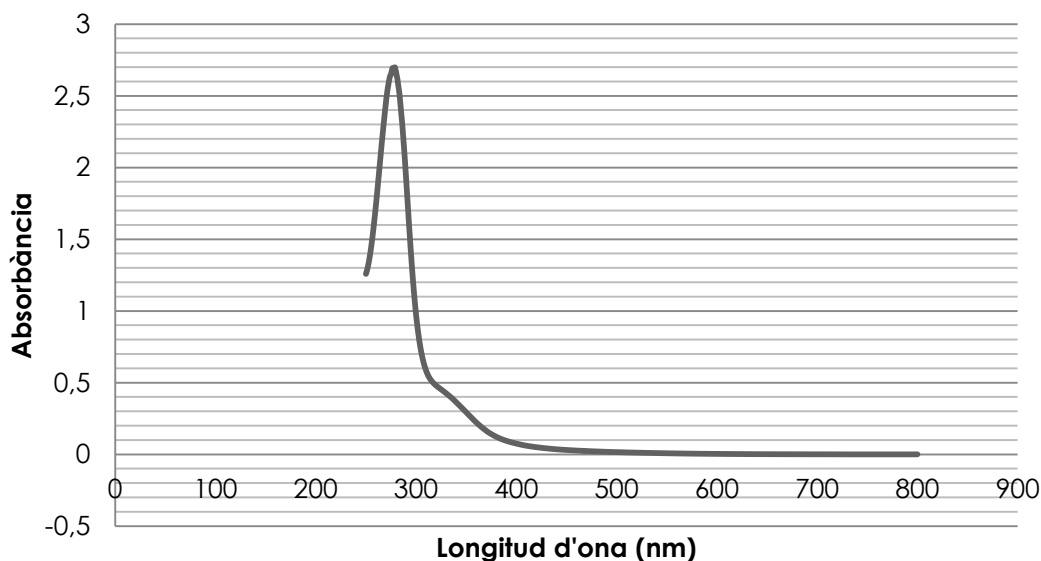


Figura 34: Gràfica que mostra l'absorbància de la mostra líquida.

### 3.6.4 Cel·lulosa i lignina (procediment 2)

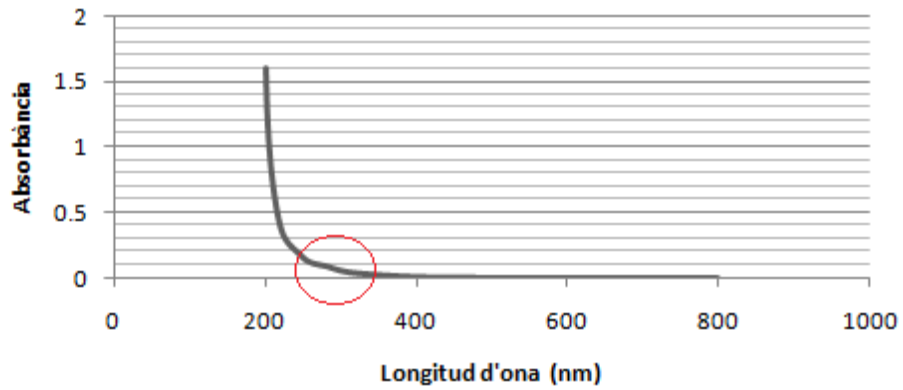
Entre el resultat que ens va donar amb el segon procediment al 5% en volum de peròxid d'hidrogen (25'34% en massa de lignina i 43'96% en massa de cel·lulosa) i el que teníem com a referència (52'30% en massa de lignina i 25'60% en massa de cel·lulosa) hi havia una diferència d'un 26'96% i un 18'36% en massa respectivament.

Aquests resultats s'allunyen de l'estàndard (ja que la massa de cel·lulosa era massa alta i la de lignina massa baixa). Aquesta diferència podia ser deguda a que part de la lignina no s'havia hidrolitzat.

