

# **LA BIOREMEDIACIÓ APLICADA EN SÒLS CONTAMINATS PER HIDROCARBURS**

**Pseudònim: Carbassot**

14/10/2021

# AGRAÏMENTS

En primer lloc, vull agrair a les dues tutores d'aquest treball de recerca, pel seu suport, orientació i revisió dels aspectes formals i de contingut

En segon lloc, vull agrair a tots els professionals de la Universitat de Girona que han contribuït en l'elaboració del treball. A la Sílvia Simon Rabasseda, catedràtica en Cultura Científica i Comunicació Digital, per haver organitzat el Jove Campus de Recerca, al qual vaig assistir i em va permetre contactar amb els següents dos experts. A en Pepus Daunis i Estadella, del Departament d'Informàtica, Matemàtica Aplicada i Estadística, per la seva orientació i ajuda en l'elaboració dels gràfics que recullen els resultats de la pràctica I. A en Miquel Duran Ros, de l'àrea d'Enginyeria Agroforestal de l'Escola Politècnica Superior, per la seva revisió, opinió experta i consells del treball en general.

En tercer lloc, al Dr. Albert Permanyer, professor honorífic del Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada de l'Universitat de Barcelona, per la seva orientació en l'enfocament del marc metodològic.

En quart lloc, a en Roc Puigoriol Serra, company de Batxillerat, per facilitar-me el sòl contaminat prèviament per oli mineral, així com el mateix oli contaminant.

Finalment a la meva mare, per la seva opinió i suport incondicional durant tota l'elaboració d'aquest treball.

# ÍNDEX

## AGRAÏMENTS

<b>ÍNDEX</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓ</b>	<b>3</b>
JUSTIFICACIÓ DEL TEMA ESCOLLIT	3
OBJECTIUS, HIPÒTESIS I METODOLOGIA	3
APROXIMACIÓ AL TEMA	5
<b>MARC TEÒRIC</b>	<b>6</b>
1. SÒLS	6
1.1. Definició	6
1.2. Composició	7
1.2. Caracterització i classificació	8
1.2.1. Textura	8
1.2.2. Porositat	9
1.2.3. Permeabilitat	10
1.2.4. Flora, fauna i fertilitat	11
2. HIDROCARBURS	12
2.1. Vessaments	12
2.1.1. Conseqüències dels vessaments en la fertilitat	12
2.1.1.1. Toxicitat en el sòl	12
2.1.1.2. Alteracions de les propietats fisicoquímiques del sòl	14
2.2. Caracterització de l'hidrocarbur utilitzat: oli mineral	17
3. BACTERIS	18
3.1. Bacteris degradadors d'hidrocarburs	18
3.2. La mineralització i els seus tipus	18
3.3. Condicions per a la biodegradació bacteriana	20
<b>MARC METODOLÒGIC</b>	<b>21</b>
4. PRÀCTICA I. AVALUACIÓ DE L'EFECTE DE LA PRESÈNCIA D'HIDROCARBURS EN LA FERTILITAT DEL SÒL	21
4.1. Objectius	21
4.2. Disseny experimental	22
4.3. Resultats i anàlisi	25
4.4. Conclusions	28
5. PRÀCTICA II. DETERMINACIÓ TEXTURAL DE LA MOSTRA DE SÒL NO CONTAMINAT	30
5.1. Objectius	30
5.2. Materials	30
5.3. Metodologia	30
5.4. Resultats i anàlisi	33
5.5. Conclusions	34

6. PRÀCTICA III. COMPROVACIÓ DE LA SUPOSADA PRESÈNCIA DE BACTERIS EN EL VESSAMENT	35
6.1. Objectius	35
6.2. Disseny experimental	35
6.3. Resultats i anàlisi	38
6.4. Conclusions	40
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>41</b>
<b>GLOSSARI I SIGLES</b>	<b>42</b>
<b>WEBGRAFIA</b>	<b>45</b>



# INTRODUCCIÓ

## JUSTIFICACIÓ DEL TEMA ESCOLLIT

La contaminació del medi és un dels aspectes més àmpliament estudiats quan es tracta de preservar el medi ambient. Quan es parla de contaminació, hom pensa probablement en l'atmosfèrica. Així i tot, també és important la contaminació de les aigües o dels sòls, essent aquesta última menys coneguda, però no menys important, ja que pot comprometre la producció d'aliments.

Així doncs, la possibilitat d'investigar quelcom relativament poc conegut és una de les raons principals que justifiquen l'elecció de la contaminació del sòl. És més, el fet que els contaminants siguin els hidrocarburs s'explica amb la desconexió que es té sobre aquests.

Així i tot, més enllà de conèixer les possibles conseqüències i caure en lamentacions, s'escull experimentar amb la bioremediació perquè es considera una solució factible. Un altre motiu que justifica la tria del tema és que, després d'una exhaustiva recerca per la xarxa, s'arriba a la conclusió que hi ha bastants procediments experimentals que es poden realitzar amb els materials disponibles. És per això que, anteriorment, es descarten altres temes com la pluja àcida o fer un estudi de la biodiversitat i de la capacitat de càrrega d'un indret natural.

A més a més, l'últim dels arguments de l'elecció de la contaminació per hidrocarburs és la relativa facilitat que es té per accedir a un vessament d'oli mineral. Així, s'ha pogut disposar de mostres per experimentar.

## OBJECTIUS, HIPÒTESIS I METODOLOGIA

L'elaboració del present treball té un gran i principal objectiu: estudiar si, en un vessament determinat d'oli mineral, hi ha presència de bacteris capaços de biodegradar-lo. Respecte a aquest objectiu, es parteix de la hipòtesi que potser en el vessament hi ha bacteris capaços de biodegradar l'oli que actua com a contaminant.

Cal esmentar, però, que la presència de microorganismes mai no és espontània, sinó que són transportats per l'aigua, el sòl o l'aire. Per tant, sempre provenen d'altres emplaçaments on disposen de l'hidrocarbur (A. Permanyer, comunicació personal, abril, 23, 2021).

Consegüentment, la hipòtesi es basa en el fet que el vessament en qüestió es troba a menys d'un quilòmetre d'una benzinera i està situat en un ambient rural on l'oli mineral és freqüentment usat (i, de fet, hi ha altres vessaments pròxims). És a dir, està al costat d'indrets potencialment habitats per bacteris des dels quals podrien haver estat transportats al vessament objecte d'estudi. I encara és més probable si es considera que el vessament es va produir fa uns tres anys (aproximadament).

A part d'aquest objectiu principal, n'hi ha que estan supeditats i que figuren a continuació.

En primer lloc, determinar si la germinació i el desenvolupament vegetal es veuen afectats per la contaminació del sòl per hidrocarburs. O, dit d'una altra manera, comprovar la fiabilitat de la fertilitat d'un sòl com a indicador de la seva contaminació per hidrocarburs. Referent a aquests objectius, es parteix de la hipòtesi que potser la germinació i el desenvolupament vegetal en un sòl es veuen disminuïts quan aquest està contaminat per hidrocarburs. Així doncs, la fertilitat potser és un bon indicador de la contaminació d'un sòl per hidrocarburs.

Aquesta hipòtesi rau en el coneixement previ (per no dir coneixement popular) sobre el gran impacte mediambiental que genera la contaminació per hidrocarburs. És més, és àmpliament conegut que els hidrocarburs afecten la biodiversitat, a partir de catàstrofes com ara la del petrolier "Prestige". Per tant, seria raonable pensar que els hidrocarburs poden afectar la fertilitat d'un sòl.

En segon lloc, determinar la textura del sòl on s'ha produït el vessament utilitzat en la part pràctica. D'aquesta manera, els resultats obtinguts en les altres pràctiques es podran entendre més àmpliament. Respecte a aquest objectiu, es parteix de la hipòtesi que es tracta d'un sòl de textura franc-llimosa, ja que és la textura característica d'Osona. <sup>[1]</sup>

Per altra banda, la metodologia emprada en el treball és la cerca experimental i la bibliogràfica i documental. Pel que fa a les fonts, s'han utilitzat articles científics i pàgines web d'institucions rellevants en l'àmbit d'estudi. Tanmateix, la metodologia usada en la cerca experimental ha estat la interpretació dels resultats i la comparació amb la literatura consultada. Els processos experimentals s'expliquen amb detall en l'apartat de les pràctiques corresponents.

## APROXIMACIÓ AL TEMA

La bioremediació és una biotecnologia que busca l'eliminació de contaminants (en el cas d'aquest treball, dels hidrocarburs) i així la desintoxicació dels sòls (també de les aigües). Per fer-ho, es basa en l'activitat metabòlica de certes soques bacterianes (o també d'altres organismes, com ara fongs o plantes). Així doncs, resulta una eina molt interessant per solucionar la problemàtica ambiental que suposa la presència de certs contaminants en diferents medis.

Cal esmentar, però, que aquest treball no se centra en la bioremediació entenent-la com una biotecnologia de la qual es poden realitzar estudis de viabilitat per escollir la millor estratègia, depenent d'una llarga llista de paràmetres i propietats de l'emplaçament contaminat. Així doncs, la bioremediació és considerada una conseqüència de la capacitat biodegradadora de certs hidrocarburs que determinats bacteris presenten. En certa manera, aquest treball s'allunya de les aplicacions més tecnològiques de la bioremediació per analitzar-la des del prisma de la biologia.

Per tant, per entendre la bioremediació, s'han d'entendre els tres factors/elements involucrats i que estan explicats en el marc teòric: el sòl, els bacteris i els hidrocarburs.

Quant al marc pràctic, es basa en una adaptació d'un tipus de bioremediació dirigida: el bioforç. Aquest consisteix en la inoculació de microorganismes, com ara bacteris, exògens especialitzats en l'indret contaminat. És considerat un tipus de bioremediació dirigida perquè, a diferència de la bioremediació intrínseca, presenta una intervenció antropogènica.<sup>[2]</sup>

# MARC TEÒRIC

## 1. SÒLS

### 1.1. Definició

El sòl és la capa externa de l'escorça terrestre i presenta poc gruix. No obstant això, és molt més que un espai físic; és un sistema viu i dinàmic. És originat per l'alteració de les roques deguda a processos fisicoquímics (desgast, alteració química, etc.) i biològics (acció de la flora, de la fauna, etc.). El procés de formació i evolució del sòl s'anomena pedogènesi i la roca que la pateix, roca mare.

