
COM ARRIBA LA TARDOR?

Anàlisi del canvi en la pigmentació
fotosintètica



La naturaleza es grande en las grandes cosas,
pero es grandísima en las más pequeñas.

Jacques Henri de Saint Pierre (1737-1814)

ÍNDEX

1.-RESUM DEL TREBALL	1
1.1.-Abstract	1
2.-INTRODUCCIÓ	3
2.1.-Justificació de la recerca	4
3.-OBJECTIUS I HIPÒTESIS	
3.1.- Objectius	5
3.2.- Hipòtesis	5
4.- METODOLOGIA.....	7
5.-MARC TEÒRIC	
5.1.-El bosc, l'arbre i la fulla	
5.1.1.-El bosc.	9
5.1.2.-L'arbre.	9
5.1.3.-La fulla.	11
5.2.-La naturalesa de la llum.	12
5.2.1.-El color.	12
5.3.-La pigmentació.	14
5.3.1.-Els pigments fotosintètics	14
5.3.1.1.- Les clorofil·les.	14
5.3.1.2.- Els carotenoides.	15
5.3.1.3.- Les feofitines.	16
5.3.2.-La velocitat de difusió dels pigments.	17
5.4.-La nutrició autòtrofa: fotosíntesi.	17

5.4.1.- Els tipus de nutrició.	17
5.4.2.- El procés de la nutrició: la fotosíntesi.	17
5.4.2.1.- La fotosíntesi a partir de compostos amb carboni.	18
5.4.2.2.- La fotosíntesi a partir de compostos amb nitrogen i sofre. . . .	19
5.4.3.-Localització intracel·lular de la fotosíntesi: cloroplasts.	20
5.5.-Informació teòrica de la pràctica	
5.5.1.-Què és la cromatografia?	21
5.5.2.-Fitxes dels arbres	22
6.-PART PRÀCTICA.	27
6.1.- Objectius.	27
6.2.-Material.	28
6.3.-Procediments.	28
6.4.-Resultats: identificació i evolució dels pigments.	31
6.5.- Canvi en l'exterior dels arbres.	39
6.6.-Explicació biològica del procés.	41
6.7.- Particularitats en els factors ambientals d'aquest any.	42
6.7.1.- Precipitacions.	42
6.7.2.- Temperatura.	43
6.7.3.- Llum solar.	43
7.-CONCLUSIONS.	45
8.- GLOSSARI.	47
9.-BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA.	51

1.-RESUM DEL TREBALL

Aquest treball pretén ser un anàlisi d'allò que passa a les fulles quan el temps comença a enfredorir. S'han realitzat diverses cromatografies que permeten observar els canvis que hi ha hagut en la pigmentació en els mesos d'agost, setembre i octubre, els mesos de la tardor. A partir d'aquests canvis, que seran mes notables en unes espècies que en altres, s'ha buscat l'explicació biològica de perquè l'arbre "fa" que les seves fulles morin, i s'han identificat les variables que influeixen en l'estímul que rep l'arbre de l'arribada del fred.

Finalment, també s'ha determinat bibliogràficament quin pigment correspon a cada franja en les cromatografies, i s'ha pogut observar a quina alçada queda cada pigment i el canvi en la intensitat del pigment, que és el que en determina la quantitat.

1.1.-Abstract

This research aims to be an analysis of what happens to the leaves of the trees when the weather gets colder. I will be exposing many chromatographical analyses which will allow us to observe the changes which have happened in pigmentation during the months of August, September and October, the months of autumn. From these changes, that will be more noticeable in some species than in others, I will seek for a biological explanation of why trees "make" their leaves die, and I will identify the features that influence the stimulus that trees receive during the arrival of cold weather.

Finally, the strips in the chromatographies will be identified to the corresponding pigment bibliographically, seeing how high each pigment gets to the strip. The change in the intensity of each strip is what determines the amount of pigment, so using this method we can see the changes in the amount of pigment during the analysed months.

2.-INTRODUCCIÓ

El bosc és un dels components més significatius del paisatge de Catalunya: més de la meitat del territori català està constituït per territori forestal.

Els boscos són una peça clau en la conservació de la diversitat d'espècies vegetals i animals, i compleixen moltes funcions estrictament necessàries per al desenvolupament de la vida a la Terra; aporten l'oxigen necessari per a tots els éssers vius i són la llar de la majoria d'animals.

A l'interior dels boscos, de qualsevol fulla que puguem trobar, hi ha els pigments, que són la base que permet que els altres éssers de tots els ecosistemes puguin sobreviure.

Aquest treball pretén donar valor a la natura i analitzar els compostos més importants que ens mantenen en vida. Anar més enllà de les fulles per observar allò que es troba al seu interior i, que, per molt que sigui gairebé invisible als nostres ulls degut a la seva mida, és la peça clau per al nostre desenvolupament: **els pigments fotosintètics.**

Així doncs, els pigments són allò que ens recorda la casualitat que ens trobem aquí i com de fàcil hagués estat que no s'haguessin donat les condicions idònies per al nostre desenvolupament a la Terra. Fins i tot podríem dir que una simple molècula és el que ens permet respirar, la base de la vida.

Aquest treball està enfocat en la pregunta de recerca: **“Com influeix l'arribada de la tardor en la pigmentació de les fulles?”**. El que pretén aquest treball és donar a conèixer què hi ha darrere del canvi de color visual de les fulles dels arbres caducifolis, és a dir com afecta la quantitat d'un pigment en el color de les fulles d'un arbre determinat.

Està centrat en la tardor degut a que és el canvi més vistós que pateixen les fulles i que ahora donarà uns resultats més vistosos. Els arbres escollits han estat tres que són caducifolis i un que és de fulla perenne; són arbres diferents, freqüents i que són familiars per a tothom.

2.1.-Justificació de la recerca

La tria del tema ha estat aquesta perquè per a mi la tardor és una època de l'any que trobo interessant. Crec que és una temporada amb un encant diferent a la resta, ja que sol portar a la malenconia o fins i tot la tristesa perquè és la transició cap a l'hivern; però també aporta uns paisatges amb unes tonalitats molt especials.

Al principi, volia enfocar el treball en trobar perquè les fulles canvien de color; ja que havia llegit diverses hipòtesis però no em quedava gaire clar. Després vaig trobar que seria més interessant centrar-me directament en la química que hi ha darrere del canvi de color. Realitzar una recerca sobre l'interior del canvi en els paisatges em va semblar molt interessant.

3.- OBJECTIUS I HIPÒTESIS

3.1.- Objectius

- 1) Aconseguir una empremta de cada fulla que identifiqui els pigments que li donen el seu color, amb la tècnica de cromatografia de paper i dissolució en acetona.
- 2) Estudiar la variació de les empremtes de les fulles dels 4 arbres durant els mesos d'agost, setembre i octubre per analitzar les diferències de concentració dels pigments.
- 3) Explicar els canvis químics produïts en els pigments durant la tardor i el seu motiu.
- 4) Aconseguir un mètode analític que permeti separar els pigments de les fulles, buscant la millor manera de preparar la mostra i de dissoldre els pigments.
- 5) Identificació dels pigments de les bibliogràficament.
- 6) Realitzar un seguiment a 4 arbres diferents per observar les canvis que s'hi produeixen. Presentació de les mostres en forma d'herbari (veure Annex II).
- 7) Relacionar els canvis en les empremtes cromatogràfiques de les fulles amb la visualització de la mostra equivalent de l'herbari.

3.2.- Hipòtesis

Les meves hipòtesis són les següents:

- 1) Dels tres moments en què analitzaré les fulles, el més pròxim a l'arribada de la tardor serà el que menys pigment verd contindrà, ja que la fulla es troba en la fase prèvia a la mort.
- 2) El canvi més significatiu serà entre el segon anàlisi i el tercer. Entre el primer i el segon hi haurà canvis, però no tant significatius.
- 3) Les cromatografies, a mesura que avança el temps, aniran prenent unes tonalitats corresponents als pigments carotenoides, de tonalitats vermelloses i ataronjades. És a dir, els pigments d'aquestes tonalitats al principi no hi seran i aniran apareixent a mida que les fulles vagin canviant de color.

4) En alguns arbres serà més fàcil observar l'arribada de la tardor que en altres. Per exemple, en el cirerer vermell gairebé no s'hi podrà observar cap canvi; però en canvi en l'om sí.

5) Els pigments amb una velocitat de difusió més alta seran els carotenoides.

Pregunta de recerca: Com influeix l'arribada de la tardor en la pigmentació de les fulles?

4.-METODOLOGIA

Un cop triat el tema, he pensat en la pràctica que havia de realitzar. Després de pensar-ne un esbós, n'he redactat els objectius i les hipòtesis.

Després n'he realitzat el marc teòric. La part teòrica ha estat realitzada bibliogràficament, mitjançant informació de llibres, pàgines web, articles,.. Llegint i entenent la informació per després redactar-la d'una manera que s'adapti al nivell al que es vol arribar en aquest treball.

Seguidament he portat a terme la part pràctica. El mètode utilitzat ha estat: en primer lloc m'he informat per saber què és el que volia trobar, després he fet el disseny d'una pràctica, que ha estat triada segons m'ha semblat que obtindria millors resultats. Després però, a l'hora de posar-la en pràctica al laboratori, no he obtingut bons resultats, així que he trobat un altre mètode per tal de fer l'extracció i la separació dels pigments de les mostres. Així doncs, he realitzat la pràctica tenint en compte els procediments adequats per a una pràctica de laboratori.

Amb l'observació dels resultats i a partir de la informació teòrica i amb recerca bibliogràfica, he identificat els pigments més importants amb la franja corresponent a les colorimetries. Després he avaluat la quantitat de pigment que hi ha en cada mostra en relació amb les altres i n'he tret conclusions.

Un cop acabada la part pràctica, he redactat la introducció, que pretén donar importància al tema tractat, i el resum, que sintetitza la informació que conté el treball.

5.-MARC TEÒRIC

5.1.-El bosc, l'arbre i la fulla

5.1.1.-El bosc

El bosc, a més de ser una reunió d'arbres és un conjunt molt més complex. Cal destacar els conceptes de **biòtop** (el medi físic inanimat: roques, sòl, aigua, atmosfera i minerals) i la **biocenosi** (el medi biològic: arbres i plantes, animals, fongs i microorganismes). Al conjunt dels dos i les seves interaccions en diem **ecosistema**.

En un bosc hi ha diversos estrats o capes, segons l'alçada. En podem distingir tres de principals: l'**estrat arbori** (format per les capçades dels arbres), l'**estrat arbustiu** i lianoide (format per arbustos i lianes respectivament) i l'**estrat herbaci** (inclou plantes petites sense estructura llenyosa).

Els arbres, com tots els éssers vius dels ecosistemes, participen en les cadenes alimentàries*. Són les anomenades **primeres matèries**, la part més baixa de la cadena.

5.1.2.-L'arbre

Cal diferenciar els arbres dels arbustos, les lianes o altres plantes. Els arbres són vegetals llenyosos de més de tres metres d'alçada. Són formats per una arrel i un tronc, del qual en surten les ramificacions que formen la copa. La diferència principal amb els arbustos, és que aquests no tenen un tronc únic, sinó que es ramifiquen des de la base. Les lianes, d'altra banda, són plantes llenyoses amb una tija enfiladissa, que necessiten el suport d'altres arbres i arbustos per elevar-se.

Els arbres són els elements més representatius del bosc. Cal destacar-ne les diferents parts:

-**Les arrels**: fixen l'arbre al terreny i absorbeixen els nutrients del sòl.

-**El tronc**: suporta l'arbre, porta les fulles cap a la llum, condueix l'aigua i els nutrients absorbits (saba bruta*) cap a la capçada i porta les substàncies sintetitzades a les fulles (saba elaborada*)

-Les branques: sostenen les fulles, flors i fruits i hi porten els nutrients.

-Les fulles: encarregades de l'intercanvi de gasos (O_2 i CO_2) i de la transpiració. Fabriquen les substàncies elaborades a partir de la fotosíntesi.