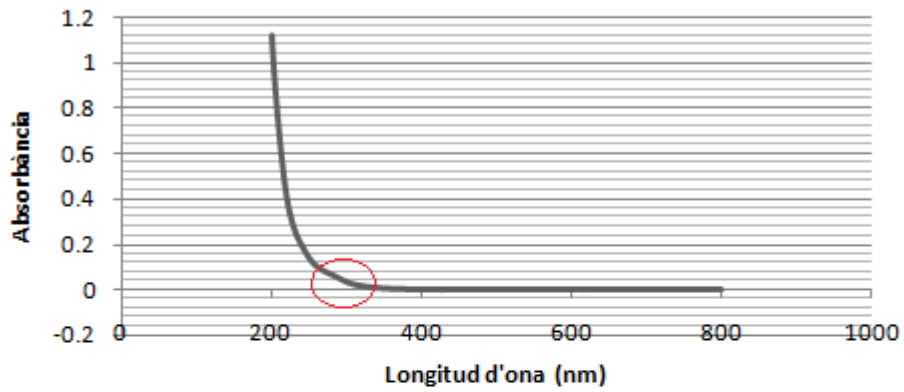
Com la diferència era massa gran, vam decidir augmentar la concentració de la mostra.

Vam augmentar la concentració al 10% en volum i al 20% en volum per veure si els resultats s'ajustaven més a l'estàndard. Vam observar que hi havia menys lignina en la mostra sòlida segons augmentàvem la concentració de peròxid d'hidrogen (veure l'Annex 7) i més en la fracció líquida (figura 35, 36 i 37).

**Mostra líquida al 5% en volum de peròxid d'hidrogen (1-100mL)**



**Mostra líquida al 10% en volum de peròxid d'hidrogen (1-100mL)**



**Mostra líquida al 20% en volum de peròxid d'hidrogen (1-100mL)**

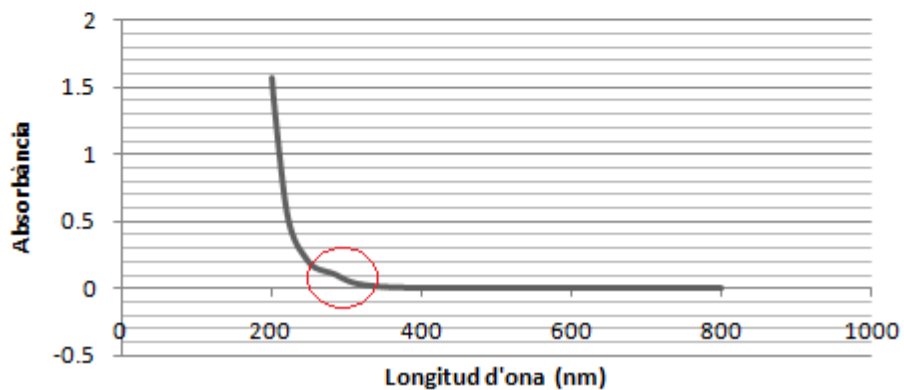


Figura 35, 36 i 37 (veure pàgina següent).

## La biomassa vegetal: un nou enfocament

Gràfiques que mostren els resultats de l'anàlisi de la mostra a l'espectrofotòmetre amb diferents concentracions de peròxid d'hidrogen. En l'eix horitzontal es mostra la longitud d'ona en nanòmetres i en l'eix vertical l'absorbància. Observem que a mesura que augmenta la concentració de peròxid d'hidrogen, augmenta també la mida del muscle al voltant de 270-280, és a dir, augmenta la quantitat de lignina a la mostra líquida.

Tot i així, la diferència entre l'estàndard i els nostres resultats seguien essent massa grans, així que vam pensar que l'error podia ser degut al fet que la mida de les partícules de la mostra era massa gran. Vam decidir llavors repetir el procediment, però aquest cop amb una mostra que vam tamisar a 300 µm i amb una concentració del 35% en volum de peròxid d'hidrogen.

Amb la mostra tamisada i amb concentracions del 35% en volum de peròxid d'hidrogen, vam aconseguir uns resultats d'un 46% en massa de lignina i 23'2% en massa de cel·lulosa. Entre aquests resultats i els que teníem com a referència (52'30% en massa de lignina i 25'60% en massa de cel·lulosa) hi havia una diferència d'un 6'3% i un 2'4% en massa respectivament.

Aquests resultats, finalment, s'adapten a l'estàndard.

## 4. CONCLUSIONS

---

Els objectius que m'havia proposat abans de començar a fer el treball eren:

- Conèixer què és la biomassa vegetal i els seus usos més enllà de l'obtenció d'energia.
- Viure l'experiència d'estar en un laboratori ben equipat.
- Determinar d'una manera fiable quines proporcions de cel·lulosa, hemicel·lulosa, lignina i extractius hi ha en una mostra de biomassa.