Tanmateix, els sòls es diferencien en autòctons i al·lòctons. Un sòl autòcton és aquell que ha estat format completament a partir de la roca mare subjacent, sense transport horitzontal de materials. En canvi, un sòl al·lòcton està compost, en part, per materials que han sigut transportats d'altres sòls. [3]

Una altra manera d'entendre l'edafosfera (el sòl) és com una interfase on convergeixen les quatre esferes principals de la Terra: l'atmosfera, la hidrosfera, la litosfera i la biosfera.

Per altra banda, el sòl està constituït per capes horitzontals, homogènies i diferents entre si anomenades horitzons. A grans trets, es diferencien els següents, els quals es poden observar en la figura 1:

- Horitzó A, caracteritzat per l'abundància de matèria orgànica i el seu consegüent color fosc. Conté, però, molt pocs minerals, ja que aquests pateixen lixiviació. En els sòls agrícoles (com l'objecte d'estudi), és l'horitzó predominant. [4] En cas d'una gran quantitat de matèria orgànica, la que està poc descomposta s'engloba en un subnivell: l'horitzó O.
- Horitzó B, particularitzat per una acumulació de minerals (part procedents de l'horitzó A) i una alta presència d'argila.
- Horitzó C, constituït per fragments de la roca mare i una matriu de materials més fins.
- Horitzó D, format per la roca mare (sense alterar). [5]

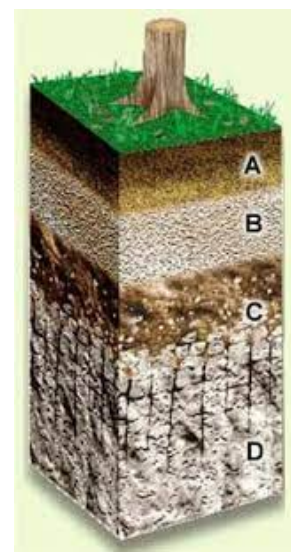


Figura 1: Representació dels diferents horitzons d'un sòl. [5]

## 1.2. Composició

El sòl està compost per una barreja de partícules minerals, matèria orgànica, aigua, aire i organismes vius. <sup>[6]</sup> Concretament, es pot diferenciar en la fase sòlida, la fase líquida i la fase gasosa, tal com il·lustra la figura 2.

Pel que fa a la fase sòlida, està diferenciada en la:

- Inorgànica, composta per fragments de roques i minerals obtinguts mitjançant la pedogènesi.
- Orgànica, constituïda per un gran nombre d'éssers vius i els productes d'aquests, com ara excrements o les pròpies despulles en descomposició. D'entre aquests éssers vius destaquen, per la transcendència en el treball, els descomponedors.

Quant a la fase líquida, consta de l'aigua que es troba en els porus del sòl (vegeu l'apartat 1.2.2.).

En referència a la fase gasosa, està composta per l'aire que es troba en la matriu del sòl, sobretot en els porus de mida gran o en els quals l'aigua ja s'ha consumit. Aquest aire presenta una composició similar a l'atmosfèric, però amb una menor concentració d'O<sub>2</sub> (20%) i una notablement major de CO<sub>2</sub> (0,5-1%). Això s'explica amb la immensa activitat biològica que allotja el sòl. Precisament, el CO<sub>2</sub> és alliberat amb la respiració cel·lular que realitzen els organismes que habiten el sòl (com ara els bacteris, protagonistes de la part pràctica). <sup>[5]</sup>

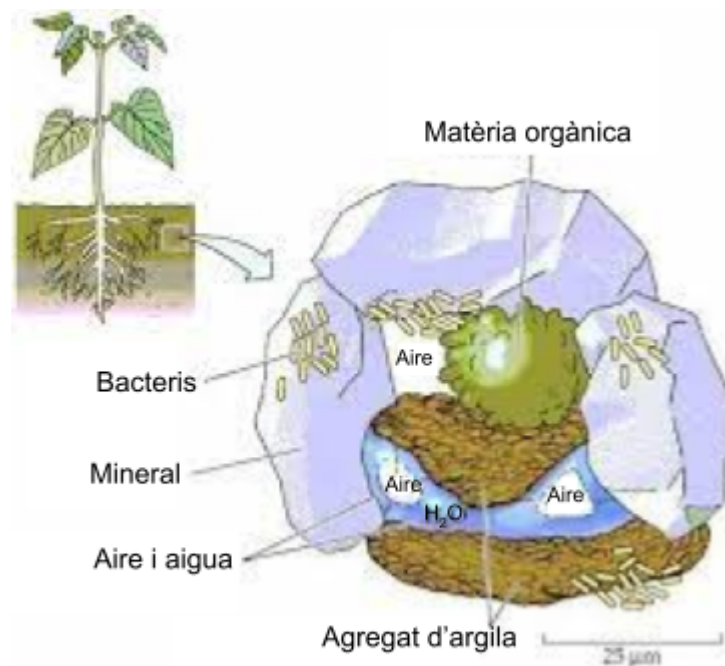


Figura 2: Representació de la matriu del sòl i les seves tres fases. <sup>[7]</sup>

## 1.2. Caracterització i classificació

Cada sòl és diferent i presenta característiques i propietats dissemblants. Aquestes es poden classificar en les propietats físiques, les químiques i les biològiques. En el present estudi es destaquen la textura, la porositat i la permeabilitat com a propietats físiques. A més a més, com a propietat emergent o resultat de la unió de diverses propietats, sorgeix la fertilitat, una altra propietat clau en el marc metodològic.

### 1.2.1. Textura

La textura d'un sòl és el contingut relatiu de partícules de diferent mida o diàmetre i d'origen mineral que conformen la fracció sòlida inorgànica del sòl. Aquestes són, de menys a més diàmetre: argila, llim, sorra i grava.

Ara bé, la mida de les partícules varia segons l'escala granulomètrica que fem. Destaquen la d'Atterberg o Internacional (acceptada per la IUSS) i la de l'USDA. <sup>[8]</sup> Tal com es veu a la figura 3, les anteriors escales difereixen en valors relativament importants.

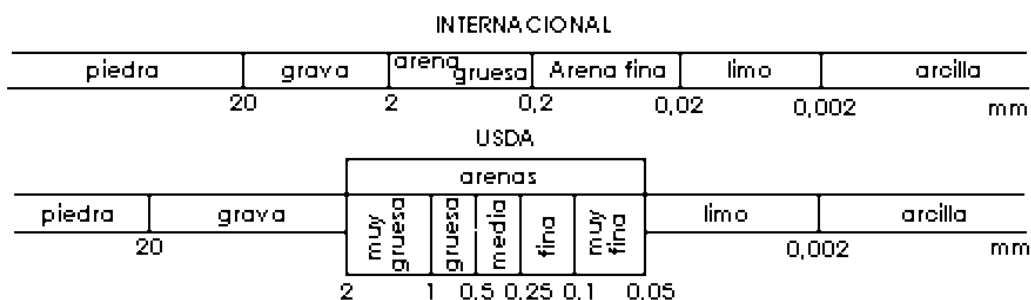


Figura 3: Esquema comparatiu de les escales granulomètriques de l'USDA i la IUSS. <sup>[8]</sup>

En ser la més àmpliament utilitzada, l'escala granulomètrica de referència serà la d'USDA. Precisament, aquesta determina els següents diàmetres, il·lustrats en la figura 4:

- Argila, amb un diàmetre menor a 0,002 mm
- Llim, amb un diàmetre entre 0,002 mm i 0,05 mm
- Sorra, amb un diàmetre entre 0,05 mm i 2 mm
- Grava, amb un diàmetre superior als 2 mm



Figura 4: Proporcions a escala de les quatre diferents partícules minerals dels sòls

Així doncs, de la proporció i predominança d'aquestes partícules sorgeix una classificació pels sòls de caràcter granular. Anàlogament amb les partícules que els conformen, els sòls poden ser: argilosos, sorrencs, llimosos i francs. Els terrenys francs presenten la mateixa proporció entre les diferents partícules minerals.

Tal classificació s'expressa gràficament mitjançant triangles texturals com els de la figura 5, en la qual es compara el de l'IUSS i el de l'USDA, el més utilitzat.

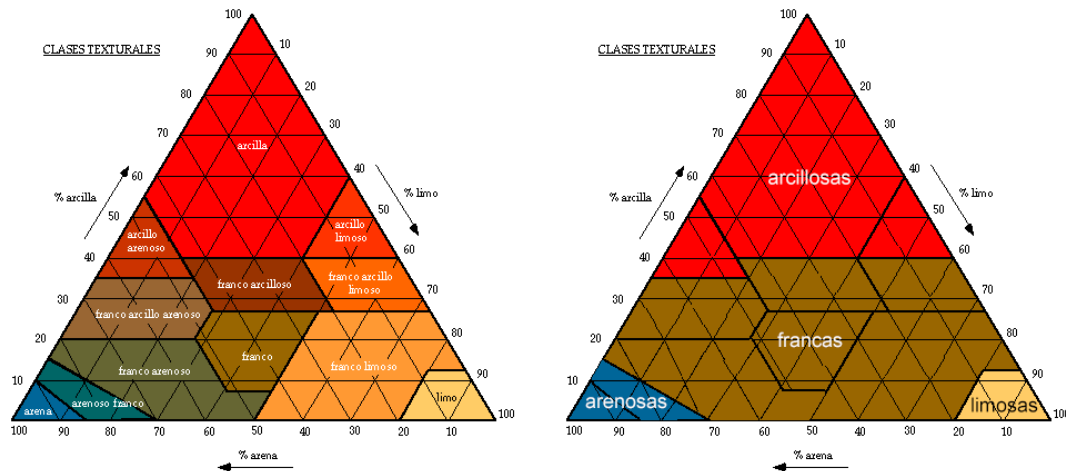


Figura 5: Comparació entre el triangle textural de la IUSS (a la dreta) i el de l'USDA (a l'esquerra). [8]

També cal destacar que, per practicitat, aquestes classificacions s'engloben en famílies:

- Sòls pesants, que recull els argilosos i derivats.
- Sòls mitjans, que inclou els francs i derivats.
- Sòls lleugers, que agrupa els sorrencs i derivats. [9]

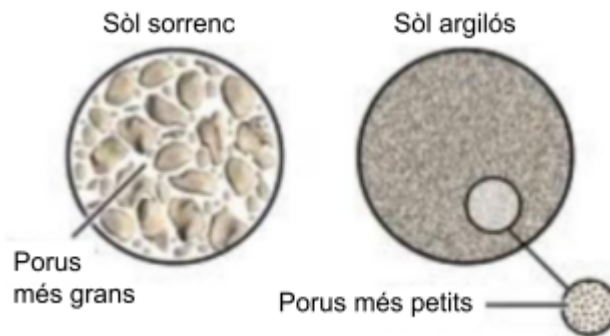
Cal fer esment de la gran influència de la textura d'un sòl en la seva estructura. A grans trets, l'estructura és la conformació que presenten els seus agregats (productes de la unió de les partícules minerals del sòl). Així doncs, la textura determina la mida dels agregats.