-Les flors: Encarregades de la reproducció.

-Els fruits: Contenen les llavors, que alhora contenen l'embrió per formar nous arbres. Els fruits protegeixen les llavors.

Els arbres poden classificar-se segons la durada de les seves fulles: perennes o caduques. Els de fulla perenne no perden mai el fullatge, a diferència dels de fulla caduca, que sí que el perden en èpoques desfavorables.

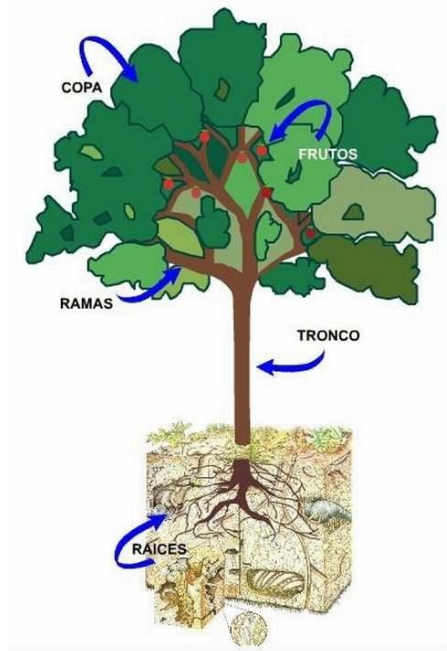


Fig 1. Esquema de les parts de l'arbre

També poden classificar-se segons la forma de la fulla o el fruit: coníferes o planifolis. Les coníferes són els arbres que fan pinyes o cons (pins, avets, cedres,...). Els planifolis són tots els altres amb fulla més o menys plana; no fan pinyes sinó altres fruits més diversos.

D'altra banda, la vida dels arbres no seria possible sense l'existència d'aquests elements:

- **L'AIRE:** És la mescla de gasos que formen l'atmosfera*. Permet l'intercanvi de gasos necessari per a la fotosíntesi i la respiració cel·lular de les fulles. L'oxigen és necessari en aquestes reaccions metabòliques. Els boscos són molt importants per a la creació d'oxigen. Per exemple, una hectàrea* de bosc allibera aproximadament 5 tones d'oxigen anuals (les necessàries perquè respirin 10 persones durant un any)
- **L'AIGUA:** Imprescindible per a tots els éssers vius. És absorbida per les arrels i utilitzada en la fotosíntesi i altres processos vitals. L'aigua circula pels vasos conductors i és expulsada fora de la planta pels estomes*. També es perd aigua per la transpiració de les fulles.

- **EL SÒL:** Mantell de materials situat entre l'aire i la roca. Es forma per la desintegració de la roca mare i per la matèria aportada pels éssers vius i descomposta en forma d'humus* pels organismes descomponedors*. Les seves característiques condicionen les plantes que hi viuen: com més profund i ric en nutrients (sòl franc) millor és el sòl per a la vida vegetal. Les plantes que habiten els boscos protegeixen els sòls de l'erosió.

5.1.3.-La fulla

Una fulla és un òrgan de les plantes, de forma generalment laminar. És habitualment verda amb simetria bilateral*, i especialitzada en la fotosíntesi. Està ubicada sobre la tija de la planta. És plana i fina amb l'objectiu d'exposar els cloroplasts a la llum sobre la màxima superfície. Les fulles també són el lloc on es dona la respiració i la transpiració de les plantes. Poden emmagatzemar aliment i aigua.

Parts de les fulles

- Limbe: part laminar de la fulla, especialitzada en les funcions de fotosíntesi i intercanvi de gasos.
- Pecíol: peu que sosté la fulla
- Base: on el pecíol s'uneix a la tija.

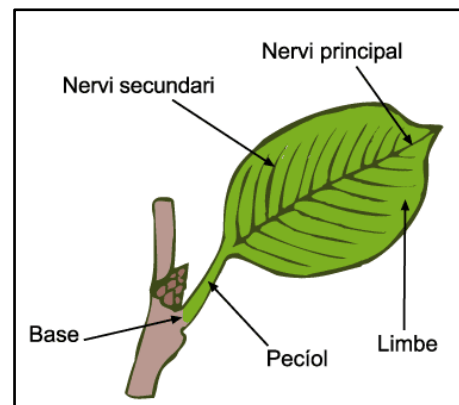


Fig 2. Esquema de les parts de la fulla

Funcions de les fulles

- **Funció clorofil·lica o fotosíntesi:** síntesi de substàncies nutritives i aigua a partir del CO_2 de l'atmosfera. El procés requereix un consum energètic que s'obté a partir de la llum solar i genera O_2 . Durant el dia les plantes desprenen oxigen i absorbeixen CO_2 a través dels estomes.
- **Respiració:** l'energia necessària per a desenvolupar l'activitat biològica s'obté de la metabolització dels productes (glúcids) generats per la fotosíntesi. Encara que la respiració no es dona només en les fulles, l'intercanvi de gasos es fa majoritàriament

a través dels estomes, que són molt més abundants en les fulles que en altres parts de la planta.

- **Transpiració:** és la pèrdua de l'aigua. És un procés fonamental perquè la saba bruta pugui moure's des del sòl fins a la fulla i per controlar la temperatura del vegetal.

Aquestes funcions es veuen afavorides per l'estructura de la fulla i la seva forma laminar, que faciliten l'intercanvi gasós i la recepció de llum. Aquests processos es poden controlar amb l'orientació de la fulla en funció de les necessitats energètiques de la planta.

5.2.-La naturalesa de la llum

Al principi es creia en una teoria corpuscular que explicava la llum com un raig de partícules emeses per les fonts lluminoses. Posteriorment, es va observar que per les lleis de la reflexió i la refracció, la llum podia ser explicada també per la teoria ondulatòria; a la que se li va trobar un punt feble contradictori: l'efecte fotoelèctric*. Així doncs, Einstein* (1905) va postular que l'energia d'un raig de llum, en lloc d'estar distribuïda a través de l'espai en els camps magnètics i elèctrics* d'una ona electromagnètica*, està concentrada en petites partícules anomenades **fotons**.

Així doncs, com que els fotons són un tipus de partícules; la teoria corpuscular torna a tenir validesa. Tot i així, es considera que el fotó té una freqüència, i que l'energia d'un fotó és proporcional a la seva freqüència (igual que les ones); per tant també es manté la teoria ondulatòria. Així doncs, **la naturalesa de la llum ha de ser entesa en les seves dues característiques: ona i partícula.**

5.2.1.-El color

Depèn de la naturalesa de la seva superfície i del tipus de llum que l'il·lumina.

Diem que un objecte té un color determinat quan, amb preferència, reflecteix aquell color. Per exemple, un cos és vermell quan absorbeix en gairebé la seva totalitat totes les radiacions excepte les vermelles, les quals reflexa (o es deixa travessar per elles).

El color dels cossos no és una propietat intrínseca* sinó que va lligat amb la naturalesa de la llum que reben. Així doncs, podem dir que el color és una **propietat extrínseca***.

La llum blanca és una mescla de radiacions de longituds d'ona diferents, que engloben des de la llum vermella, que té la longitud més llarga; fins la violeta, que té la longitud més curta.

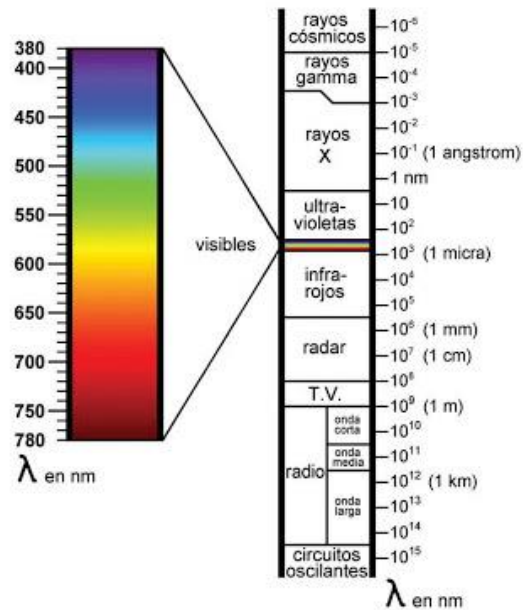


Fig 3. Diagrama de les radiacions cromàtiques

➤ Relació entre els pigments fotosintètics i la llum:

Quan diem que un pigment és d'un color determinat, vol dir que aquest pigment reflexa els raigs de llum amb una longitud d'ona equivalent a aquest color. Per exemple, la clorofil·la a absorbeix les longituds d'ona corresponent als tons blaus i vermells, i per tant la llum reflectida és la resta (les longituds d'ona corresponents a verds i grocs) de què en resulta el color verd.

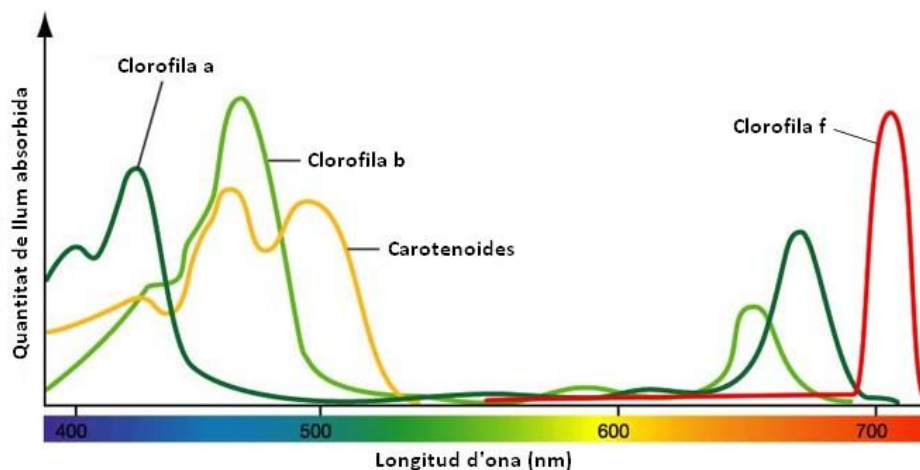


Fig 4. Gràfic: Quantitat de llum absorbida en relació a la longitud d'ona de diversos pigments

5.3.-La pigmentació

L'origen etimològic del mot “pigment” es troba al llatí “pigmentum” i pot traduir-se com “substància que dóna color”.

La pigmentació és la coloració d'una part determinada de l'organisme d'un ésser viu, pel seu contingut en pigments. Els pigments són substàncies amb propietats cromàtiques que intervenen en diversos processos biològics, tant en els vegetals (on cal destacar la clorofil·la i els carotenoides) com en els animals (on destaquen la melanina i els pigments respiratoris com l'hemoglobina).

5.3.1.-Els pigments fotosintètics

Són pigments que intervenen en l'activitat fotosintètica. N'hi ha diversos, però aquests són els més importants en les plantes:

- Clorofil·les: clorofil·la a i clorofil·la b
- Carotenoides: carotens i xantofil·les
- Feofitines: feofitina a i feofitina b

5.3.1.1.- Les clorofil·les

Les clorofil·les són una família de pigments verds que es troben en tots aquells organismes amb cloroplasts a l'interior de les seves cèl·lules: plantes i algues. La clorofil·la és extremadament important, ja que realitza una funció clau en la fotosíntesi.

Estructura química: són molècules lipídiques. La clorofil·la està constituïda per un anell porfirínic* amb un àtom de magnesi al centre i un fitol (monoalcohol de 20 carbonis).