En el treball he aconseguit assolir tots els objectius que m'havia proposat:

- Gràcies a aquest treball he pogut saber quins eren els principals components de la biomassa i que aquesta és un recurs utilitzat més enllà del camp de l'obtenció d'energia, ja que es poden utilitzar els seus components per obtenir materials útils per a la indústria.
- També he pogut descobrir com és el fet d'estar en un laboratori ben equipat i com seria treballar-hi: com s'organitza la gent, la diversitat d'aparells i eines que hi ha, etc. Gràcies a això, he après que l'organització a l'hora de prendre mesures de les mostres és indispensable. Un altre factor necessari per treballar en un laboratori és la seguretat, ja que l manipular productes més perillosos que els que hi ha a l'institut comportava portar bata, fer servir guants, portar ulleres, seguir unes mesures de seguretat determinades, etc.
- He trobat una manera fiable de determinar les diverses fraccions de la biomassa vegetal. He pogut establir quin és el millor mètode per separar les seves parts per tal de saber quina quantitat podem aprofitar d'hemicel·lulosa, cel·lulosa o lignina a la indústria.

Ha estat una experiència molt positiva, ja que he descobert que el món de la química és el que m'agrada. He après moltes coses sobre la biomassa i per mi ha estat una experiència molt enriquidora veure com funciona i poder treballar en un laboratori.

## 5. BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA

---

## Bibliografia

*Biología 1*. Grup Promotor Santillana. ISBN 978-84-9130-2735

*Química 1*. Grup Promotor Santillana. ISBN 978-84-9130-282-7

CAMPS MICHELENA, MANUEL; MARCOS MARTÍN, FRANCISCO. *Los biocombustibles*. Madrid: Mundi-Prensa, 2002. Col·lecció energías renovables. ISBN: 84-8476-017-0

JIMÉNEZ GÓMEZ. *Los residuos de origen vital*. Madrid: Real Academia de Farmacia, 1991.

D.LÓPEZ-GONZÁLEZ, M.FERNANDEZ-LOPEZ, J.L.VALVERDE, L.SANCHEZ-SILVA "Thermogravimetric-mass spectrometric analysis on combustion of lignocellulosic biomass". *Bioresource Technology* [Department of Chemical Engineering, University of Castilla-La Mancha, Avda. Camilo José Cela 12, 13071 Ciudad Real, Spain] (22 juny de 2013), num. 143, p.563

## Webgrafia

*Wikipèdia* [En línia] <https://en.wikipedia.org> [Consulta: 26 setembre 2016]

*University of Washington Departments Web Server* [En línia]

<http://depts.washington.edu/pse406/Notes%20pdf/406-6%20Cellulose%20II.pdf>

[Consulta: 19 juliol 2016]

*Carbolea* [En línia ] <http://www.carbolea.ul.ie/composition.php> [Consulta: 2 juliol 2016]

*Escuela de Ingenierías Industriales* [En línea]

<http://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php> [Consulta: 24 juliol 2016]

*Google* [En línea] <https://images.google.com/> [Consulta: 2 desembre 2016]

ANA MARÍA MÉNDEZ. *Bioconversión de hemicelulosa*. *Slideshare* [En línea]

<http://es.slideshare.net/anymarim/bioconversin-de-hemicelulosa> [Consulta: 28

juliol 2016]

LUDOVIC MONTASTRUC\*, OLUMOYE AJAO, MARIYA MARINOVA, CATARINA BARRETO DO CARMO, SERGE DOMENECH. *HEMICELLULOSE BIOREFINERY FOR FURFURAL PRODUCTION: ENERGY REQUIREMENT ANALYSIS AND MINIMIZATION*. *Pulp and Paper Technical Association of Canada* [En línea] <http://www.paptac.ca/J-FOR/J-FOR%20Vol%201-No%203/HEMICELLULOSE%20BIOREFINERY%20FOR%20FURFURAL%20PRODUCTION%20ENERGY%20REQUIREMENT%20ANALYSIS%20AND%20MINIMIZATION.pdf> [Consulta: 25 juliol 2016]

MARVIN CHÁVEZ-SIFONTES, MARCELO E.DOMINE. *LIGNINA, ESTRUCTURA Y APLICACIONES: MÉTODOS DE DESPOLIMERIZACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE DERIVADOS AROMÁTICOS DE INTERÉS INDUSTRIAL*. *Fundación Universidad Internacional de la Empresa* [En línea] [http://www.exeeedu.com/publishing.cl/av\\_cienc\\_ing/2013/Vol4/Nro4/3-ACI1184-13-full.pdf](http://www.exeeedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/2013/Vol4/Nro4/3-ACI1184-13-full.pdf) [Consulta: 18 juliol]

*Energy research Centre of the Netherlands* [En línea] <https://www.ecn.nl/phyllis2/> [Consulta: 2 desembre]



## 6. AGRAÏMENTS

---

## **La biomassa vegetal:** un nou enfocament

La realització d'aquest treball no hauria estat possible sense l'ajuda d'un seguit de persones.