### 1.2.2. Porositat

La porositat és una propietat física del sòl que deriva de la textura i estructura, les quals li atribueixen un sistema d'espais buits entre les partícules minerals: els porus.

De manera general, la textura dels components del sòl influeix seguint una premissa: el gruix de les partícules minerals és directament proporcional a la mida dels porus. És a dir, els sòls majoritàriament sorrencs o amb un gran contingut de graves presenten porus més gruixuts que els sòls majoritàriament llimosos o argilosos, tal com s'il·lustra en la figura 6.

Cal dir que, malgrat que no sigui la tendència habitual, les partícules més fines poden ocupar l'espai dels porus generats per materials texturalment gruixuts i disminuir el seu gruix.



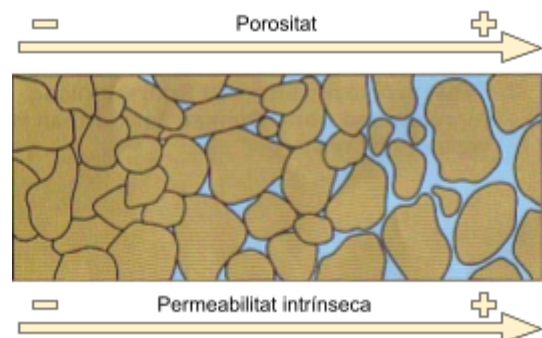
**Figura 6:** Mida dels porus en funció de la textura del sòl. <sup>[10]</sup>

Per altra banda, l'estructura del sòl és fonamental per la porositat, ja que determina com estan distribuïts els porus mitjançant l'agregació de les partícules minerals. <sup>[11]</sup>

### 1.2.3. Permeabilitat

La permeabilitat és la capacitat d'un sòl per permetre el pas de l'aire o d'un fluid (majoritàriament aigua) en el seu si sense que alteri la seva estructura interna.

Aquesta propietat física, malgrat que també depèn de la pressió i les propietats mecàniques del fluid (com ara la viscositat), està principalment condicionada per la permeabilitat intrínseca del sòl, propietat únicament derivada de la porositat. Aquesta relació rau en la premissa que el moviment del fluid a través del sòl es produeix pels porus. A grans trets, la permeabilitat intrínseca d'un sòl es veu afavorida de manera directament proporcional al diàmetre dels porus (mida) i les seves interconnexions, tal com mostra la figura 7. <sup>[12]</sup> Per tant, coneixent l'estructura i la textura (i, indirectament, la porositat), es pot entendre el comportament de l'aire i l'aigua en passar pel sòl en qüestió.

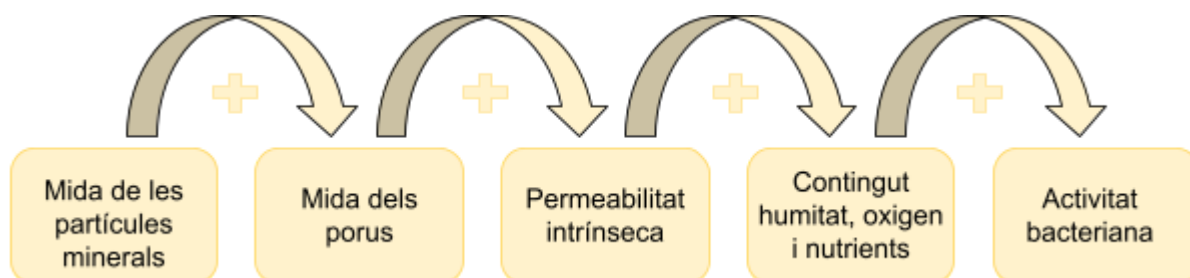


**Figura 7:** Influència de la porositat en la permeabilitat intrínseca d'un sòl. Original: UC Denver

Per altra banda, la permeabilitat és directament proporcional al contingut d'humitat, a l'addició d'oxigen i a la distribució de nutrients d'un sòl. Atès que els bacteris necessiten aquests factors, la permeabilitat també és directament proporcional a l'activitat biodegradadora dels bacteris que allotja el sòl en qüestió. No obstant això, una permeabilitat excessiva pot resultar perjudicial per als bacteris (vegeu el punt 3.3.). <sup>[2]</sup>



La relació causal que es mostra en la figura 8 resumeix les influències (anteriorment esmentades) que les diferents propietats del sòl presenten sobre l'activitat bacteriana.



**Figura 8:** Relació causal establerta entre les propietats del sòl i l'activitat bacteriana. En l'esquema s'empra el símbol + per indicar una relació directament proporcional.

#### 1.2.4. Flora, fauna i fertilitat

El sòl és un ecosistema amb una gran biodiversitat, afavorida per la seva matriu tridimensional (fase sòlida, líquida i gasosa), la seva estructura porosa, el subministrament de matèria orgànica i, en definitiva, la seva elaborada naturalesa fisicoquímica.

Pel que fa a la fauna del sòl, es pot classificar, de més a menys magnitud, en macrofauna, mesofauna i microfauna. En el present treball, és rellevant la microfauna, la qual engloba els bacteris, part dels quals són descomponedors (vegeu l'apartat 3).<sup>[13]</sup>

Quant a la flora, depèn enormement del sòl i hi presenta importants relacions simbiòtiques. D'una banda, més enllà de ser el substrat per a les plantes, els sòls retenen els nutrients i l'aigua que absorbiran les seves arrels. D'una altra banda, la vegetació redueix l'erosió del sòl que habita. D'aquesta manera, també manté el cicle de l'aigua i dels nutrients.<sup>[14]</sup>

La part de la planta que més relació té amb el sòl són les seves arrels, les quals, a part d'absorbir l'aigua i els nutrients, construeixen porus, afavoreixen l'agregació de les partícules del sòl i hi aporten material orgànic.<sup>[13]</sup>

Una característica molt important dels sòls que està estretament relacionada amb la flora que pot allotjar és la fertilitat. Un sòl fèril és aquell que aporta, en una quantitat i proporció adequada, els nutrients necessaris que les plantes no poden adquirir mitjançant l'aire i l'aigua (a diferència del C, de l'H i de l'O). Aquests nutrients exclusius del sòl són, principalment: el N, el P, el K, el Ca i el Mg. En un sòl autòcton, procedeixen de la roca mare.

Per altra banda, dos dels factors més rellevants per la fertilitat d'un sòl són l'absència de substàncies tòxiques que puguin inhibir el creixement i la presència de microorganismes.<sup>[15]</sup>

## 2. HIDROCARBURS

### 2.1. Vessaments

Els hidrocarburs són molècules orgàniques formades, majoritàriament, per C i H, encara que també poden contenir halògens. Malauradament, són innumerables i diaris els seus vessaments a mars, oceans i sòls. Siguin voluntaris o accidentals, la seva acumulació pot arribar a comportar severes impactes.

Així doncs, la incorporació d'hidrocarburs als ecosistemes suposa una contaminació de naturalesa química en totes les fases de la matriu: la sòlida, la líquida, la gasosa i l'orgànica. Tanmateix, el destí ambiental d'aquests hidrocarburs estarà condicionat per una gran quantitat de processos físics, químics i biològics (com ara la metabolització bacteriana). També variarà en funció de les característiques fisicoquímiques del mateix hidrocarbur, les característiques del sòl i les condicions ambientals.

Malgrat tot, a continuació només s'exposen les conseqüències de la contaminació de l'ecosistema edàfic, les quals perjudiquen la innumerable quantitat i diversitat d'éssers vius que en depenen, entre els quals figuren les plantes. Precisament, l'efecte principal i el que figura a continuació és la disminució de la fertilitat del sòl. <sup>[16]</sup>

#### 2.1.1. Conseqüències dels vessaments en la fertilitat

La literatura ens diu que la fertilitat es veu desfavorida directament per la toxicitat a partir de concentracions de 25.000 mg TPH/kg. Per sota d'aquest valor, fins a valors de 2.500 mg TPH/kg, les afectacions a la fertilitat es produeixen indirectament, ja que el sòl presenta alteracions en paràmetres fisicoquímics. Exemples d'aquestes són la reducció en la retenció d'humitat i/o nutrients i la compactació del sòl.