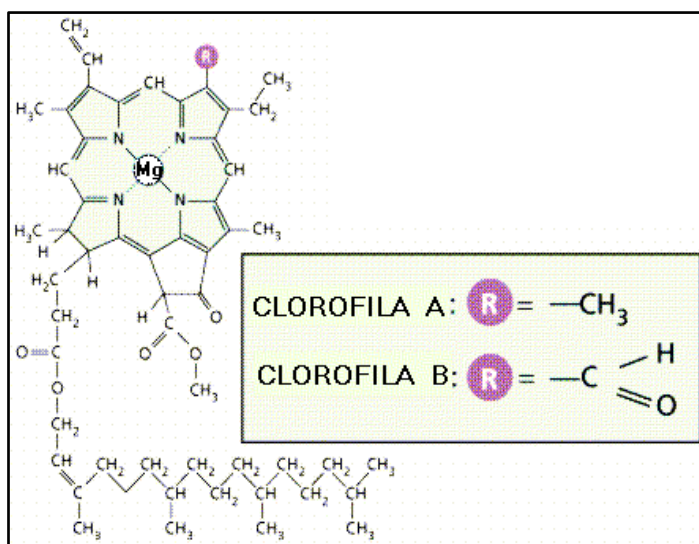


Fig 5. Esquema de la molècula clorofil·la. El fitol és l'alcohol de la part baixa de la imatge.

És una molècula amfipàtica*, en que la porfirina és el pol hidròfil* i el fitol el pol lipòfil*. El cap polar és qui absorbeix la llum.

5.3.1.2-Els carotenoides

Són compostos lipídics que presenten colors que van del groc al porpra. Es poden considerar derivats del licopè*, un pigment que es troba als tomàquets i altres plantes. N'hi ha uns 200 tipus, cadascun amb tonalitats diferents.

Estructura química: Tots els carotenoides són isoprenoides* de cadena llarga, compostos per un hidrocarbur* llarg.

Tipus:

- **Carotens:** Són els carotenoides hidrogenats (només formats per carboni i hidrogen). Tenen activitat antioxidant* en la cèl·lula i també són una font de vitamina A*; podem dir que són indispensables per a la vida a causa de les seves múltiples funcions. Es coneixen uns 600 tipus de molècules que corresponen a aquest grup. Tenen una coloració vermellosa i ataronjada.

Alguns exemples són:

- β -carotens (pastanaga)
- α -carotens (pastanaga, bròquil, espinacs)
- Licopè (tomàquet)
- α -criptoxantina (pètals de flors)
- β -criptoxantina (taronges)

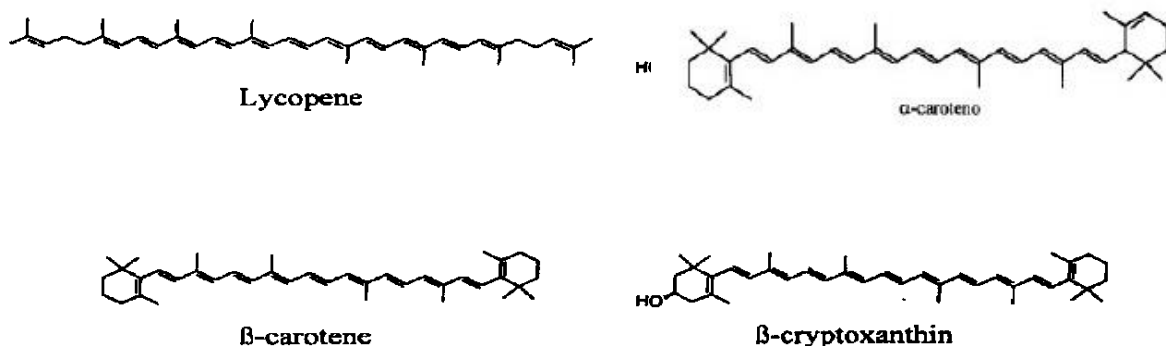


Fig 6. Esquemes de les molècules dels principals carotens

- **Xantofil·les:** contenen carboni, hidrogen i també oxigen. Tenen una coloració grogosa o fins i tot marronosa. Alguns exemples són:

- Luteïna (bròquil, mongetes verdes, espinacs)
- Zeaxantina (blat de moro)
- Capsantina (pebrot comú)
- Cantaxantina (salmó, crustacis, bolets)
- Astaxantina (salmó, crustacis)

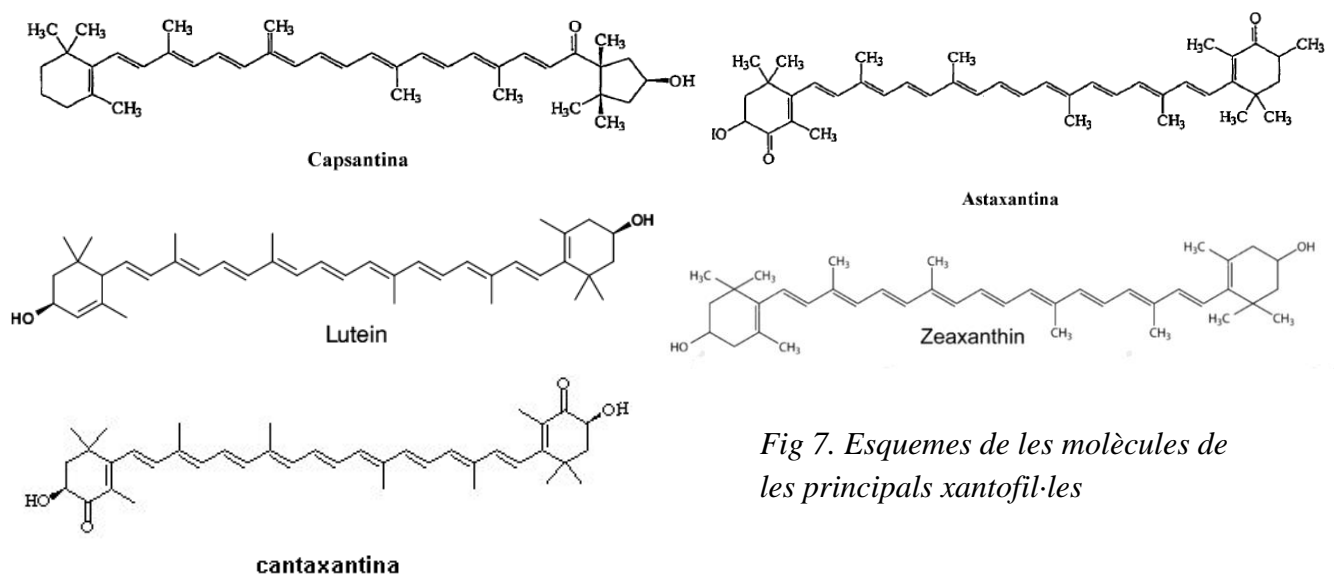


Fig 7. Esquemes de les molècules de les principals xantofil·les

5.2.1.3.- Les feofitines

És un compost químic i un pigment fotosintètic intervén en el procés de transport d'electrons al fotosistema II.

- Feofitina a: Com la clorofil·la a però sense l'ió magnesi central. Té un color blau grisenc.
- Feofitina b: Com la clorofil·la b però sense l'ió magnesi central. Té un color blau groguenc.

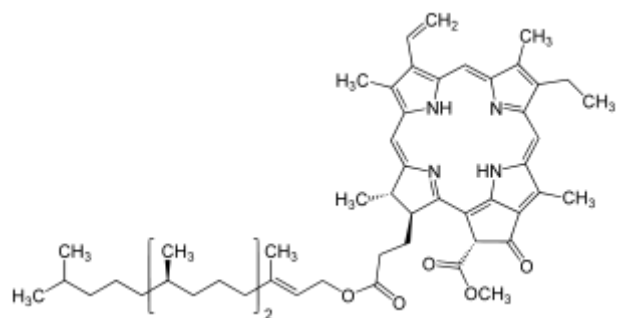


Fig 8. Esquema de la molècula feofitina a

5.3.2.-La velocitat de difusió dels pigments

És el que determina que un pigment ocupi una posició o una altra en una cromatografia.

La velocitat de difusió depèn de la solubilitat dels pigments en el medi en què s'han de moure (en aquest cas, el paper de filtre). Com més gran és la velocitat de difusió, més soluble és el pigment, i per tant més recorregut realitza abans d'aturar-se.

Els pigments més habituals ordenats de més a menys velocitat de difusió: carotens i xantofil·les (carotenoides), clorofil·la a i clorofil·la b (clorofil·les).

5.4.-La nutrició autòtrofa: fotosíntesi

5.4.1.- Els tipus de nutrició

-Autòtrofa: A partir de materials inorgànics (diòxid de carboni, aigua i sals minerals)

- Fotosíntesi: ús de la llum com a font d'energia. Pròpia de les plantes, algues i alguns bacteris.
- Quimiosíntesi: ús de determinades reaccions químiques com a font d'energia. Pròpia d'alguns bacteris o dels organismes heteròtrofs un cop han ingerit matèria orgànica.

-Heteròtrofa: a partir de matèria orgànica procedent d'altres organismes. Pròpia dels animals, fongs i molts bacteris.

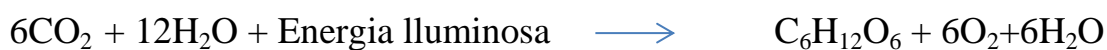
Així doncs, la nutrició de les plantes és autòtrofa i fotosintètica.

5.4.2.- El procés de la fotosíntesi

La fotosíntesi és un tipus de nutrició autòtrofa. **És la conversió d'energia lluminosa en energia química, que queda emmagatzemada en molècules orgàniques.**

Aquest procés és realitzat per les plantes, les algues i alguns bacteris.

La reacció real del procés és:



Però es simplifica en:



$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$: Glucosa. Encara que poden ser d'altres compostos (generalment glúcids), la glucosa és el més comú.

La funció dels pigments fotosintètics és captar energia lluminosa per activar els electrons i transferir-los a altres àtoms, originant així una reacció química. Després, el procés es centra en recuperar aquests electrons perduts, que pot fer-se a partir de la descomposició d' H_2O o de H_2S .

Hi ha dos tipus de fotosíntesi: la **fotosíntesi oxigènica** (que descompon H_2O en $2\text{H}^+ + \text{O}_2 + 2$ electrons, i per tant allibera oxigen. És la fotosíntesi que realitzen les plantes, algues i cianobacteris) i la **fotosíntesi anoxigènica o bacteriana** (descompon H_2S en $2\text{H}^+ + \text{S} + 2$ electrons, i allibera sofre. La realitzen bacteris porprats i verds.)

També es poden distingir tres tipus de processos, segons el tipus d'àtom que s'incorpori a la matèria orgànica: **compostos de Carboni, compostos de Nitrogen o compostos de Sofre**. El tipus més comú és el de carboni.

5.4.2.1.- Fotosíntesi a partir de compostos amb carboni

-Fase lluminosa/fotoquímica: La clorofil·la absorbeix energia lluminosa i la utilitza per fabricar ATP*. En el procés s'utilitza l'aigua i s'obté oxigen. En aquesta fase es converteix l'energia solar en energia química. També hi ha una fotòlisi de l'aigua (trencament dels seus enllaços a causa de l'energia lluminosa). Pot realitzar-se mitjançant:

- Transport cíclic d'electrons
- Transport acíclic d'electrons

-Fase fosca: conjunt de reaccions independents a la llum que poden ocórrer tant de dia com de nit. Es desenvolupa a dins de les cèl·lules de les fulles i no en la seva superfície cel·lular. Aquestes reaccions necessiten l'ATP sintetitzat en la fase lluminosa per convertir el diòxid de carboni i altres compostos en glucosa.

CICLE DE CALVIN: Síntesi de compostos de carboni

El cicle de Calvin és el procés en el qual el diòxid de carboni s'incorpora a la ribulosa-1.5-bifosfat que acaba donant una molècula de glucosa que la planta utilitza com a energia i com a font de carboni.

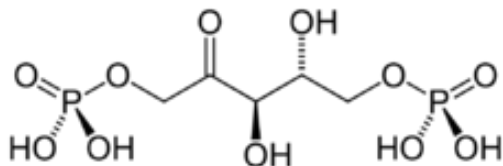


Fig 9. Estructura de la molècula ribulosa-1.5-bifosfat

5.4.2.2.- Fotosíntesi a partir de compostos amb nitrogen i sofre

Compostos amb nitrogen

Es realitza a partir dels ions nitrats al sòl, i també amb les molècules d'ATP sintetitzades a la fase lluminosa.