Agraeixo a la professora que va portar el programa d'estada a l'empresa per haver buscat un lloc on fer l'estada a l'empresa i aconseguir que la universitat em deixés unir a un grup de recerca en els seus laboratoris.

Vull agrair també a la universitat a la que vaig realitzar la part pràctica per donar-me l'oportunitat d'estar als seus laboratoris.

Gràcies també a tots els companys del grup *Catheter*, per fer la meva estada molt més agradable i divertida i per ajudar-me sempre que ho necessitava.

Gràcies també a la meva tutora del treball per guiar-me durant tot el transcurs del treball, per ajudar-me a l'hora de corregir el treball i per haver quedat amb mi fora de les hores de classe per parlar sobre treball.

Finalment, agraeixo també a la meva família per donar-me suport en el treball sempre que ho necessitava, especialment a la meva mare, per portar-me en cotxe a la universitat durant quasi dos mesos cada dia.

Gràcies a tots! Sense vosaltres, aquest treball no hauria estat possible.

# ANNEXOS

---

## Annex 1

$$150\text{mL dissolució} \cdot \frac{1\text{L dissolució}}{10^3\text{mL dissolució}} \cdot \frac{0'5\text{mols NaOH}}{1\text{L dissolució}} \cdot \frac{39'997\text{g}}{1\text{mol NaOH}} \cong 3\text{gNaOH}$$

## Annex 2

$$V_{H_2O} + V_{H_2SO_4} = 30 \Rightarrow V_{H_2O} = 30 - V_{H_2SO_4}$$

Calculem la quantitat d'àcid sulfúric pur que necessitem:

$$72\% = \frac{m_{H_2SO_4}}{m_{TOTAL}} \Rightarrow 0'72 = \frac{V_{H_2SO_4} \cdot \rho_{H_2SO_4}}{V_{H_2SO_4} \cdot \rho_{H_2SO_4} + V_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O}} = \frac{V_{H_2SO_4} \cdot 1'84}{V_{H_2SO_4} \cdot 1'84 + V_{H_2O} \cdot 1} \Rightarrow$$

$$1'84 \cdot V_{H_2SO_4} = 1'3248 \cdot V_{H_2SO_4} + 0'72 \cdot V_{H_2O} \Rightarrow 0'5152 \cdot V_{H_2SO_4} = 0'72 \cdot V_{H_2O}$$

$$\Rightarrow 0'5152 \cdot V_{H_2SO_4} = 0'72 \cdot (30 - V_{H_2SO_4}) = 21'6 - 0'72V_{H_2SO_4} \Rightarrow$$

$$V_{H_2SO_4} = 17'487\text{mL}_{H_2SO_4\text{ pur}}$$

I amb això, calculem la quantitat d'àcid sulfúric comercial que necessitem (la densitat de l'àcid sulfúric al 95% en massa és pràcticament igual que la dels sulfúric pur):

$$17'487\text{mL} \cdot \frac{1'84\text{g}}{1\text{mL}} \cdot \frac{100\text{g}}{95\text{g}} \cdot \frac{1\text{mL}}{1'84\text{g}} = 18'407\text{mL}_{H_2SO_4\text{ comercial}}$$

Amb la quantitat d'àcid sulfúric pur que tenim, calculem la quantitat d'aigua total que necessitem:

$$V_{H_2O} = 30 - V_{H_2SO_4\text{ pur}} = 30 - 17'487 = 12'513\text{mL aigua total}$$