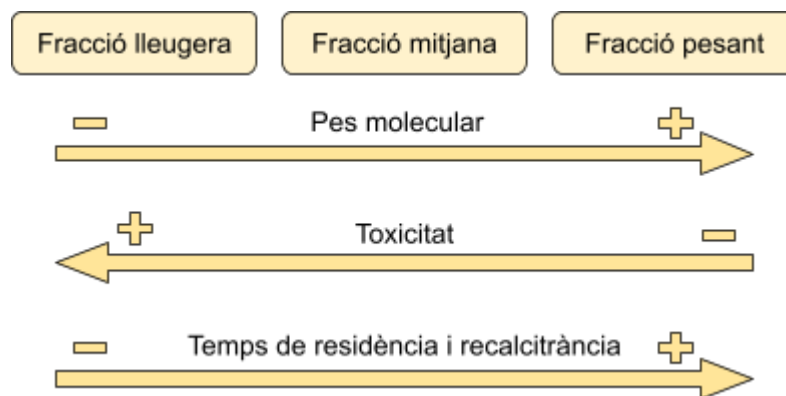
Conseqüentment, la fertilitat es veu afectada directament per la toxicitat en els vessaments més recents, on l'atenuació natural encara no hi ha actuat i, per tant, presenten concentracions més altes que els vessaments antics i/o remediats. <sup>[17]</sup>

##### 2.1.1.1. Toxicitat en el sòl

Malgrat que sigui molt variable, es pot partir de la premissa que els hidrocarburs més tòxics són els de menor pes molecular i, per tant, els de la fracció lleugera (entre 1 i 10 C, però sobretot a partir de 5 C). Així i tot, precisament per la seva naturalesa, aquesta fracció és també la més volàtil. Conseqüentment, romandrà relativament poc temps en el sòl i només

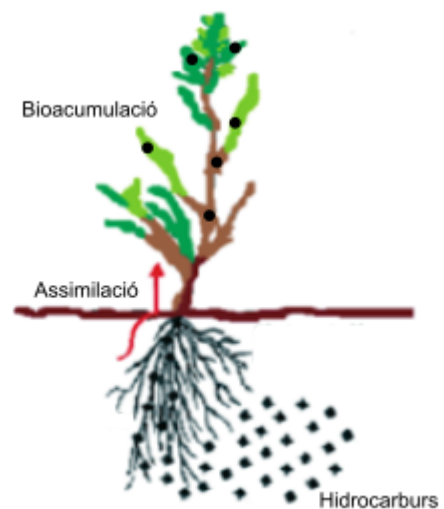
hi quedaran la fracció mitjana i la pesada. És a dir, el temps de residència en el sòl i la recalcitrància de la fracció lleugera serà menor que el de la mitjana i la pesada.

Un cop eliminada la fracció lleugera, la fracció més tòxica pel sòl serà la mitjana, ja que és la de menor pes molecular d'entre les que encara hi romanen. Malgrat tot, cap fracció dels hidrocarburs perdura indefinidament en el sòl, ja que hi ha diversos mecanismes que les transformen en substàncies innòcues. Un exemple d'aquests és la degradació bacteriana en la qual la bioremediació està sustentada. <sup>[17]</sup> Les relacions entre el pes molecular, la toxicitat i el temps de residència s'esquematitzen en la figura 9.



**Figura 9:** Relació entre les fraccions i el pes molecular, la toxicitat, el temps de residència i la recalcitrància

Principalment, les afectacions que les plantes pateixen a causa d'aquesta toxicitat són en la germinació i en el creixement. L'hidrocarbure, assimilat i bioacumulat (tal com mostra la figura 10) per la planta majoritàriament per les arrels, pot travessar les membranes cel·lulars i així reduir l'eficiència en l'ús de l'aigua i els nutrients. A més a més, pot inhibir l'activitat fotosintètica, ja que també pot danyar els pigments fotosintètics. Al cap i a la fi, totes aquestes afectacions acaben resultant en una disminució en la producció de biomassa de la planta.



**Figura 10:** Representació de l'assimilació i bioacumulació d'hidrocarburs per les plantes. <sup>[16]</sup>

D'igual manera que en el sòl, els hidrocarburs més fitotòxics són els de menor pes molecular. <sup>[18]</sup>

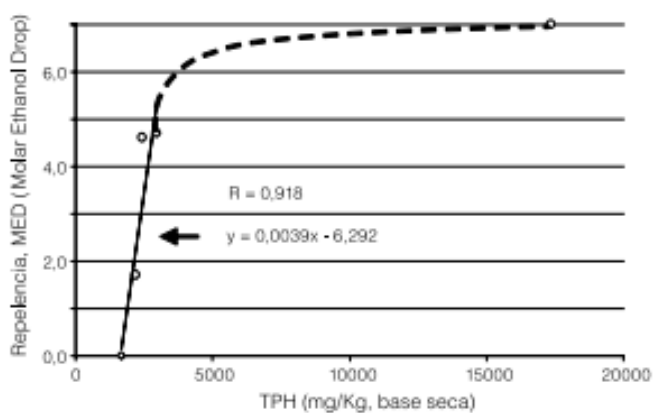
### 2.1.1.2. Alteracions de les propietats fisicoquímiques del sòl

Les propietats fisicoquímiques del sòl es veuen alterades substancialment en concentracions de TPH inclús menors a les que resulten tòxiques per a les plantes. Com a conseqüència, la fertilitat del sòl també es veu perjudicada.

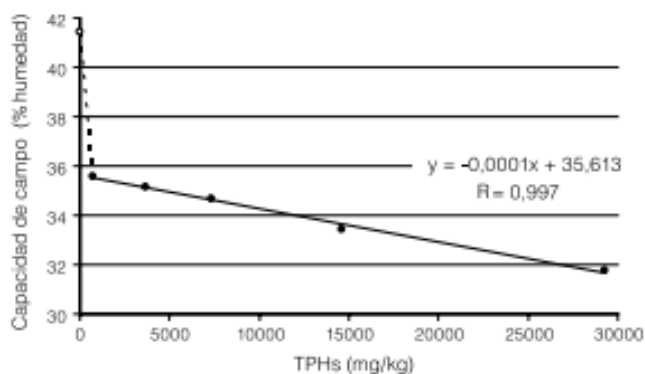
#### Reducció de la retenció d'humitat

Entre altres factors, un sòl és capaç de retenir la humitat gràcies a la naturalesa electrònicament negativa de certes fraccions de la seva fase sòlida, com ara les argiles i la matèria orgànica. Així doncs, gràcies a la polaritat de l'aigua, s'estableix una interacció electroestàtica entre les esmentades fraccions i aquesta.

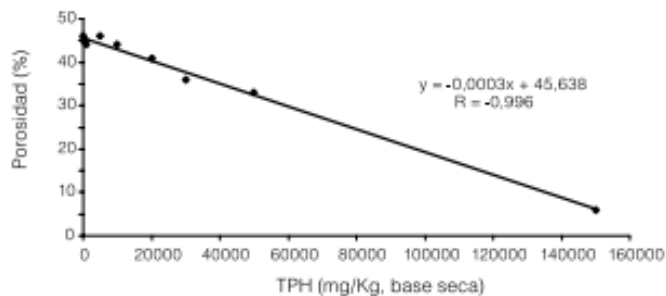
Malgrat tot, els hidrocarburs són apolars (o quasi). Com a conseqüència, constitueixen una pel·lícula impermeable en el sòl contaminat que disminueix la interacció electroestàtica que permet retenir-hi la humitat. Dit d'una altra manera, la presència d'hidrocarburs en un sòl augmenta la seva repel·lència a l'aigua (gràfic 1) i, per tant, disminueix la seva capacitat de camp (gràfic 2) i porositat (gràfic 3).<sup>[17]</sup>



Gràfic 1: Influència de la concentració d'hidrocarburs en la repel·lència a l'aigua del sòl.<sup>[17]</sup>

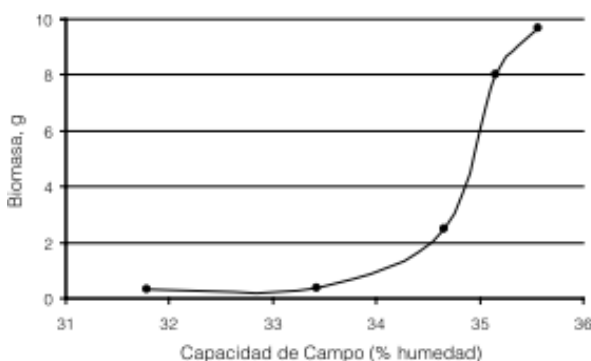


Gràfic 2: Influència de la concentració d'hidrocarburs en la capacitat de camp del sòl.<sup>[17]</sup>



**Gràfic 3:** Influència de la concentració d'hidrocarburs en la porositat del sòl. <sup>[17]</sup>

Així doncs, la gran dependència de les plantes a l'aigua fa que els anteriors impactes comportin una severa disminució en la fertilitat del sòl on s'han produït. Per tant, la producció de biomassa del sòl també es veu empobrida, com mostra el gràfic 4. El motiu rau en el fet que l'aigua és imprescindible perquè les plantes realitzin la fotosíntesi i assimilïn els nutrients vitals, els quals han d'estar dissolts en aigua perquè les arrels els puguin absorbir.



**Gràfic 4:** Influència de la capacitat de camp del sòl en la seva producció de biomassa. <sup>[17]</sup>

A més a més, la fertilitat també es veu disminuïda perquè la pel·lícula impermeable impossibilita l'intercanvi de gasos del sòl amb l'atmosfera i, consegüentment, l'activitat microbiana heteròtrofa aeròbica, vital en els processos de bioremediació. <sup>[19]</sup> Aquest fenomen és conegut com a l'asfíxia del sòl.

### **Reducció de la retenció de nutrients**

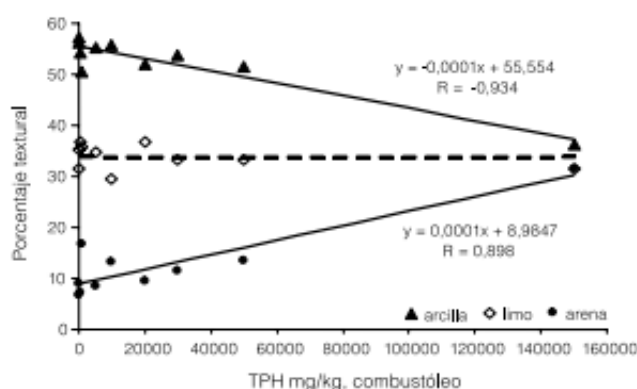
Aquest impacte és provocat per una dinàmica similar a la de l'anterior punt. La majoria de nutrients necessaris per a la planta es troben en estat catiònic ( $\text{NH}_4^{1+}$ ,  $\text{K}^{1+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , etc.), cosa que permet que les partícules del sòl carregades negativament els retenguin mitjançant atracció electroestàtica. Per tant, la presència dels hidrocarburs (apolars) disminuirà aquesta atracció i comportarà que, quan es donin precipitacions, els nutrients siguin lixiviat.