L'ió nitrats (NO_3^-) es redueix a nitrit (NO_2^-), que després es redueix a amoníac (NH_3). L'amoníac és reconegut ràpidament per la planta com a tòxic, i el transforma en àcid glutàmic, a partir del qual els àtoms de nitrogen poden donar lloc a altres aminoàcids.

Compostos amb sofre:

A partir de NADPH* i ATP obtinguts en la fase lluminosa. Es redueix l'ió sulfat (SO_4^-) a sulfit (SO_3^{2-}) i després a H_2S , que combinat amb acetilserina dóna lloc a l'aminoàcid cisteïna (Cys).

5.4.3.- Localització intracel·lular de la fotosíntesi: cloroplasts

Els cloroplasts són orgànuls presents a les cèl·lules de les plantes i algues eucariotes que realitzen la fotosíntesi.

Els cloroplasts capturen l'energia de la llum del sol per produir energia lliure emmagatzemada a l'ATP i

el NADPH mitjançant un procés anomenat fotosíntesi.

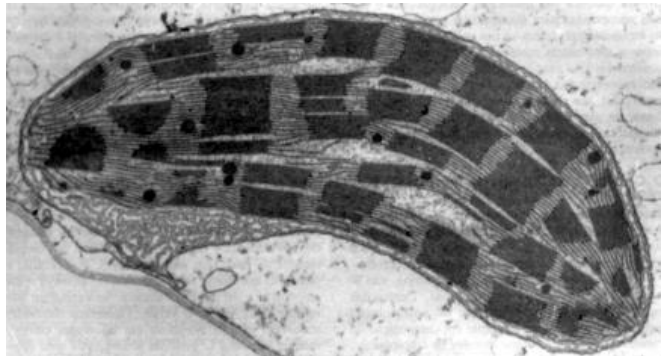


Fig 10. Cloroplast vist des del microscopi

Funció: Els cloroplasts estan especialitzats en el metabolisme energètic i al seu interior es produeixen les reaccions de la fotosíntesi. En presència de llum solar produeixen metabolits rics en energia i O_2 a partir dels electrons de l'aigua, l'energia de la llum i el CO_2 segons la reacció general.

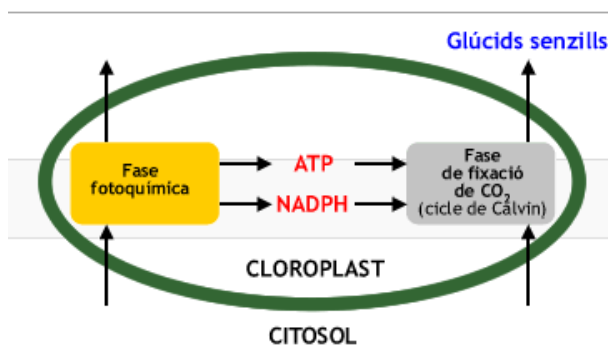


Fig 11. Esquema de les reaccions fotosintètiques situades als cloroplasts

Estructura: La seva estructura és força complexa. Tenen dues membranes, una d'externa que la delimita i una altra d'internal amb nombrosos plects cap a l'interior anomenats *lamel·les*. En aquests plects hi ha situats uns corpuscles apilats que es diuen *grana*, de color verd, i és en ells on està situada la clorofil·la.

L'espai que queda entre els grana s'anomena *estroma*.

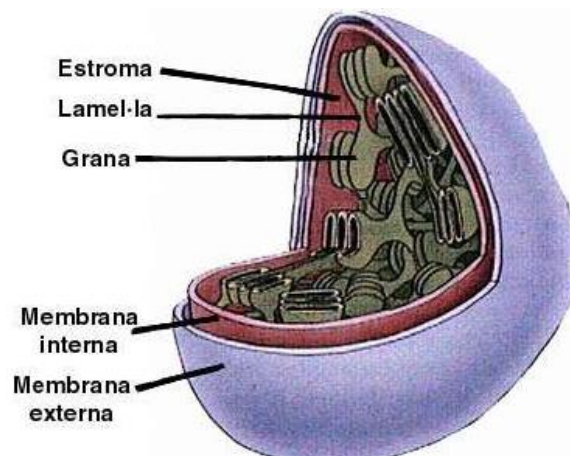


Fig 12. Esquema de les parts del cloroplast

Contenen una petita quantitat d'ADN diferent del nucli i uns pocs ribosomes diferents dels citoplasmàtics.

A l'interior dels cloroplasts hi ha els fotosistemes. Els **fotosistemes** són els òrgans fonamentals per a la fotosíntesi; són complexos proteics, situats a les membranes dels tilacoides (sacs membranosos i aplanats dels cloroplasts) on s'agrupen els pigments fotosintètics. Hi ha dos tipus de fotosistemes:

- **Fotosistema I (FI).** El pigment diana del qual és la clorofil·la a (verd fosc), que capta la llum de longitud d'ona menor o igual a 700 nm. També se l'anomena clorofil·la P700. Aquest fotosistema és capaç de trencar la molècula d'aigua per aconseguir electrons.
- **Fotosistema II (FII).** El pigment diana del qual és la clorofil·la b (verd groguenc), que pot captar longituds d'ona menors o iguals a 680nm (clorofil·la P680). No pot trencar la molècula d'aigua.

Els dos fotosistemes deixen una zona de l'espectre sense absorbir, que correspon al color verd. Per això veiem les clorofil·les d'aquest color.

5.5.-Informació teòrica de la pràctica

5.5.1.-Què és la cromatografia en paper?

La cromatografia o colorimetria és una tècnica de separació basada en el principi de retenció selectiva*, que permet separar els diferents components d'una mescla facilitant la seva identificació i quantificació.

La cromatografia en paper és un tipus de **cromatografia plana**, per la qual la fase mòbil (la mescla de fulles i acetona) puja directament, per capil·laritat, per la fase estacionària (el paper).

Un altre tipus de cromatografia plana és la cromatografia de capa fina, com pot ser l'experiment de la gasolina que també he realitzat. En aquest cas, la fase mòbil es posa en la fase estacionària, i amb un dissolvent orgànic es fa pujar.

5.5.2.-Les fitxes dels arbres

Els arbres són: prunera de fulla vermella o mirabolà (*Prunus cerasifera* 'Atropurpurea'), arboç (*Arbutus unedo*), moixera (*Sorbus torminalis*) i om (*Ulmus Minor*).

- *Prunus cerasifera* 'Atropurpurea'

Nom vulgar: cirerer vermell, cirerer de fulla vermella, cirerer de Pissard, cirerer japonès

Sinònims: *Prunus cerasifera* var. *pissardii*.

Família: Rosaceae

Descripció: És un arbre de forma esfèrica de mesura mitjana a petita, arribant a fer uns 10 m d'alçada.

Origen: Oest d'Àsia, Càucàs

Fulla: Caduca, alterna*, el·líptica*, de 4 a 7 cm, finament dentades i de color porpra.

Flor: Apareix abans del fullatge, a finals d'hivern o principis de primavera. L'arbre es cobreix de flors petites de color rosat i de cinc pètals.

Fruit: drupes* de color vermell fosc.



Fig 13. Cirerer vermell (*Prunus cerasifera*)



Fig 14. Fulles des d'aprop, *Prunus cerasifera*

- ***Arbutus unedo*:**

Nom vulgar: arboç

Família: Ericaceae

Descripció: Arbust gran o arbre que mesura de 8 a 10 metres d'alçada

Origen: Litoral de l'Europa meridional i el sud-est (característic de la Mediterrània)

Fulla: Brillants, de color verd fosc. El·líptiques, acuminades* i de base atenuada*, alternes, dentades i amb el nervi central marcat. Està en un procés constant de canvi de fulles.

Flor: Blanques o rosades, en forma de urna. Neixen a la tardor juntament amb els fruits.

Fruit: baia grogosa ataronjada amb propietats etíliques.



Fig 15. Arboç (Arbutus unedo)



Fig 16. Fulles des d'aprop, Arbutus unedo

- *Sorbus torminalis*:

Nom vulgar: moixera

Família: Rosaceae

Descripció: Arbre que pot arribar fins als 25 metres.

Origen: Europa central i meridional, Àsia occidental i nord d'Àfrica.

Fulla: Caducifòlies, simples, ovades*, amb lòbuls triangulars irregularment serrats. De color verd fosc en la cara superior i verd clar a la inferior.

Flor: agrupades, petites i de color blanc.

Fruit: Madura entre setembre i octubre i són de color vermell marronós.



Fig 17. Moixera (Sorbus torminalis)

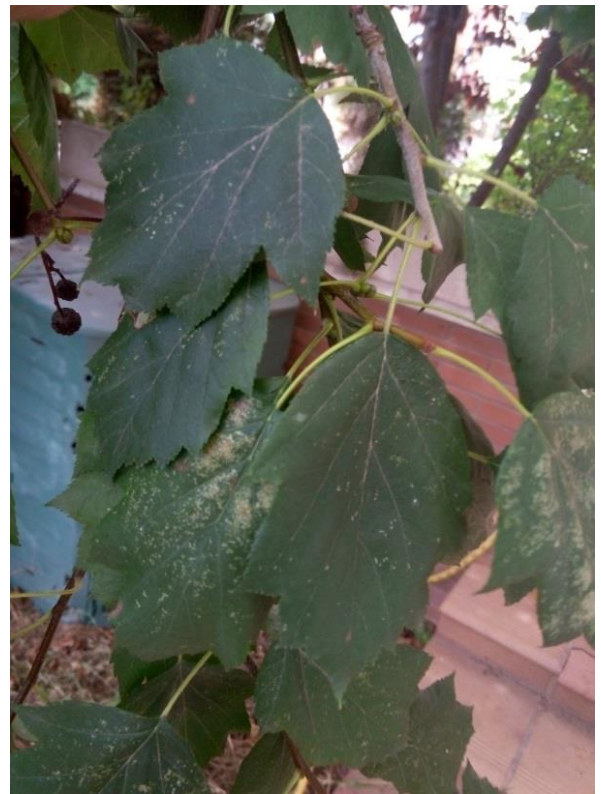


Fig 18. Fulles des d'aprop, Sorbus torminalis

- ***Ulmus minor*:**

Nom vulgar: Om

Sinònims: *Ulmus campestris* auct. non L., *Ulmus carpinifolia* Rupp ex Suckow.

Família: Ulmaceae

Descripció: Té una alçada màxima de 30 metres.

Origen: Europa, nord i oest d'Àsia i nord d'Amèrica

Fulla: Caduques, simples i alternes*. Ovalades, de fins a 8 cm i desiguals en la base. Són de color verd, dentades. A la tardor es tornen groguenques.

Flor: Apareixen abans que el fullatge, en agrupacions vermelloses

Fruit: Allargat, envoltat d'una ala plana, i apareixen en grups.



Fig 19. Om (Ulmus minor)



Fig. 20. Fulles des d'aprop (Ulmus minor)

6.-PART PRÀCTICA

Per a aquesta part del treball, havia pensat portar a terme una pràctica que involucra la gasolina (veure Annex I, Annex 1); però com que no vaig obtenir bons resultats, vaig fer servir un mètode cromatogràfic que també actua gràcies a la capil·laritat però que m'ha permès obtenir uns resultats molt més clars.

Realitzaré la pràctica tres vegades (el 15 d'agost, el 14 de setembre i el 10 d'octubre), i cada cop analitzaré els quatre arbres que he triat.

Ho faré d'aquesta manera degut a que en aquest període de temps és en el que les fulles experimenten uns canvis més considerables degut la variació en la pigmentació per la tardor. Les quatre parts seguiran el mateix esquema, el que canviaran són els resultats que obtindré.

En el primer anàlisi, vaig provar dos mètodes ja que el primer no em va donar uns resultats prou satisfactoris. També vaig repetir l'experiment amb els dos tipus de paper de filtre (el normal de laboratori, i el paper de filtre de cafè) per trobar el que em donava uns resultats més clars.