I després calculem la quantitat d'aigua que ja conté l'àcid sulfúric i li restem a la quantitat d'aigua total:

$$0'95 = \frac{17'487 \cdot 1'84}{17'487 \cdot 1'84 + V_{H_2O}} \Rightarrow 32'18 = 30'57 + 0'95 V_{H_2O} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{H_2O} = \frac{32'18 - 30'57}{0'95} = 1'697\text{mL}$$

$$V_{H_2O} = 12'513 - 1'697 = 10'815 \text{ mL aigua final}$$

### Annex 3

$$4\% = \frac{m_{H_2SO_4}}{m_{TOTAL}} \Rightarrow 0'04 = \frac{17'487 \cdot 1'84}{17'487 \cdot 1'84 + V_{H_2O}} \Rightarrow 32'18 = 1'29 + 0'04V_{H_2O} \Rightarrow V_{H_2O} = 772'24 \text{ mL aigua total}$$

$$V_{H_2O \text{ a afegir}} = 772'24 - 12'51 = 759'72 \text{ mL aigua a afegir}$$

### Annex 4

$$50 \text{ mL dissolució} \cdot \frac{5 \text{ mL}_{H_2O_2}}{100 \text{ mL dissolució}} \cdot \frac{100 \text{ mL}_{H_2O_2 \text{ comercial}}}{35 \text{ mL}_{H_2O_2}} = 7'1743 \text{ mL}_{H_2O_2 \text{ comercial}}$$

$$50 - 7'143 = 42'85 \text{ mL}_{H_2O}$$

### Annex 5

$$50 \text{ mL dissolució} \cdot \frac{10 \text{ mL}_{H_2O_2}}{100 \text{ mL dissolució}} \cdot \frac{100 \text{ mL}_{H_2O_2 \text{ comercial}}}{35 \text{ mL}_{H_2O_2}} = 14'28 \text{ mL}_{H_2O_2 \text{ comercial}}$$

$$50 - 14'28 = 35'71 \text{ mL}_{H_2O}$$

$$50 \text{ mL dissolució} \cdot \frac{20 \text{ mL}_{H_2O_2}}{100 \text{ mL dissolució}} \cdot \frac{100 \text{ mL}_{H_2O_2 \text{ comercial}}}{35 \text{ mL}_{H_2O_2}} = 28'56 \text{ mL}_{H_2O_2 \text{ comercial}}$$

$$50 - 28'56 = 21'44 \text{ mL}_{H_2O}$$

### Annex 6

Aquest procediment es va fer amb cada resultat. Aquí s'agafarà com a exemple un dels resultats.

$$618'3 \frac{\text{mg}_C}{L} \cdot \frac{1 \text{ g}_C}{10^3 \text{ mg}_C} \cdot \frac{1 \text{ mol}_C}{12'01 \text{ g}_C} \cdot \frac{6'022 \cdot 10^{23} \text{ àtoms}_C}{1 \text{ mol}_C} \cdot \frac{1 \text{ molècula}_{Xilosa}}{5 \text{ àtoms}_C} \cdot \frac{1 \text{ mol}_{Xilosa}}{6'022 \cdot 10^3 \text{ molècules}_{Xilosa}} \cdot \frac{150'13 \text{ g}_{Xilosa}}{1 \text{ mol}_{Xilosa}} = 1'546 \frac{\text{g}_{Xilosa}}{L} = 1'546 \cdot 10^{-3} \frac{\text{g}_{Xilosa}}{\text{mL}}$$

$$1'546 \cdot 10^{-3} \frac{\text{g}_{Xilosa}}{\text{mL}} \cdot 150 \text{ mL} = 0'23 \text{ g}_{Xilosa}$$

$$\frac{0'23g_{xilosa}}{1'0082g_{Mostra}} \cdot 100 = 22'997\%_{m\ xilosa}$$

## Annex 7

Resultats de totes les mesures preses (on %<sub>m</sub> és el percentatge en massa). Aquests són els percentatges en massa respecte de la mostra sense la fracció de biomassa anterior (seguint el procediment), pel que no són els resultats finals.