Lògicament, la poca biodisponibilitat de nutrients que comporta la seva lixiviació, disminueix l'activitat biològica de la planta, el seu creixement i pot arribar a ser letal.<sup>[17]</sup>

Atesa la rellevància que té en el marc d'estudi del present treball, cal destacar la clorosi, una afectació a les plantes deguda, en part, a la manca de nutrients. Aquesta patologia consisteix en la manca de clorofil·la, el pigment encarregat de la fotosíntesi i responsable del color verd característic dels vegetals. Així doncs, les plantes afectades presenten símptomes funcionals (menor creixement), d'aparença física (fulles de color groguenc) i productius.<sup>[20]</sup>

### Compactació

Els hidrocarburs, com ja s'ha esmentat, són degradats i meteoritzats. Tanmateix, els hidrocarburs residuals presenten uns "terminals enganxosos" que afavoreixen l'adherència en el sòl. Això disminueix la densitat aparent i redueix la capacitat del sòl per retornar al seu estat original després d'una compressió temporal. Vist d'una altra manera, la quantitat d'argila es redueix i s'incrementa la de sorra, com representa el gràfic 5.



Gràfic 5: Influència de la concentració d'hidrocarburs en la textura del sòl.<sup>[17]</sup>

Aquesta compactació té molts impactes:

- Reducció de la porositat i, consegüentment, de la permeabilitat i de l'activitat bioremediadora dels bacteris que allotja el sòl (vegeu el punt 1.2.3.).
- Disminució de la retenció d'humitat deguda a una reducció de la percolació de l'aigua.
- Detriment de l'aireig intern del sòl i tendència a la seva asfíxia.
- Incapacitat de les arrels per penetrar el sòl que comporta una manca d'aigua i nutrients.

Tot plegat comporta un agreujament dels impactes descrits en els anteriors punts.<sup>[17]</sup> Dit d'una altra manera, deteriora l'estructura del sòl.<sup>[16]</sup>

## 2.2. Caracterització de l'hidrocarbur utilitzat: oli mineral

De forma general, els olis minerals són hidrocarburs amb un gran pes molecular i que pertanyen a la fracció pesant. Precisament, presenten cadenes d'entre 20 i més de 45 C.

Així doncs, partint de la premissa que la recalcitrància d'un hidrocarbur augmenta amb el pes molecular, els olis minerals resulten molt poc biodegradables, tal com mostra la figura 11. [2] Malgrat això, degut al seu gran pes molecular, els olis presenten menys toxicitat que altres tipus d'hidrocarburs més lleugers (vegeu el punt 2.1.1.1.). Per tant, la possible afectació a la fertilitat dels sòls contaminats per olis serà deguda, en gran part, per una alteració a llarg termini de les seves propietats fisicoquímiques.

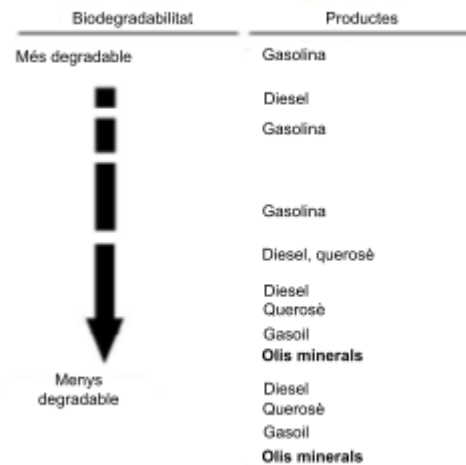
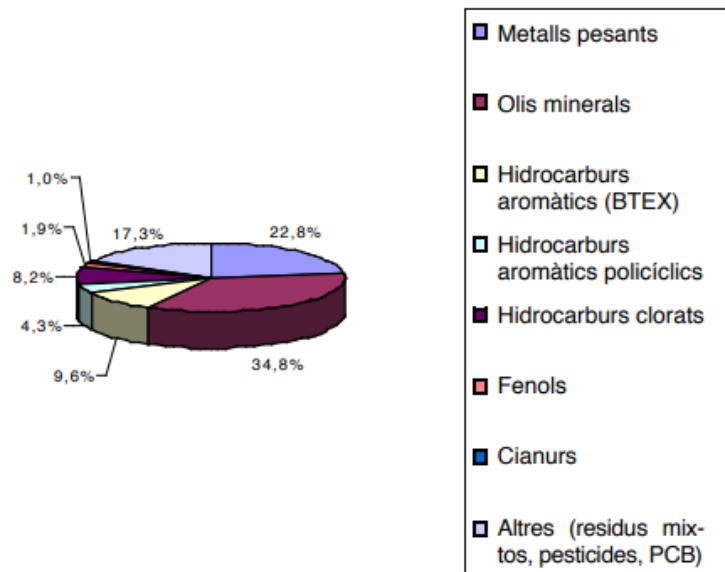


Figura 11: Esquema de la biodegradabilitat dels diferents productes derivats del petroli. [2]

Per entendre l'impacte que suposen al medi ambient els olis minerals és útil el gràfic 6. En aquest s'observa que la majoria (un 34,8%) dels emplaçaments potencialment contaminats a Catalunya (2007) ho estaven per olis.



Gràfic 6: Contaminants principals en emplaçaments potencialment contaminats a Catalunya (2007). [2]

## 3. BACTERIS

### 3.1. *Bacteris degradadors d'hidrocarburs*

Anteriorment, s'ha esmentat que el destí ambiental dels hidrocarburs està determinat per molts processos físics, químics i biològics. D'entre tots aquests, ressalten la fotooxidació i la degradació microbiana, els únics capaços de transformar totalment els hidrocarburs en productes innocus. Dit d'una altra manera, els únics capaços de mineralitzar el contaminat i, així, desintoxicar el sòl.

Aquest comportament dels bacteris, tan vital per ecosistemes marins i edàfics, és degut a la capacitat metabolitzadora i catalitzadora que al llarg del temps han desenvolupat. Tanmateix, com que els hidrocarburs no són ni compostos biogènics ni xenobiòtics, els bacteris són capaços de biodegradar-los amb més o menys facilitat segons la seva estructura.<sup>[21]</sup>

### 3.2. *La mineralització i els seus tipus*

La mineralització o biodegradació bacteriana consisteix en la transformació d'una font de C orgànic (com ara certs contaminants com els hidrocarburs) en altres compostos més senzills que formen part del mateix metabolisme del microorganisme.

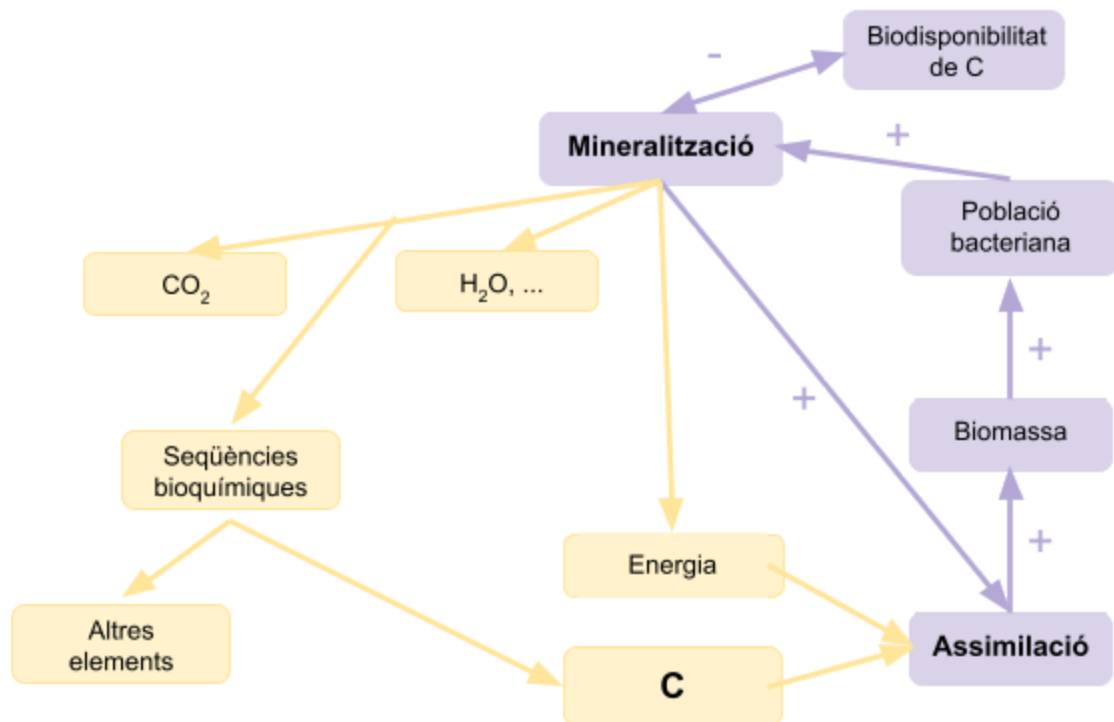
Precisament, si s'entén la mineralització com la reacció química que és, parteix d'un reactiu: la font de C (l'hidrocarbur, en aquest cas). Així doncs, la reacció és catalitzada pels enzims bacterians especialitzats i dona lloc a diversos productes:

- Energia, alliberada amb el trencament dels enllaços de les macromolècules orgàniques.
- CO<sub>2</sub>, obtingut a partir de l'oxidació del C restant.
- Altres molècules, com ara H<sub>2</sub>O.

Les rutes metabòliques (realitzades pels esmentats enzims) encarregades d'aquesta oxidació del C desencadenen seqüències bioquímiques que resultaran en més C (a part d'altres nutrients). Aquest C resultant s'assimilarà utilitzant l'energia obtinguda amb l'anterior mineralització. Seguidament, augmentarà la població bacteriana (ja que l'assimilació de C comporta un increment de la biomassa) i, consegüentment, la mineralització. Així doncs, la mineralització és una reacció catabòlica amb l'energia de la qual s'esdevé l'assimilació, una reacció anabòlica.