Finalment, faré una comparació de la variació que hi ha hagut en la pigmentació segons l'observació de les diverses colorimetries obtingudes a les pràctiques, també faré una identificació dels pigments observats.

6.1.- Objectius

- Aconseguir una cromatografia dels pigments de cada anàlisi i cada arbre
- Triar amb quin paper de filtre hi ha millors resultats
- A partir de la cromatografia, determinar quina franja de color pertany a quin pigment
- Un cop fetes les dues parts de la pràctica, fer una comparació sobre el canvi de les fulles en relació a la quantitat de pigment.
- Aconseguir que es puguin veure els canvis en les cromatografies.

6.2.-Material

-Fulles

-Paper de filtre

-Embut

-Acetona

-Morter

-Tisores per tallar fulles

-Vas de precipitats (2)

-Paper de filtre de cafè



Fig 21. Material utilitzat en la pràctica

6.3.-Procediments

- 1) Tallar les fulles amb les tisores per tal de treure'ls els nervis (sobretot els centrals).



Fig 22. Resultat després de realitzar el primer pas

- 2) Pesar una quantitat determinada de fulles per tal que coincideixi en la resta d'arbres. Jo he pesat 5 grams. Com que he utilitzat un foli per després posar-hi les fulles, després de posar el foli he fet la tara per tal que el pes que marcava la balança fos el de les fulles.



Fig 23. Resultat després del segon pas

- 3) Col·locar les fulles al morter, afegir-hi acetona i trencar les fulles per tal que les cèl·lules es trenquin i alliberin la pigmentació. És important realitzar aquest procés amb força per tal que les cèl·lules es trenquin completament. La quantitat de acetona que he fet servir per a 5 grams de fulles ha estat de 25 mL.



Fig 24. Resultat després del tercer pas

- 4) Amb el filtre posat a la part ample de l'embut, colar la mostra. Col·loquem un vas de precipitats sota l'embut per recollir-la.



Fig 25. Muntatge amb l'embut



Fig 26. Col·locació del filtre a l'embut

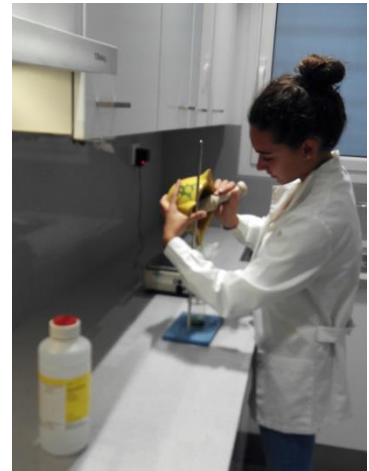


Fig 27. Foto meva colant la mescla

- 5) Agafar una tira de paper de filtre i el tallem en forma rectangular i allargada.



Fig 28. Tallem un tros de paper de filtre de paper amb forma rectangular

- 6) Posar la tira de paper de filtre a dins el vas de precipitats. Per tal que la tira s'aguanti de manera vertical, vaig realitzar aquest muntatge:

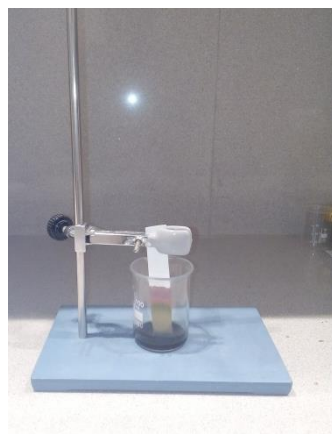


Fig 29. Muntatge per tal que la tira conservi la posició vertical

6.4.-Resultats: Identificació i evolució dels pigments

Per a cada arbre, al primer resultat he fet la identificació dels pigments que contenen les fulles de l'arbre determinat i després n'he vist l'evolució. L'exterior de les fulles està determinat per les que hi ha a l'herbari de l'Annex II.

Prunera vermella (*Prunus cerasifera* 'Atropurpurea'):

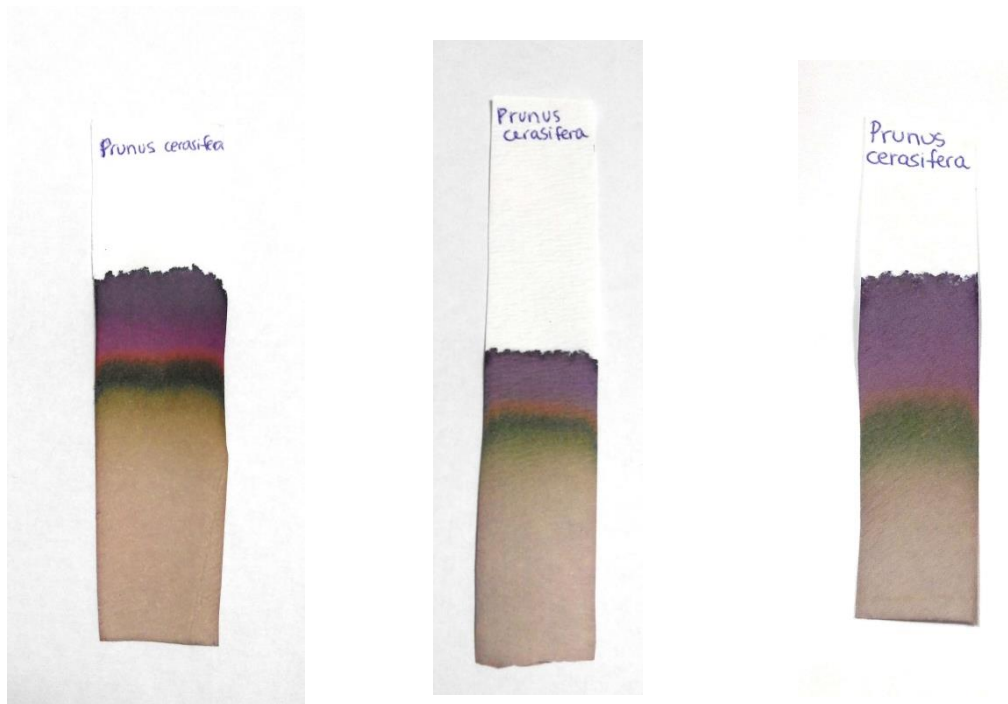


Fig 30. Resultats obtinguts a la pràctica de Prunus cerasifera. D'esquerra a dreta: 15 d'agost, 14 de setembre i 10 d'octubre (del 2016)

Inicialment (15 d'agost del 2016): Podem apreciar 6 franges més o menys clares. De sota cap amunt: la primera és d'un to lila clar, corresponent a algun carotè i la segona és verd clar, que correspon a la clorofil·la b; aquestes dues franges estan difuminades, ja que els carotens tenen un color més intens, però sobretot en la part de contacte amb la següent franja, es diferencia el color verd clar. La tercera és de color verd fosc, que és la clorofil·la a. Després hi ha una franja de color groc que correspon a les xantofil·les.

Finalment la cinquena i sisena franja, les dues de color lila, la primera d'un to clar i la segona més fosca. Les dues corresponen a carotens.

En el cas de la prunera, els tons no són gaire clars perquè aquest arbre conté molts carotens que es queden “pel camí” i fan que els resultats no siguin tant clars, ja que tenyeixen la resta de franges.

Evolució: La prunera és un arbre que no pateix gaires canvis en la coloració de les seves fulles, per tant, com s’aprecia en els resultats i podíem preveure, no hi ha hagut canvis gaire significatius.

Però tot i així, és destacable la disminució de pigment en la clorofil·la: a l’inici el tipus més abundant és la a, però aquesta es va difuminant i finalment no es diferencia de l’altre tipus, la clorofil·la b.

En quant als carotens de la darrera franja, aquesta augmenta de mida, i també se’n difuminen les últimes dues franges (al principi es diferenciava una franja de lila clar i una de lila fosc i finalment no).

Exteriorment: les fulles de la prunera no han patit cap canvi destacable, encara que a partir de la data que correspon al segon anàlisi les fulles comencen a prendre tonalitats verdoses.

Tot i així, les fulles sí que han canviat la seva consistència: a l’últim anàlisi estaven molt més fràgils i s’arrencaven amb facilitat; i també estaven en mal estat (poques es trobaven senceres) degut a la seva fragilitat.

Esquema:

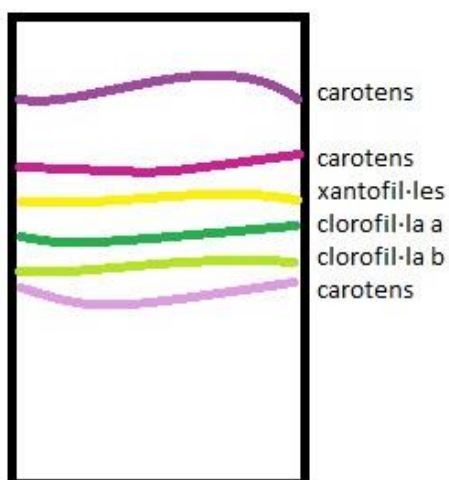


Fig 31. Esquema dels pigments de les fulles del Prunus cerasifera

Arboç (*Arbutus unedo*):

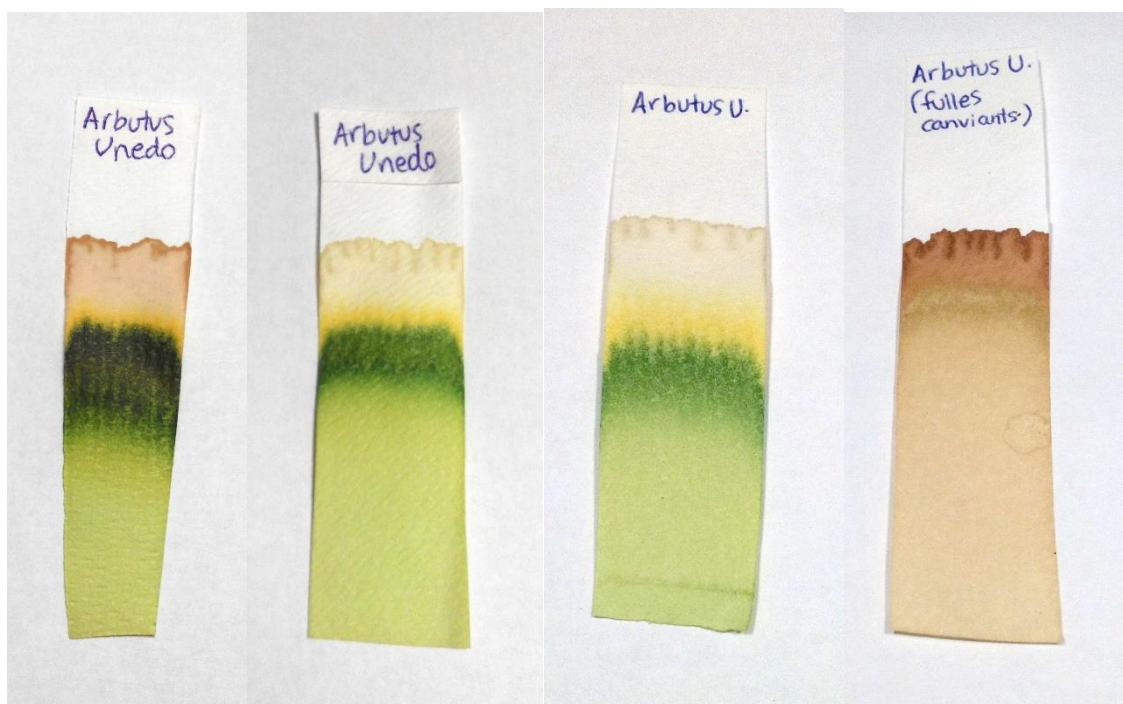


Fig 32. Resultats obtinguts a la pràctica de Arbutus unedo.