Humitat			
MOSTRES	Massa (g)	Massa de la mostra assecada (g)	% <sub>m</sub> humitat
Mostra 1	4,214	3,845	8,741
Mostra 2	5,070	4,520	10,849
Mostra 3	5,220	4,749	9,030
Mostra 3	5,439	4,960	8,806
Mostra 4*	4,989	4,576	8,273
Mostra 5*	5,302	4,868	8,180
Mostra 6 *	2,997	2,740	8,553

\*tamissada

Mitjana % <sub>m</sub> humitat
8,919
Desviació estàndard
0,902

Extractius			
MOSTRES	Massa (g)	Massa sense extractius (g)	% <sub>m</sub> extractius
Mostra 1	1,020	0,973	4,608
Mostra 2	1,003	0,952	5,065
Mostra 3	1,022	0,951	6,939
Mostra 4	0,990	0,894	9,727
Mostra 5	1,005	0,965	3,979
Mostra 6	1,001	0,941	5,965
Mostra 7	1,002	0,940	6,247
Mostra 8	1,012	0,934	7,766
Mostra 9	1,096	0,994	9,325
Mostra 10	1,060	1,015	4,292
Mostra 11	1,028	0,880	14,366

Mitjana % <sub>m</sub> extractius
7,116
Desviació estàndard
3,084

Hemicel·lulosa				
MOSTRES	Massa 150 mL (g)	Massa sense hemicel·lulosa	Massa hemicel·lulosa	%m hemicel·lulosa
Mostra 1	1,009	0,725	0,284	28,128
Mostra 2	1,008	0,801	0,207	20,551
Mostra 3	1,095	0,829	0,266	24,302
Mostra 4	1,009	0,727	0,282	27,950
Mostra 5	1,000	0,790	0,210	20,970
Mostra 6	1,017	0,747	0,270	26,588
Mostra 7	1,022	0,660	0,361	35,379
Mostra 8	1,000	0,725	0,275	27,509

Mitjana %m hemicel·lulosa	25,399
Desviació estàndard	4,698

Cel·lulosa i lignina (extracció amb sulfúric)				
MOSTRES	Massa	Massa lignina	Massa cel·lulosa	%m lignina
Mostra 1	1,001	0,256	0,745	25,555
Mostra 2	1,006	0,330	0,676	32,800
Mostra 3	1,067	0,623	0,444	58,427
Mostra 4	1,018	0,413	0,606	40,538

Mitjana %m lignina	39,330
Desviació estàndard	14,125

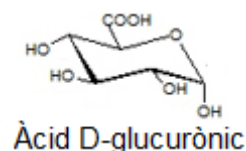
Cel·lulosa i lignina (extracció amb peròxid d'hidrogen)						
MOSTRA	CONCENTRACIÓ	Massa	Massa final	%m cel·lulosa i hemicel·lulosa	%m cel·lulosa i hemicel·lulosa aproximats	%m cel·lulosa aproximats
Mostra 1	5% volum	1,000	0,870	87,026	87,026	63,435
Mostra 2	10% volum	1,030	0,834	81,000	81,000	57,409
Mostra 3	20% volum	1,100	0,794	72,182	72,182	48,590
Mostra 4	20% volum	1,007	0,748	74,270	74,270	50,679
Mostra 5	35% volum	1,008	0,560	55,506	55,506	31,915
Mostra 6	35% volum	1,047	0,657	62,779	62,779	39,187
Mostra 7	35% volum	1,270	0,672	52,921	52,921	29,330

Mitjana 5% volum	63,435
Mitjana 10% volum	57,409
Mitjana 20% volum	49,635
Mitjana 35% volum	33,477

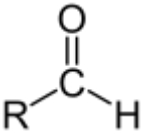
## Annex 8 (Glossari)

**Absorbància:** relació entre la intensitat de la llum que incideix sobre una mostra i la intensitat d'aquesta mateixa llum que es transmesa a través de la mostra.

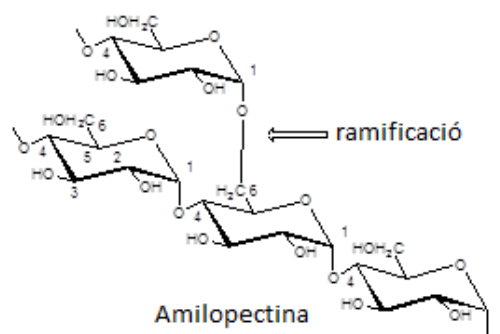
**Àcid D-glucurònic:** monosacàrid que es troba en petita proporció en certes hemicel·luloses.



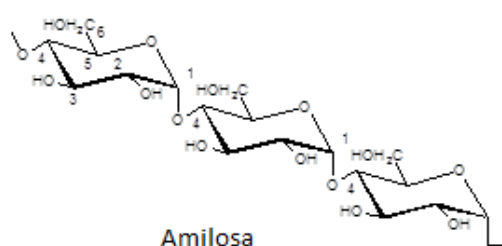
**Àcid gras:** molècula formada per una llarga cadena lineal hidrocarbonada amb un nombre parell d'àtoms de carboni, el darrer dels quals constitueix un grup aldehid o cetona. Poden ser àcids grassos saturats (enllaços simples) o insaturats (un o més enllaços dobles).