Vist d'una altra manera, la mineralització és una relació causal composta de bucle de retroalimentació negativa. És a dir, un sistema que s'autoregula i que succeeix repetitivament sempre que es disposi de C orgànic, tal com mostra la figura 12.



**Figura 12:** Esquema de la mineralització i la seva relació amb l'assimilació. Les variables acolorides amb color lila són les que participen en el bucle de retroalimentació negativa. Les acolorides amb color groc, productes de la mineralització. El símbol + indica una relació directament proporcional i el símbol -, una relació inversament proporcional.

Cal esmentar que part d'aquest C és usat de forma immediata en la respiració cel·lular per mantenir la viabilitat de la soca bacteriana, o cosa que és el mateix, mantenir el seu metabolisme. Tanmateix, també podria ser que el C involucrat en la respiració cel·lular fos obtingut d'una altra font. [22]

Així doncs, la mineralització es diferencia en: la mineralització completa/directa i la mineralització seqüencial, tal com s'esquemetitza en la figura 13. La primera consisteix en la mineralització total de l'hidrocarbur sense cap acumulació de productes intermedis en el medi, ja que s'utilitza l'hidrocarbur com a substrat de creixement (tal com s'ha explicat).

Contràriament, la mineralització seqüencial és un procés de cometabolisme en el qual els bacteris no poden usar l'hidrocarbur com a substrat de creixement i només el transformen en un metabòlit intermedi més oxidat que el contaminant. D'aquesta manera, l'hidrocarbur actua com un cosubstrat i la soca bacteriana requereix un altre substrat per proliferar. Tot seguit, un dels molts microorganismes del sòl actuarà seqüencialment i utilitzarà el metabòlit intermedi com a substrat de creixement. Així, el contaminant serà mineralitzat totalment. [2]

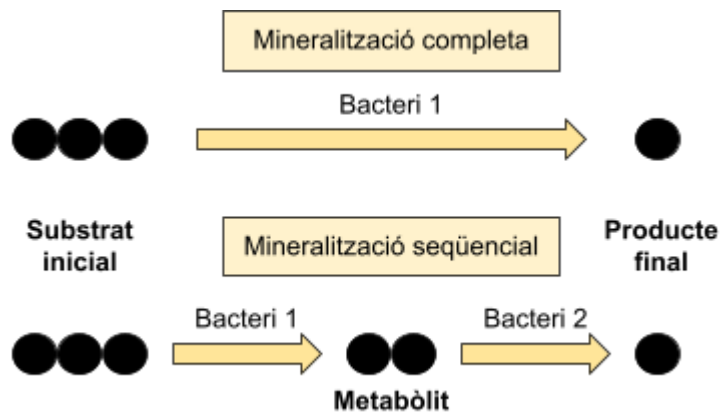


Figura 13: Esquema comparatiu de la mineralització completa i la seqüencial.

Tanmateix, abans que succeeixin els processos esmentats anteriorment, s'esdevé una etapa d'aclimatació en la qual no hi ha cap destrucció del contaminant. És a dir, hi ha una absència d'activitat biodegradadora per part dels bacteris. [22]

### 3.3. Condicions per a la biodegradació bacteriana

Aquestes metabolitzacions són molt complexes i, com a tal, es necessiten unes condicions específiques per realitzar-les. El factor més important és la presència (metabolisme aeròbic) o absència (metabolisme anaeròbic) d'oxigen. Pel que fa a la degradació d'hidrocarburs, el metabolisme principal i més ràpid és l'aeròbic. [21] Per tant, la biodegradació bacteriana seria poc viable en un sòl que pateixi asfíxia o presenti nivells molt baixos d'oxigen.

En el metabolisme aeròbic, el bacteri utilitza les seves oxigenases per introduir oxigen a la molècula de l'hidrocarbur i així degradar-lo. És a dir, l'oxida. És per això que necessita l'oxigen, a part de la seva necessitat intrínseca de realitzar la respiració aeròbica. [2]

Per altra banda, l'activitat metabòlica dels bacteris també està condicionada per la biodisponibilitat de N i P. La raó rau en l'absència d'aquests elements en les molècules dels hidrocarburs, la font d'energia química del bacteri. Així doncs, com que el N i el P són elements estructurals de moltes macromolècules vitals per l'organisme, el bacteri ha d'assimilar N i P d'altres fonts per desenvolupar-se. Es considera que el bacteri necessita els nutrients amb una proporció de C:N:P de 150:10:4 i amb una quantitat que no resulti excessiva. [21]

Un altre factor que determina l'eficàcia de l'activitat bacteriana és la humitat del sòl, ja que l'absència d'aigua inhibeix la respiració microbiana i el creixement dels bacteris. Així doncs, la humitat és directament proporcional a l'activitat bacteriana. Això, però, es compleix fins a assolir el 80% de capacitat de camp. A valors superiors, la humitat excessiva no permet la disponibilitat d'oxigen adequada pels bacteris que allotja el sòl. [23]

# MARC METODOLÒGIC

## 4. PRÀCTICA I. AVALUACIÓ DE L'EFECTE DE LA PRESENCIA D'HIDROCARBURS EN LA FERTILITAT DEL SÒL

### 4.1. Objectius

La primera pràctica auxiliar té com a objectiu principal poder determinar si la fertilitat es veu afectada amb la presència d'hidrocarburs en el sòl. Precisament, s'estudiarà l'efecte en la germinació i en el desenvolupament vegetal (quantitat de fulles i alçada de la tija). D'aquesta manera, es podrà determinar si la fertilitat és un bon indicador de la presència d'hidrocarburs en el sòl, cosa molt necessària en la pràctica III.

La hipòtesi inicial és que potser la presència d'hidrocarburs en el sòl perjudica la germinació i el desenvolupament vegetal de les plantes que s'hi sembrin. Per tant, es podrà utilitzar com indicador de la contaminació del sòl (per hidrocarburs).

Per altra banda, aquesta part també té com a objectiu avaluar la fertilitat del sòl del vessament. Així, si la hipòtesi anterior fos certa, una bona fertilitat del sòl ens podria donar indicis d'una baixa concentració d'oli. I aquesta baixa concentració podria ser deguda a una possible remediació. Malgrat tot, com que es desconeix la quantitat d'oli que es va vessar, podria ser que la baixa concentració ja fos l'original. Fins i tot, podria ser deguda a l'atenuació natural. Per tant, els resultats seran orientatius, igual que la conclusió.

La hipòtesi inicial és que potser la fertilitat del sòl del vessament és bastant elevada i, per tant, que potser el vessament ha estat remedit. Aquesta hipòtesi està sustentada en què fa bastant temps (3 anys, aproximadament) que es va produir el vessament i que és proper a altres indrets d'on podrien provenir bacteris biodegradadors de l'oli. Per tant, les possibles causes de la remediació (atenuació natural o activitat bacteriana) serien molt probables.

Tanmateix, en cap moment es planteja l'objectiu de determinar si existeix una soca bacteriana que hagi sigut la causant d'aquesta possible remediació. Aquest objectiu es planteja en la pràctica III.

## 4.2. Disseny experimental

L'experiment consta de tres tractaments:

- Tractament 1, elaborat a partir de 710 grams de terra amb una textura similar a la de la taca d'oli objecte d'estudi, fotografiada en la figura 14. Presenta absència d'oli.
- Tractament 2, elaborat a partir de 710 grams de terra obtinguda del sòl on es troba el vessament i, per tant, amb una quantitat desconeguda d'oli.
- Tractament 3, elaborat a partir de 710 grams de la mateixa terra que el tractament 1, però contaminada amb 100 mil·lilitres del mateix oli que es va vessar. El volum d'oli es va escollir qualitativament, quan la concentració va canviar el color del sòl.



**Figura 14:** Fotografia del vessament d'oli d'on s'han obtingut les mostres.

Per altra banda, les variables controlades han estat:

- La humitat, ja que el reg ha estat igual pels tres tractaments (1 decilitre d'aigua diari).
- La quantitat i la tipologia del sòl utilitzat.
- Les condicions ambientals, ja que els tres tractaments han estat sotmesos a les mateixes.

Els tractaments 1 i 3 tenen un perquè evident: comparar i avaluar com depèn la fertilitat del sòl de la presència o absència d'oli. Com que la majoria de les altres variables estan controlades, qualsevol diferència en el desenvolupament de les llavors (variable dependent) serà producte de la presència (o no) d'oli (variable independent). La valoració es farà prenent com a referència els resultats del grup de control, el tractament 1.

Per altra banda, el motiu del tractament 2 és poder determinar, de forma qualitativa, la fertilitat del vessament. Per fer-ho, es prendran com a referència els valors obtinguts del tractament sense contaminar (tractament 1). Com més similars siguin els valors, més fèrtil serà el vessament.

En els tres tractaments s'han realitzat 50 rèpliques, cosa que es tradueix en el nombre de llavors. En aquest cas, les llavors utilitzades han estat les de llentia (*Lens culinaris*), ja que presenten un creixement molt ràpid que agilitzarà aquesta part experimental.

L'hidrocarburi emprat és un oli mineral, ja que és el que es va vessar en el sòl d'on s'han obtingut les mostres. Concretament, s'anomena I.H.V.-46 i és produït per l'empresa IADA.

Pel que fa al vessament d'on s'han obtingut les mostres, es va produir accidentalment en un entorn agrícola.

### 4.3. Resultats i anàlisi

Durant un període de 20 dies, s'ha enregistrat el desenvolupament aparent de les lleties sembrades en els tres tractaments i s'han obtingut resultats i valoracions qualitatives. Finalment, al vintè dia, s'ha comptat la quantitat de llavors germinades, la quantitat de fulles, s'ha mesurat l'alçada de la tija i s'ha determinat el color mitjançant l'escala de colors de l'empresa "Pantone". D'aquesta manera, s'han obtingut resultats quantitius.

Les primeres diferències observables s'han fotografiat al cinquè dia, quan la velocitat de germinació és desigual entre els tractaments 1 i 2 i el tractament 3. És a dir, quan hi ha més llavors germinades en els dos primers (sense oli o bé amb una quantitat que hauria de ser residual) que en l'últim (amb oli), tal com es veu en la figura 15. Tal cosa s'ha observat, en un estadi més avançat i més fàcilment identificable, l'endemà, com indica la figura 16.