D'esquerra a dreta: 15 d'agost, 14 de setembre, 10 d'octubre (fulles verdes), i 10 d'octubre (fulles en procés de canvi) del 2016

Com que l'arboç és un arbre mediterrani, és de fulla perenne, i per tant es troba constantment en procés de canvi. Les tres primeres imatges corresponen a les cromatografies de les fulles verdes, i l'última correspon a una cromatografia realitzada de fulles que es trobaven en el procés de canvi el dia 10 d'octubre.

Inicialment (15 d'agost del 2016): En aquesta cromatografia es poden distingir 4 franges. La primera, de color verd clar, correspon a la clorofil·la b. La segona, verd fosc, correspon a la clorofil·la a. Després de la segona franja, hi ha una tercera franja, força prima, de color groc, correspon a les xantofil·les.

Finalment hi ha una quarta franja, de color marró, que segurament correspon a carotens. Podríem distingir-ne una cinquena franja d'un to marró més fosc, que correspondria a un altre tipus de carotens.

Evolució: Les fulles verdes de l'arboç no han patit canvis realment significatius, però hi ha hagut petits canvis: hi ha hagut una disminució de la clorofil·la a.

També es pot apreciar un canvi en la coloració en els carotens: en la primera cromatografia s'aprecia que l'última franja té una tonalitat diferent a la resta.

Aquests resultats poden ser sorprenents, ja que suposadament les fulles no haurien d'haver patit cap canvi, i de fet, exteriorment no se n'aprecien. Tot i així, l'explicació que he trobat han estat les condicions climàtiques: va haver una temporada de sequera als mesos d'agost i setembre.

En quant a la coloració dels carotens de la primera fotografia, l'explicació de que siguin diferents és que devia agafar alguna fulla que es trobés en procés de canvi (ja que si ho comparem amb la cromatografia de les fulles en procés de canvi, els tons coincideixen).

Respecte la cromatografia de les fulles en procés de canvi, hi abunden els tons marronosos; tot i que podem intuir les franges de les clorofil·les i les xantofil·les en uns tons molt més foscos i ja gairebé inexistents.

Exteriorment: No s'aprecia cap canvi en les fulles.

Esquema:

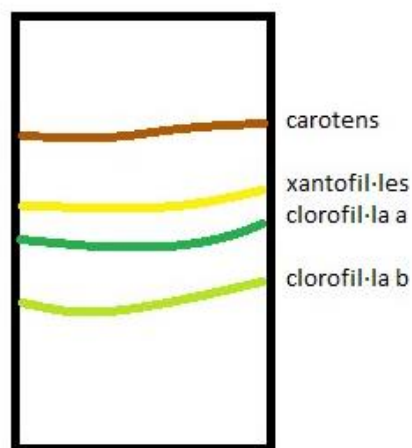


Fig 33. Esquema dels pigments de les fulles d'Arbutus unedo

Moixera (*Sorbus torminalis*):

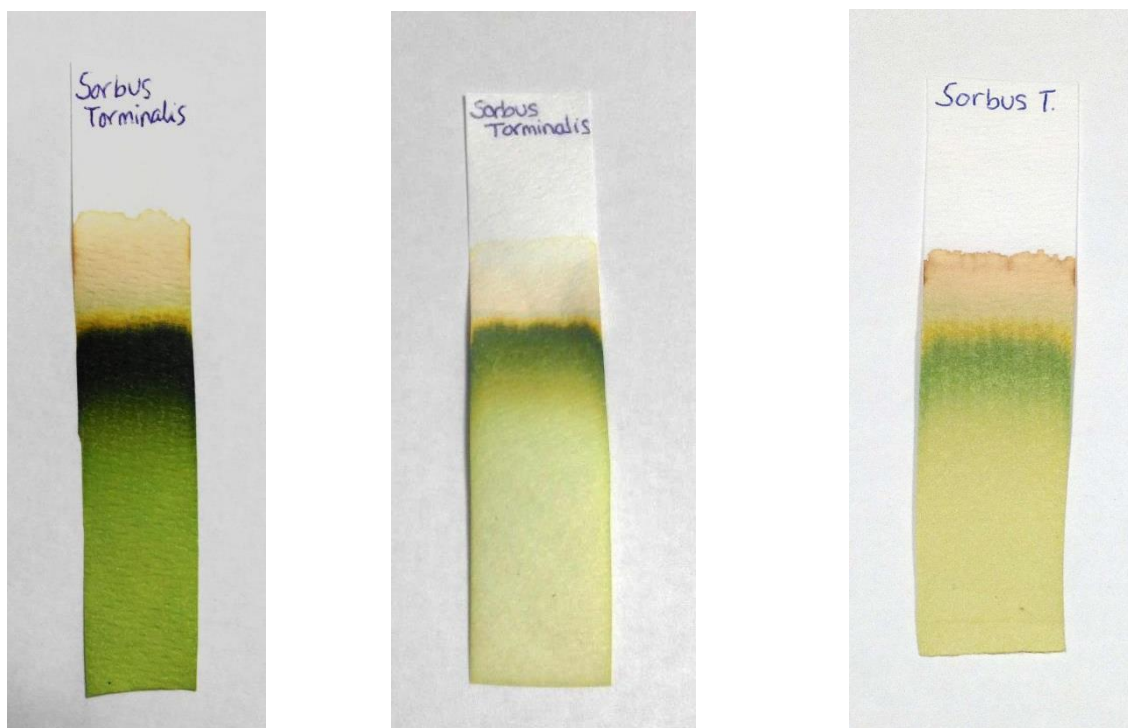


Fig 34. Resultats obtinguts a la pràctica del Sorbus torminalis.

D'esquerra a dreta: 15 d'agost, 14 de setembre, 10 d'octubre (del 2016)

Inicialment (15 d'agost del 2016): Hi podem distingir 5 franges, encara que algunes no estan gaire clares. De sota cap amunt: la primera, de color verd clar, correspon a la clorofil·la b i la segona, força intensa i de color verd fosc, a la clorofil·la a.

Després hi ha una franja prima, de color groc intens, que correspon a les xantofil·les.

La quarta franja (que no es distingeix gaire en la fotografia) és de color blau probablement correspon a la feofitina. Després, la cinquena franja, d'un to marró, probablement correspon a carotens.

Evolució: El canvi més significatiu és la pèrdua de pigmentació del primer al segon anàlisi: podem veure com perd gairebé tota la clorofil·la b (verd clar) i molta clorofil·la a. El canvi en la intensitat de la franja de color verd fosc és realment important.

Les xantofil·les no pateixen cap canvi significatiu; a la primera i la segona cromatografia gairebé no s'aprecia la franja de color groc perquè la franja de clorofil·la

a se superposa, en part, a les xantofil·les. Quan la clorofil·la a és menys abundant això permet que es pugui veure millor la franja de xantofil·les.

La franja de pigment blau, possiblement feofitina, també perd intensitat però no desapareix totalment.

En quant als carotens, no segueixen cap evolució clara. L'explicació per a aquest fet és que la concentració de carotens depèn de les fulles triades per a realitzar-ne l'anàlisi, i si són fulles seques o no, així que depenent de si hi havia alguna fulla ja seca o no les franja de les cromatografies serà més intensa o no.

Exteriorment: les fulles han passat d'un color verd fosc a un to groguenc, i a la darrera fulla comencen a aparèixer les tonalitats marronoses. Finalment també estaven molt més dèbils i fràgils, per tant queien amb més facilitat.

Esquema:

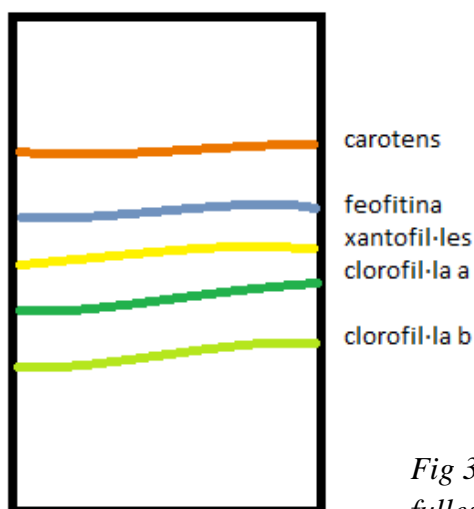


Fig 35. Esquema dels pigments de les fulles del Sorbus torminalis

Om (*Ulmus minor*):

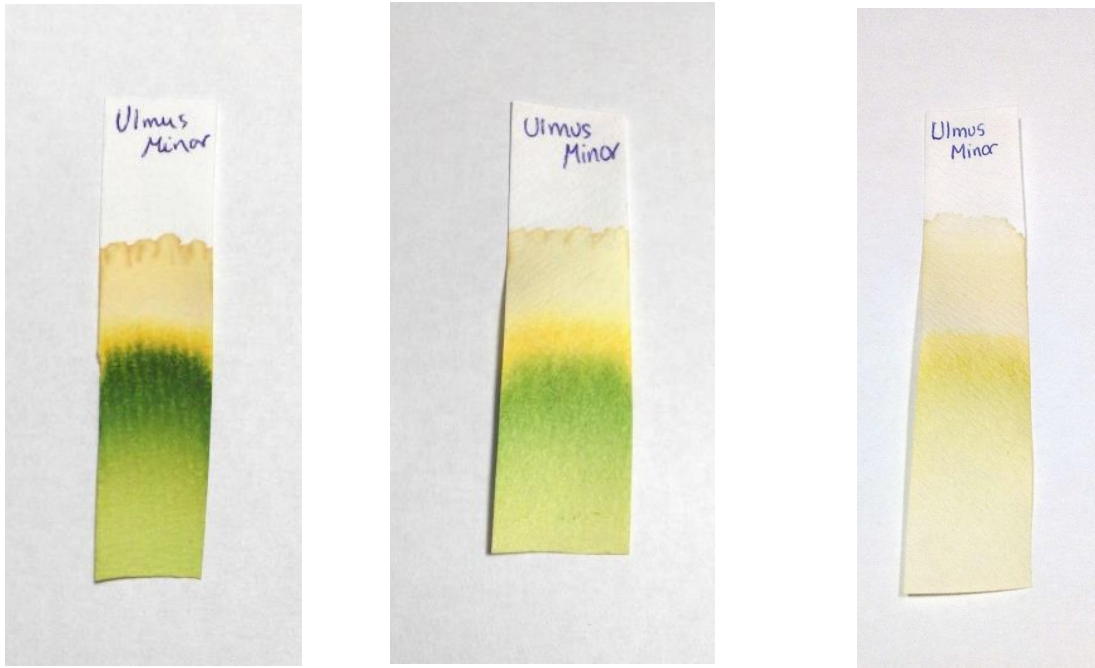


Fig 36. Resultats obtinguts a la pràctica de l'Ulmus minor.

D'esquerra a dreta: 15 d'agost, 14 de setembre, 10 d'octubre del 2016

Inicialment (15 d'agost del 2016): Hi podem distingir 4 franges (de sota cap amunt): La primera, de color verd clar, correspon a la clorofil·la b i la segona, verd fosc, a la clorofil·la a.

Després hi ha una franja prima, de color groc intens, que correspon a les xantofil·les. La quarta franja, d'un to marró, correspon als carotens. A la part més alta de la cromatografia es pot veure com la franja dels pigments carotens està subdividida en una franja de pigmentació clara i una de fosca, corresponents a dos tipus diferents de pigments de la família dels carotens.

Evolució: L'om pateix uns canvis realment significatius. Podem apreciar que, en el primer anàlisi la clorofil·la a és d'un to força intens, al segon anàlisi veiem que ja és molt més clar i finalment a l'últim anàlisi ja no queda cap rastre de la clorofil·la: ni la de tipus a ni la de tipus b. Això ens indica que l'om és un arbre que de seguida capta els estímuls que suposen l'arribada de la tardor i inicia ràpidament el mecanisme per tal de deixar de produir clorofil·la.

En quant a les xantofil·les, no veiem gaire disminució en el pigment; però la desaparició de la clorofil·la suposa una millor visualització d'aquests pigments

Els carotens també han disminuït en quant a intensitat; a la primera i la segona cromatografies es diferencien dues franges de carotens (una de color marró clar i l'altra de marró fosc), i a la darrera cromatografia ja no s'aprecien les dues franges.