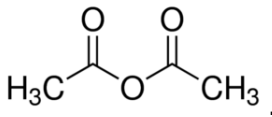
**Aldehid:** radical de fórmula 

**Amilopectina:** polisacàrid que es troba amb més abundància en el midó. Té la mateixa estructura que l'amilosa, però en aquest cas hi ha ramificacions cada 24-30 unitats de glucosa de la cadena principal.



**Amilosa:** polisacàrid format per molècules de D-glucopiranosa enllaçades de manera lineal amb enllaços 1→4. Es diferencia de la cel·lulosa en què els enllaços de la cel·lulosa són enllaços α, mentre que els enllaços de la amilosa són enllaços β.



**Anhídrid acètic:** molècula de fórmula 

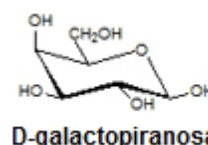


**Arabinofuranosa:** L-arabinosa.

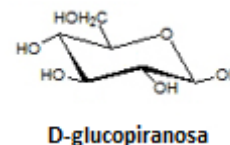
**Azeotròpic/a:** mescla que presenta les mateixes propietats físiques i químiques que una substància pura.

**Cetona:** radical de fórmula  $R^1-C(=O)-R^2$ .

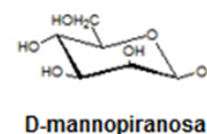
**D-galactopiranososa:** monosacàrid que es troba en petita proporció en certes hemicel·luloses.



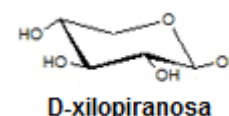
**D-glucopiranososa:** monosacàrid més abundant en la biomassa, essent el constituent principal de la cel·lulosa i podent formar part de la hemicel·lulosa.



**D-mannopiranososa:** monosacàrid que es troba en l'hemicel·lulosa.



**D-xilopiranososa:** monosacàrid més abundant en la hemicel·lulosa.



**Esterificació:** reacció d'un àcid gras amb un alcohol que dóna lloc a un éster i a una molècula d'aigua. Segons si ha reaccionat un, dos o tres àcids grassos, el producte de la reacció s'anomena monoacilglicèrids, diacilglicèrids o triglicèrids, respectivament.

**Glicerina:** propantriol, alcohol de fórmula  $HO-CH_2-CH(OH)-CH_2-OH$ .

**Glucosa:** D-glucopiranososa.

**Grup funcional:** radical.

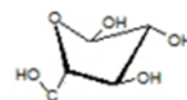
## La biomassa vegetal: un nou enfocament

**Heteropolisacàrid:** polisacàrid que conté dos o més tipus de monosacàrids repetits.

**Homopolisacàrid:** polisacàrid que conté un únic tipus de monosacàrid repetit.

**HPLC (High-Performance Liquid Chromatography):** cromatògraf de líquids. Té la funció de separar els diferents components d'una dissolució.

**L-arabinosa/arabinofuranosa:** monosacàrid que es troba en petita proporció en la biomassa vegetal.



L-arabinofuranosa

**Mannosa:** D-mannopiranososa.

**Monòmer:** molècula de massa molecular petita que s'ajunta amb altres monòmers per formar cadenes, anomenats polímers.

**Monosacàrid:** sacàrid simple format per una sola cadena.

**Oligòmer:** conjunt de fins a deu monòmers units en una cadena.

**Polisacàrid:** polímer format per més de deu monosacàrids.

**Radical:** àtom o conjunt d'àtoms units a una cadena carbonada.

**Sacàrid:** també conegut com glúcid, sucre, carbohidrat o hidrat de carboni, és una biomolècula composta per carboni, hidrogen i oxigen. Té una composició general de  $(CH_2O)_n$ . Està format per àtoms de carboni units a grups alcoholics (radicals hidroxil) i a radicals hidrogen. En qualsevol sacàrid hi ha sempre un grup aldehid o un grup cetona.

**TOC (Total Organic Carbon analyzer):** màquina que té la funció de determinar la concentració de carbonis orgànics presents en una mostra.

**Xilosa:** D-xilopiranososa.