**Figura 15:** Fotografia de l'estat dels tractaments 1, 2 i 3 (respectivament, d'esquerra a dreta) al cinquè dia.



**Figura 16:** Fotografia de l'estat dels tractaments 1, 2 i 3 (respectivament, d'esquerra a dreta) al sisè dia.



Les diferències esmentades han perdurat amb el pas del temps i fins i tot s'han magnificat. Ha pres protagonisme la diferència d'alçada entre les plantes dels dos primers tractaments i les del tercer, com s'observa en la figura 17.



**Figura 17:** Fotografia de l'estat dels tractaments 1, 2 i 3 (respectivament, d'esquerra a dreta) al tretzè dia.

Aquesta tendència ha perdurat i romangut fins al dia 20, quan s'ha fet la valoració quantitativa a partir de les plantes que es veuen en la figura 18. En aquest moment, es veu una clara diferència en el color que feia dies que s'havia anat magnificant.



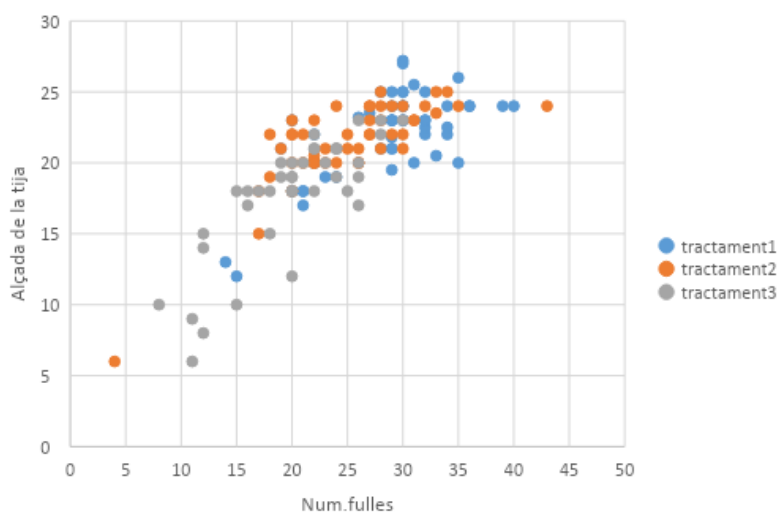
**Figura 18:** Fotografia de l'estat dels tractaments 1, 2 i 3 (respectivament, d'esquerra a dreta) al vintè dia.

Pel que fa a la valoració quantitativa, en la taula 1 es mostra la quantitat de llavors germinades, la mitjana de l'alçada de la tija i la de la quantitat de fulles dels tres tractaments. Així doncs, es veu clarament que el tractament més perjudicat (el que presenta menys llavors germinades i plantes amb una menor alçada i mitjana de fulles) és el 3, el contaminat amb una major quantitat d'oli. Per altra banda, el menys afectat (el que presenta més llavors germinades i plantes amb una major alçada i mitjana de fulles) és el tractament 1, el que no estava contaminat amb oli.

Tractaments	Llavors germinades	Mitjana del nombre de fulles	Alçada mitjana (cm)
Tractament 1	50	28,64	22,124
Tractament 2	50	25,08	21,42
Tractament 3	41	20,049	17,707

**Taula 1:** Nombre de llavors germinades i mitjana de nombre de fulles i alçada de les plantes dels tres tractaments.

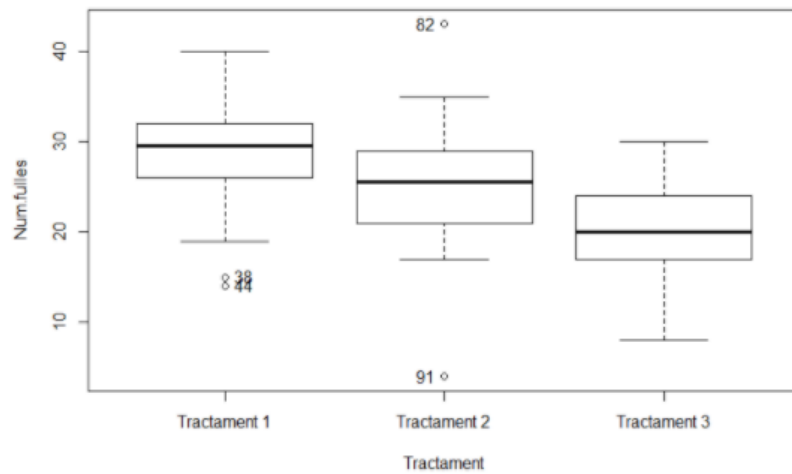
La quantitat de fulles i l'alçada de la tija de les 141 mostres estan representades en el gràfic 7. Aquest gràfic de dispersió és útil per representar, simultàniament, les dues variables (nombre de fulles i alçada de la tija) i l'única categoria (els tres tractaments). Així doncs, la representació gràfica facilita la lectura dels resultats esmentats anteriorment: la presència d'oli (tractament 3) comporta una menor alçada de la tija i menys fulles, contràriament al que succeeix amb l'absència (tractament 1). El tractament 2, contaminat amb una quantitat d'oli suposadament intermèdia, també presenta valors intermedis.



**Gràfic 7:** Gràfic de dispersió sobre el nombre de fulles i l'alçada mitjana de les plantes dels tres tractaments.

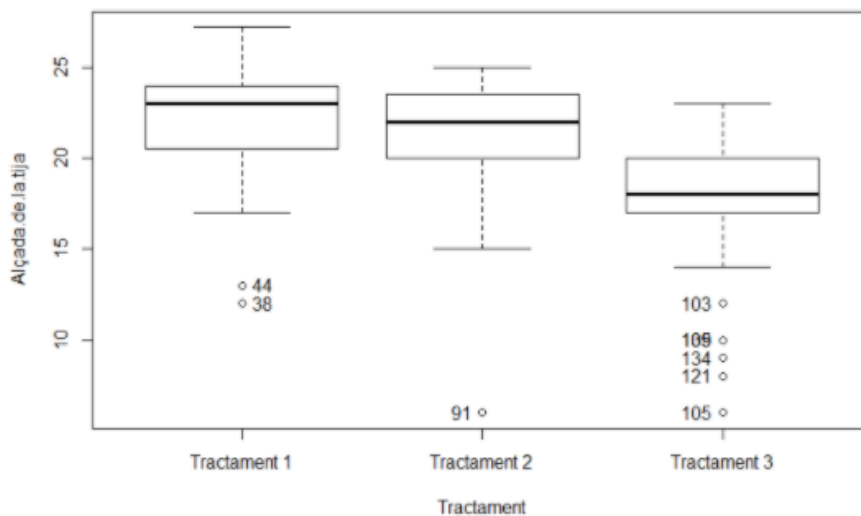
Continuant amb la valoració quantitativa, el gràfic 8 és de caixa múltiple (útil per expressar una gran quantitat de dades) i es focalitza en una sola variable: el nombre de fulles. En aquest gràfic es pot veure, per a cada tractament: el mínim, el màxim, el primer i el tercer quartil, la mediana, el límit de les observacions típiques i les observacions atípiques.

Així doncs, de la lectura se n'extreu que la mediana del nombre de fulles, els mínims i màxims i els quartils presenten valors superiors en el tractament 1 que en el 3. El tractament 2 presenta valors intermedis, altre cop. Aquest fet concorda amb les tendències observades en els anteriors gràfics: la relació inversament proporcional entre la quantitat de fulles i la d'oli.



**Gràfic 8:** Gràfic de caixes múltiples sobre la quantitat de fulles de les plantes dels tres tractaments.

Anàlogament amb el gràfic anterior, el gràfic 9 mostra un gràfic de caixes múltiples focalitzant-se en l'altra variable: l'alçada de la tija. Altra vegada, la mediana, els màxims i mínims presenten valors més alts en el tractament 1 que en el 3. El tractament 2 torna a presentar valors intermedis. Destaquen les nombroses observacions atípiques del tractament 3, que representen un creixement molt heterogeni, il·lustrat en la figura 19.



**Gràfic 9:** Gràfic de caixes múltiples de l'alçada mitjana de la tija de les plantes dels tres tractaments.







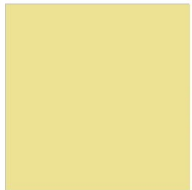



**Figura 19:** Fotografia de l'heterogeneïtat en l'alçada de les plantes del tractament 3 del divuitè dia.



Percentualment, aquestes dades representen les següents proporcions:

- El tractament 2 té un 25,1% de fulles més que el tractament 3 i el tractament 1, un 42,9% (respecte al tractament 3).
- El tractament 2 mesura un 21% de centímetres més que el tractament 3 i el tractament 1, un 24,9% (respecte al tractament 3).

Per altra banda, al vintè dia es va determinar el color de la fulla més verda i més groga del tractament 3 i el color hegemònic dels dos tractaments restants, cosa que es veu en la taula 2. Altre cop, els resultats estan clarament determinats per la presència d'oli. En aquest cas, la presència d'oli (tractament 3) comporta unes fulles més grogues que l'absència (tractament 1) o poca quantitat (tractament 2).

	Color hegemònic	
Tractament 1	 <p><b>PANTONE 364 CP</b></p>	<p><b>COLOR VALUES:</b></p> <p>RGB 75 123 47            HEX/HTML 4B7B2F            CMYK 59 0 100 43</p> 
Tractament 2	 <p><b>PANTONE 364 CP</b></p>	<p><b>COLOR VALUES:</b></p> <p>RGB 75 123 47            HEX/HTML 4B7B2F            CMYK 59 0 100 43</p> 
Tractament 3	<p><b>Color més groc</b></p>  <p><b>PANTONE 461 CP</b></p>	<p><b>Color més verd</b></p>  <p><b>PANTONE 377 CP</b></p>
	<p><b>COLOR VALUES:</b></p> <p>RGB 237 226 147            HEX/HTML EDE293            CMYK 4 1 43 0</p> 	<p><b>COLOR VALUES:</b></p> <p>RGB 128 164 34            HEX/HTML 80A422            CMYK 41 0 100 22</p> 

Taula 2: Colors de les fulles de les plantes dels tres tractaments del vintè dia.