Exteriorment: les fulles han patit canvis realment significatius; inicialment tenien un to verd intens i progressivament van anar tenyint-se de groc, encara que no estaven més dèbils. Un cop grogues, perden la pigmentació (adopten una tonalitat marronosa) i finalment cauen.

Esquema:

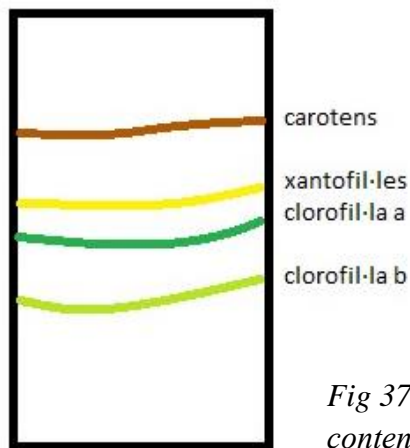


Fig 37. Esquema dels pigments que contenen les fulles de l'Ulmus minor

6.5.- Canvi en l'exterior dels arbres

Prunus cerasifera ('Atropurpurea')



Fig. 38. Fotografia de l'estat inicial (15 d'agost) de la prunera



Fig. 39. Fotografia de l'estat final (10 d'octubre) de la prunera

Arbutus unedo



Fig. 40. Fotografia de l'estat inicial (15 d'agost) de l'arboç



Fig. 41. Fotografia de l'estat final (10 d'octubre) de l'arboç

Sorbus torminalis



Fig 42. Fotografia de l'estat inicial (15 d'agost) de la moixera



Fig 43. Fotografia de l'estat final (10 d'octubre) de la moixera

Ulmus minor



Fig 44. Fotografia de l'estat inicial (15 d'agost) de l'om



Fig 45. Fotografia de l'estat final (10 d'octubre) de l'om

6.6.- Explicació biològica del procés

L'època de creixement dels arbres acaba a finals de juny aproximadament. La funció d'aquesta època és emmagatzemar carbohidrats per a l'època de creixement del pròxim any; aquests carbohidrats s'emmagatzemen a les branques, i l'escorça dels arbres. Després d'aquesta etapa, les fulles es mantenen estables fins que, a finals d'estiu, comencen a deteriorar-se fins que moren, aproximadament a finals d'octubre i principis de novembre.

Així doncs, quan arriba el fred (molt abans de la mort de la fulla) l'arbre rep l'estímul de deixar de produir pigmentació (sobretot clorofil·la). Els factors que intervenen en que l'arbre aturi la seva producció són la baixada de les temperatures i la menor disposició de llum solar.

Quan les nits s'allarguen i els dies s'escurcen, en algun moment les nits arriben a un valor llindar (a partir de quan comença a ser significant), les cèl·lules properes a la junta de la tija amb la cèl·lula es divideixen ràpidament, però no s'expandeixen (sinó podria causar-se un tumor). Aquesta capa fa de tap, i va dificultant progressivament el transport de materials com carbohidrats i minerals des de les arrels (passant per les branques) a les fulles; el que provoca que les fulles vagin deteriorant-se i no segueixin creixent.

Quan la pigmentació de les fulles és verda, el que passa a l'interior de la planta és que la clorofil·la està sent constantment reemplaçada degut a que es degrada ràpidament per l'exposició a la llum solar. En canvi, quan les fulles van canviant de coloració, el que passa és que la connexió entre la tija i les fulles comença a ser bloquejada. Per tant, la producció de clorofil·la es ralentix i després s'atura, i quan aquesta desapareix es mostren els pigments que hi havia a sota.

Com més avançada es troba la tardor, la capa de cèl·lules que bloqueja el pas d'aliment a les fulles es torna més dura i seca. Això fa que les connexions entre les cèl·lules es facin dèbils i que les fulles acabin caient. Els altres pigments també acaben desapareixent, ja que també es degraden amb la llum. La fulla produeix més clorofil·la que d'altres pigments ja que, com que la clorofil·la es troba en una capa molt més superficial, aquesta rep més llum i per tant perd abans les propietats.

6.7.- Particularitats en els factors ambientals d'aquest any

Els factors ambientals són decisius a l'hora d'observar els canvis en els arbres. Gairebé tot el que envolta l'arbre suposa un condicionant que influirà en les seves característiques, els canvis que patirà,..

Alguns factors són: precipitacions, temperatura, llum solar, el sòl (pH, salinitat, concentració de minerals), l'ambient exterior (ciutat, bosc) i la humitat.

Aquests factors són variables, i cada dia, cada any són diferents; així que cal tenir-los en compte, en general, ja que dades irregulars o no pròpies de l'estació de l'any poden suposar canvis realment significatius en el canvi de pigmentació en les fulles.

La manera en què aquests factors influeixen en la pigmentació és diferent en cadascun. Per exemple, les **precipitacions** suposen aigua per a la planta, necessària per a que aquesta es desenvolupi correctament; la **temperatura**, si és massa elevada, pot produir que la planta s'assequi (perquè es produeix una respiració excessiva i es gasta l'energia que hauria de servir per al manteniment estructural de la planta) i si és massa baixa, pot provocar la congelació de les fulles; la **llum solar** és el que determina quanta activitat tenen els pigments, quanta quantitat de pigment es degrada, i per tant, quanta quantitat se n'ha de produir; el **sòl** és el que determina la quantitat de nutrients i minerals de què disposa la planta per nodrir-se.

Així doncs, cal determinar com han estat alguns d'aquests factors aquest any:

6.7.1.- Precipitacions

Aquest any, en els mesos que han passat durant els anàlisis, la quantitat de precipitacions ha estat considerablement menor a l'habitual durant aquesta època de l'any (veure Annex I, Annex 2) . Els arbres analitzats només han estat exposats a les precipitacions naturals.

Les conseqüències d'aquest període de sequera que hi ha hagut en els arbres han estat una arribada prematura de la tardor, ja que l'arbre no tenia prou activitat com per mantenir totes les fulles.

6.7.2.- Temperatura

Les temperatures durant aquests mesos han estat força elevades (veure Annex I, Annex 2), i la causa d'això és, sobretot, l'escalfament global. Tot i així, les dades no són sorprenents en comparar-les amb altres anys, ja que l'any passat les dades ja van “batre un rècord” respecte els altres anys.

6.7.3.- Llum solar

És un factor molt important, ja que determina durant quantes hores al dia els pigments estan exposats a la degradació.

És un factor contrari a les precipitacions: com més precipitacions hi ha, més núvols, i per tant menys llum. Així doncs, com que aquest any les precipitacions han estat poc abundants, la incidència de rajos solars sobre la superfície de les plantes ha estat major. Tot i així, hi ha dies en què, encara que no hi hagi precipitacions, hi ha núvols.

Dades sobre la disminució de la llum solar amb l'arribada de la tardor:

	15 d'agost 2016	14 de setembre 2016	10 d'octubre 2016
Hora de la sortida del sol	7: 01	7: 31	7: 58
Hora de la posta del sol	20: 50	20: 02	19: 18
Hores de sol totals	13h i 49 min	12h i 31 min	11h i 20 min

Taula 1: Taula de la relació de les hores de llum i el dia, en horari d'hivern, del 2016

Com es veu en la taula, la disposició d'hores de llum disminueix força al llarg d'aquests dos mesos. L'arbre capta aquest estímul i comença a ralentir la producció de clorofil·la.

7.-CONCLUSIONS

Cal valorar les hipòtesis:

- 1) En la primera hipòtesi, vaig afirmar que l'última cromatografia seria la que menys pigmentació verda contindria. Així doncs, la hipòtesi és certa, ja que les variacions significatives que s'han apreciat en les mostres, han estat valorades depenent de la quantitat de pigment verd que contienien, que disminuïa amb el pas del temps.
- 2) En la segona, proposava que la diferència entre el segon anàlisi i el primer seria més significativa que la del primer anàlisi amb el segon. De fet, aquest no és un aspecte a ressaltar. Els canvis que he trobat han estat força constants i no hi hagut un resultat més sorprenent que els altres.
- 3) En la tercera afirmava que les darreres cromatografies prendrien una coloració vermelloso. Aquesta hipòtesi no és correcta. **El que ha passat realment ha estat la pèrdua del pigment verd, no la creació de nous pigments vermells o taronges.**
- 4) En la quarta, vaig proposar que alguns arbres tindrien més canvis que d'altres. Aquesta afirmació sí que és certa, ja que, com hem observat, en alguns arbres hem pogut observar canvis (com en l'om o la moixera) i d'altres gairebé no han canviat (com la prunera vermella i l'arboç)
- 5) En la cinquena vaig afirmar que en les cromatografies els carotenoides ocuparien la posició més alta. Aquesta hipòtesi és certa.

El que passa realment quan arriba la tardor i les fulles canvien, és que la clorofil·la deixa de produir-se. Un arbre caducifoli detecta l'estímul de menor disponibilitat de llum solar, o l'arribada del fred (o les dues coses) i comença a deixar de produir clorofil·la progressivament; això és degut a que preveu l'arribada de l'hivern i per tant la mort de les seves fulles. Així doncs, per tal de no malbaratar energia en produir glucosa per fer créixer unes fulles que moriran en poc temps, adapta la quantitat de pigment al medi reduint la clorofil·la que produeix (amb el mecanisme de la creació d'un "tap" de cèl·lules dures a la tija de la fulla que impedeix l'entrada de nutrients a les seves cèl·lules).

Alhora, però l'arbre continua produint altres pigments com les xantofil·les i els carotens. Això és degut a que, en determinades quantitats, aquests pigments són reguladors interns: quan els pigments realitzen la fotosíntesi, consumeixen O₂, que si es troba en quantitats elevades produeix efectes negatius en els fotosistemes. Si, en realitzar la fotosíntesi, utilitzen l'O₂, aquest ja no tindrà efectes negatius a la planta.

Aquest any, en concret, ha estat més sec del normal, per tant les plantes han tingut menys aigua a la seva disposició. En una equació, els productes han de ser iguals als reactius; per tant, com que l'aigua és un reactiu i disminueix, els reactius també han de disminuir, en aquest cas haurà disminuït també la glucosa. Així doncs, aquest any les plantes han tingut menys activitat del normal degut a la menys disposició d'aigua.



En les cromatografies hem pogut observar que, el que tots els arbres tenen en comú és la disminució en el pigment clorofil·la abans que en la resta de pigments. Això explica el raonament anterior: el primer que deixa de produir la planta és la clorofil·la, així que la resta de pigments queden a la superfície de la fulla exposats a la llum que farà que es degradin posteriorment.

De les cromatografies també podem deduir l'ordre de velocitats de difusió dels pigments, de més alta a més baixa: carotens, xantofil·les, clorofil·la a, i clorofil·la b. Aquest ordre és vàlid per a totes les espècies estudiades.

També és important ressaltar que, com s'ha vist en els anàlisis, **la natura no és exacta**; cada arbre té el seu ritme: els pigments no desapareixen alhora en tots els arbres, ni cada arbre perd les fulles alhora que la resta.

8.- GLOSSARI

- **Activitat antioxidant:** Es diu de l'activitat que evita l'oxidació. (oxidació: és el procés electroquímic pel qual un àtom o un ió guanya electrons).
- **Anell porfirínic:** És el nucli tetrapirròlic de l'estructura de la clorofil·la. Les porfirines són el grup prostètic de les cromoproteïnes porfiríniques; estan compostes per un anell tetrapirròlic, constituents laterals i un àtom metàl·lic al centre, unit mitjançant enllaços de coordinació. Els compostos formats per quatre anells pirròlics units són anomenats porfines (alguns derivats en són les porfirines i els anells porfirínics).
- **Atmosfera:** Envoltori d'aire que rodeja el globus terraqüi.
- **ATP:** o adenosin trifosfat, és la principal font d'energia per a la majoria de les funcions cel·lulars, inclòs la síntesi de macromolècules com l'ADN, l'ARN i les proteïnes, així com el transport de macromolècules a través de les membranes cel·lulars.
- **Base atenuada:** Es diu de la fulla que acaba en una forma així:

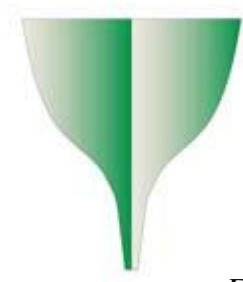


Fig 46. Fulla amb base atenuada

- **Cadenes alimentàries:** Faceta de l'ecologia que estudia les relacions dels animals i les plantes des del punt de vista de les seves necessitats alimentàries. Quan una planta o animal serveix d'aliment a un altre animal, que alhora es converteix en l'aliment d'un altre, des del punt de vista de les seves necessitats alimentàries. Per exemple, els bacteris i algues són devorats per protozoos, rotífers o crustacis petits, que alhora ho són per peixos o insectes aquàtics, que serveixen d'aliment per a peixos més grans, i així successivament.
- **Camp elèctric:** Lloc en l'espai on són detectables les forces procedents d'una càrrega elèctrica.
- **Camp magnètic:** Espai en què es fa sensible la inducció electromagnètica d'un imant col·locat a l'interior del mateix.

- **Cetones:** És un compost orgànic caracteritzat per posseir un grup funcional carbonil unit a dos àtoms de carboni, a diferència d'un aldehid, on el grup carbonil es troba unit a almenys un àtom d'hidrogen. La fórmula general de les cetones és: $R^1(CO)R^2$.
- **Cianobacteris:** Són una divisió del regne de les moneres (que comprèn els bacteris capaços de realitzar fotosíntesi oxigènica). Els cianobacteris són els únics procariotes capaços de realitzar la fotosíntesi oxigènica, així que també se'ls denomina oxifotobacteris.
- **Destil·lació fraccionada:** Destil·lació que separa líquids mesclats, el punt d'ebullició dels quals és diferent. (**Destil·lar:** separar per mitjà de calor una substància volàtil d'altres més fixes, refredant després el seu vapor per reduir-ho a líquid.)
- **Drupa:** fruit de mesocarpi carnós i endocarpi llenyós, d'una sola llavor. Per exemple, el fruit de l'albercoc i la pruna.
- **Efecte fotoelèctric:** Interacció entre radiació i massa caracteritzada per l'absorció de fotons i la consegüent alliberació d'electrons.
- **Einstein, Albert (1879-1955):** Físic i matemàtic alemany, nacionalitzat nord-americà, i autor de la teoria de la relativitat. Va néixer a Ulm (Alemanya) i va viure a diversos llocs, es va llicenciar i doctorar en enginyeria a l'Escola Politècnica, a Zurich. Mentre investigava, va treballar a l'Escola Tècnica de Winterthur. Poc després, va assolir el Premi Nobel de Física (per la *teoria de la relativitat especial, el moviment brownià i l'estudi sobre la naturalesa corpuscular de la llum*; però en concret per la seva interpretació de l'efecte fotoelèctric). Després del premi, va començar a donar classes de física a diverses universitats (Zurich, Praga) i va ser nomenat membre de l'acadèmia Prusiana, que el va animar a treballar a l'Institut Kaiser Wilhelm (reunia els millors físics de l'època).
- **Fulles acuminades:** Que acaben en un acumen, és a dir, en una punta.
- **Fulles alternes:** Fulles disposades successivament a la branca o tall, i no oposades ni en vertical
- **Fulles el·líptiques:** Fulles arrodonides amb els extrems en punta, generalment simètriques i més amples aprop de la base.
- **Fulles ovades:** Es diu de les fulles amb forma d'ou, col·locat de manera que la seva part més ampla correspon a la part inferior de la fulla.

- **Hectàrea:** És una mesura de superfície equivalent a 100 àrees o 10.000 metres quadrats. És la superfície que ocupa un quadrat de 100 metres de costat.
- **Hidrocarbur:** Tots els compostos resultants de la combinació d'oxigen i hidrogen.
- **Isoprenoides:** Derivats de l'isoprè. (**Isoprè:** hidrocarbur dietilènic $\text{CH}_2\text{C}(\text{CH}_3)\text{CHCH}_2$, trobat en la destil·lació seca del cautxú).
- **Licopè:** És un carotè vermell brillant i pigment carotenoide i fitoquímic que es troba en els tomàquets i altres fruites i verdures de color vermell, com les pastanagues vermelles, el pebrot vermell, la síndria i la papaia (encara que no en les maduixes i les cireres). Encara que el lycopè és químicament un carotè, no té activitat de provitamina A.

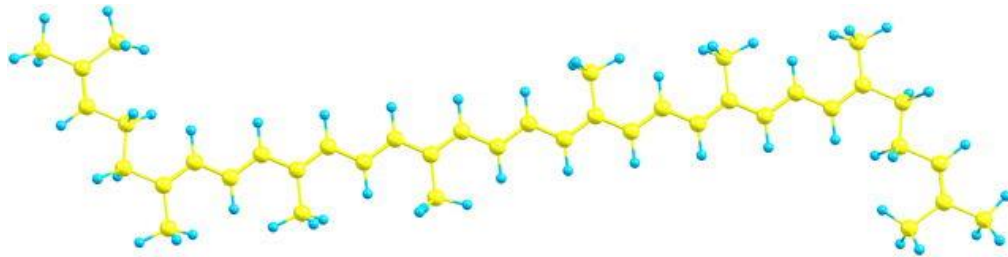


Fig 47. Molècula lycopè

- **Molècula amfipàtica:** Són aquelles molècules que tenen un extrem hidrofílic (soluble en aigua) i un altre d'hidrofòb (que rebutja l'aigua).
- **Molècula NADPH:** Nicotinamida adenina dinucleòtid fosfat és un coenzim que intervé en moltes vies anabòliques (reaccions destructives que se succeeixen).
- **Ona electromagnètica:** Forma de propagar-se d'una ona a través de l'espai dels camps elèctrics i magnètics produïts per les càrregues elèctriques en moviment. (**Ona:** cadascuna de les elevacions que es formen en pertorbar una superfície)
- **Organismes descomponedors:** Són els bacteris i alguns fongs. S'alimenten de les restes de matèria orgànica d'altres éssers vius i les transformen en matèria inorgànica. Tenen un paper vital en els ecosistemes, perquè eliminen els cadàvers i retornen al sòl la matèria inorgànica que en el seu moment els productors van extreure per poder fer la fotosíntesi. Si no hi haguessin descomponedors, els sòls s'anirien quedant sense sals minerals i al final les plantes moririen per la qual cosa també desapareixeria tot l'ecosistema.
- **Pol hidròfil:** Extrem d'una molècula que és soluble en aigua.
- **Pol lipòfil:** (o hidròfob) Extrem d'una molècula que rebutja l'aigua.

- **Propietat intrínseca:** Propietat que només depèn del material independentment del medi on es trobi i d'estímul que puguin arribar-li.
- **Propietat extrínseca:** Propietat que depèn del medi i dels estímuls exteriors.
- **Saba bruta:** És la mescla d'aigua i sals minerals que la planta utilitza per fabricar el seu aliment, procés que es realitza a les fulles. Quan arriben a les fulles, la saba bruta es barreja amb el diòxid de carboni que les fulles agafen de l'aire. A l'interior de les fulles, la mescla de saba bruta pateix diversos canvis i es converteix en saba elaborada
- **Saba elaborada:** És l'aliment de la planta. Consisteix principalment en aigua, elements minerals, reguladors de creixement i altres substàncies que es troben en dissolució. El transport d'aquesta saba es produeix des de les arrels de la planta fins les fulles pels tubs llenyosos.
- **Simetria bilateral:** Es defineix per l'existència d'un únic pla, que divideix el cos d'un organisme en dues meitats idèntiques.
- **Vitamina A:** És una vitamina liposoluble que és necessària en diversos processos biològics com la visió, el desenvolupament del sistema immunitari, la formació i manteniment de les cèl·lules epitelials, el desenvolupament embrionari i el creixement.

9.- BIBLIOGRAFIA

Col·laboradors de La Vola. (1994) *El bosc: Un ecosistema i un recurs*. Barcelona, Eumo Editorial.

M. Devlin, Robert (2005). *Fisiología vegetal*. Ediciones Omega S.A., University of Massachusetts.

Susana Domínguez, Ezequiel Martínez: Árboles de nuestros bosques “Guía didàctica” (Ediciones Alymar S.L.)

Valero, Carlos; de Pablo, Paloma (2001) *Botánica aplicada*. Granada, Octaedro

Col·laboradors del Grup Promotor Santillana, (2008). *Biologia 2 Batxillerat*. Barcelona, Projecte La Casa del Saber.

Laín Entralgo, Pedro (2004). *Nuevo diccionario enciclopédico universal*. Madrid, Durvan S.A. Ediciones.

WEBGRAFIA

Pérez Porto, Julián i Merino, María. (2013) Definición de pigmento [Consulta: 10 de maig] <http://definicion.de/pigmento/>

AKVIS (2016). la ciencia de la luz y el color: ¿qué es la luz? ¿dónde y cómo se origina? [Consulta: 10 de maig] <http://akvis.com/es/articles/ciencia-luz-color/luz-origen-propied.php>

Col·laboradors de la Viquipèdia (2016). Clorofil·la. [Consulta: 20 de juny] <https://es.wikipedia.org/wiki/Clorofila>

Cosmolinux, Recursos a l'aula. Pigments fotosintètics [Consulta: 20 de juny] http://cosmolinux.noip.org/recursos_aula/BIO2nBAT/Metabolisme/Pigments_fotosintetics.pdf

Col·laboradors de la BBC (2015). ¿Por qué las hojas de los árboles cambian de color en otoño? [Consulta: 23 de juny] http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/10/151012_hojas_color_cambio_otono_lp

Col·laboradors de la Wikipèdia (2016). Fotosistemes [Consulta: 23 de juny]
<https://es.wikipedia.org/wiki/Fotosistema>

Universitat nacional del Nordest (2007). Hipertextos del área de biología: Fotosíntesis (etapas) [Consulta: 23 de juny] <http://www.biologia.edu.ar/plantas/fotosint.htm>

Col·laboradors de la Wikipèdia (2016). La fulla [Consulta: 24 de juny]
<https://ca.wikipedia.org/wiki/Fulla>

Col·laboradors de la Wikipèdia (2016). Prunera [Consulta: 25 d'agost]
<https://ca.wikipedia.org/wiki/Prunera>

INFOJARDÍN (2016). Lista de árboles por nombre científico. [Consulta: 26 d'agost]
<http://fichas.infojardin.com/arboles/lista-arboles-nombre-cientifico.htm>

Col·laboradors de la Wikipèdia (2015). Feofitina. [Consulta: 25 d'agost]
<https://ca.wikipedia.org/wiki/Feofitina>

ECURED (2015). Carotenos. [Consulta: 25 d'agost] <http://www.ecured.cu/Caroteno>

Col·laboradors de la Wikipèdia (2016). Gasolina. [Consulta: 26 d'agost]
<https://es.wikipedia.org/wiki/Gasolina>

CALVO, MIGUEL (2015). Bioquímica de los alimentos: carotenoides. [Consulta: 25 d'agost] <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/pigmentos/carotenoides.html>

ECURED (2015). Cianobacterias. [Consulta: 25 d'agost]
<https://www.ecured.cu/Cianobacterias>

Molina Prieto, Luis Fernando; Uribe Botero, Eduardo; Osorio Olarte, Jacquelin (2014). Las flores de los Jardines de Santa Fe de Bogotá. [Consulta: 26 d'agost]
<http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/faunayflora/flores/tipos.htm>

Astronomía del Instituto Geográfico Nacional. Hora, salida y puesta de sol. [Consulta: 3 de novembre] <http://www.fomento.gob.es/salidapuestasol/2016/Barcelona-2016.txt>

Fq_experiments (canal de Youtube). Cromatografía de unas hojas de espinacas. (2009) [Consulta: 27 de juny] https://www.youtube.com/watch?v=xX_QSwSjsj8