#### **4.4. Conclusions**

Els resultats d'aquesta pràctica responen de manera contundent a la pregunta referent a l'objectiu principal. Així doncs, la quantitat d'oli en el sòl és inversament proporcional al creixement de les plantes sembrades (nombre de fulles i alçada de la tija). Dit d'una altra manera, es confirma la hipòtesi que la presència d'oli en el sòl perjudica el creixement vegetal. Per tant, es pot concloure que el creixement vegetal és un bon indicador de la presència d'oli en el sòl i, per tant, un element clau en la pràctica III. Aquesta evidència, segons la literatura consultada, es pot justificar per una alteració de les propietats fisicoquímiques del sòl que ha causat la presència de l'hidrocarbur.

Quant a la repel·lència a l'aigua del sòl, s'ha fotografiat durant una pràctica posterior (fallida). Concordant amb la literatura, la presència d'oli ha augmentat la repel·lència i, per tant, ha disminuït la retenció d'humitat (vegeu el punt 2.1.1.2.). Així, es veu com en un sòl contaminat amb oli (vegeu la figura 20) l'aigua és absorbida amb una menor velocitat que en un sòl no contaminat (vegeu la figura 21). Cal esmentar que les fotografies van ser realitzades quan feia el mateix temps que els dos sòls s'havien regat.



**Figura 20:** Fotografia de la capacitat de retenció de la humitat d'un sòl contaminat amb oli.



**Figura 21:** Fotografia de la capacitat de retenció de la humitat d'un sòl sense contaminar amb oli.

Pel que fa a la reducció de l'absorció de nutrients, es pot observar amb el diferent color de les fulles dels tres tractaments. Concordant amb la literatura consultada (vegeu el punt 1.2.1.2.), l'escassetat de nutrients en el sòl comporta clorosi en les plantes que hi creixen. Aquesta es tradueix en el color groc observat, justificat per la manca de clorofil·la que comporta aquesta patologia.

Per altra banda, que en el tractament 3 (el que té una major presència d'oli) no hagin germinat 9 llavors és una mostra de la fitotoxicitat que genera l'oli en el sòl (vegeu el punt 1.2.1.1.).

Pel que fa al segon objectiu, la conclusió anterior permet concloure que el sòl del vessament (tractament 2) és més fèrtil en comparació al del tractament contaminat amb una quantitat coneguda (tractament 3). Dit d'una altra manera, els resultats del tractament 2 són més similars als del tractament 1 que als del tractament 3. Així doncs, la hipòtesi inicial era certa.

A més a més, també es considera que el vessament ha estat remediado. Malgrat tot, es reitera la poca robustesa d'aquesta conclusió, ja que hi ha variables no controlades, com ara la concentració d'oli inicial. Així i tot, una millora d'aquesta pràctica seria conèixer la concentració d'oli inicial del vessament, per tenir una referència quantitativa sobre la fertilitat del sòl. Així, es podria determinar si l'aparent fertilitat del vessament ja era la inicial i no hi havia hagut remediación.

Tanmateix, es prendrà aquesta conclusió com una orientació en la pràctica III. En aquesta, es buscarà determinar si la suposada remediación ha estat deguda a una activitat bacteriana.

## 5. PRÀCTICA II. DETERMINACIÓ TEXTURAL DE LA MOSTRA DE SÒL NO CONTAMINAT

### 5.1. Objectius

L'objectiu d'aquesta pràctica de laboratori, també auxiliar a la III, és clar: determinar la classe textural del sòl que serà utilitzat en la pràctica III. I a partir d'aquesta informació, definir, qualitativament, les propietats que en depenen (porositat i permeabilitat) i que condicionen l'activitat bacteriana. D'aquesta manera, serà possible entendre i explicar d'una manera més enriquidora els resultats obtinguts en la pràctica III i consolidar la coherència i la cohesió de totes les parts del treball.

Respecte a aquest objectiu, es parteix de la hipòtesi que es tracta d'un sòl franc-llimós, ja que és el més comú a Osona. <sup>[1]</sup>

### 5.2. Materials

Per realitzar aquesta part experimental, s'han emprat:

- Mostra de sòl similar a la usada en l'anterior pràctica sense contaminar
- Placa calefactora
- Vasos de precipitats
- Vareta de vidre
- Colador
- Bàscula de precisió
- Safates
- Tamís amb malles de:
  - 2 mil·límetres de diàmetre
  - 0,256 mil·límetres de diàmetre
  - 0,125 mil·límetres de diàmetre
  - 0,063 mil·límetres de diàmetre

### 5.3. Metodologia

El procés experimental seguit ha estat el següent:

1. Utilitzant diversos vasos de precipitats, s'ha escalfat la mostra de sòl en una placa calefactora amb dos objectius: esterilitzar-la (per la pràctica III) i deshidratar-la per evitar agregacions que dificultin la seva anàlisi textural.

2. S'ha eliminat, manualment, la màxima quantitat de matèria orgànica possible del sòl per assolir un major grau d'exactitud en la determinació de la classe textural. És a dir, per evitar que la massa d'aquesta matèria orgànica eliminada fos comptabilitzada com si fos part de la massa de les partícules minerals del sòl.
3. S'ha garbellat la mostra de sòl sobre una safata mitjançant una malla de 2 mil·límetres de diàmetre, de manera que les partícules minerals retingudes en el garbell han estat les graves. Contràriament, els grups granulomètrics d'interès (sorres, llims i argiles) s'han dipositat a la safata, ja que presenten un diàmetre menor al de la malla. Pel que fa a les graves, les quals figuren en la figura 22, s'han descartat.



**Figura 22:** Fotografia de les graves obtingudes amb la malla de 2 mil·límetres de diàmetre i que s'han descartat

4. S'ha garbellat la mostra de sòl garbellada anteriorment mitjançant una malla de 0,125 mil·límetres de diàmetre. D'aquesta manera, les partícules minerals retingudes en el sedàs han estat les sorres, en presentar un diàmetre superior al de la malla. Per contra, a la safata s'han dipositat les fraccions amb un diàmetre inferior: les llimoses i les argiloses, tal com es veu en la figura 23.



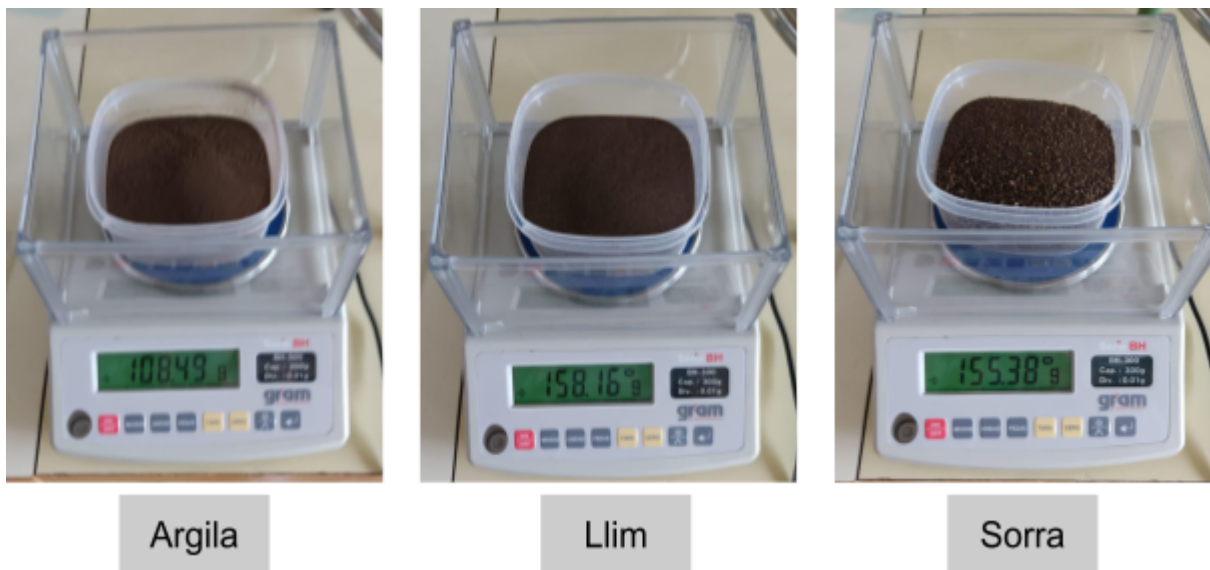
**Figura 23:** Fotografia del garbell amb una malla de 0,125 mm amb les sorres retingudes i els llims i les argiles a la safata.

- S'ha garbellat la mostra de sòl amb un diàmetre menor que l'anterior garbell amb una malla de 0,063 mil·límetres de diàmetre. Així doncs, les partícules incapaces de travessar la malla han estat els llims. En canvi, les dipositades a la safata han estat les argiles, com il·lustra la figura 24.



**Figura 24:** Fotografia del garbell amb una malla de 0,063 mm amb els llims retinguts i les argiles dipositades a la safata.

- Com que la fracció de sorres era aparentment heterogènia, s'ha garbellat la mostra de sòl retinguda en la malla de 0,125 mil·límetres amb una de 0,256. Així, s'han separat millor les sorres dels llims.
- S'ha mesurat la massa de les tres fraccions granulomètriques obtingudes amb una balança de precisió, tal com mostra la figura 25.



**Figura 25:** Fotografies comparatives de la massa de les tres fraccions granulomètriques obtingudes.



## 5.4. Resultats i anàlisi

Els resultats del pes de les tres fraccions (sorres, llims i argiles) són els següents:

- Les argiles presenten una massa de **108,49** grams.
- Els llims presenten una massa de **158,16** grams.
- Les sorres presenten una massa de **155,38** grams.

Per tant, la massa total de la mostra de sòl, fruit de la suma de les tres anteriorment esmentades masses, és de **422,03** grams.

Representant percentualment aquestes dades, es pot determinar la classe textural del sòl en qüestió utilitzant el diagrama textural il·lustrat en la figura 26. Així doncs:

- Les argiles representen un 25,71% de la massa total.
- Els llims representen un 37,48% de la massa total.
- Les sorres representen un 36,82% de la massa total.

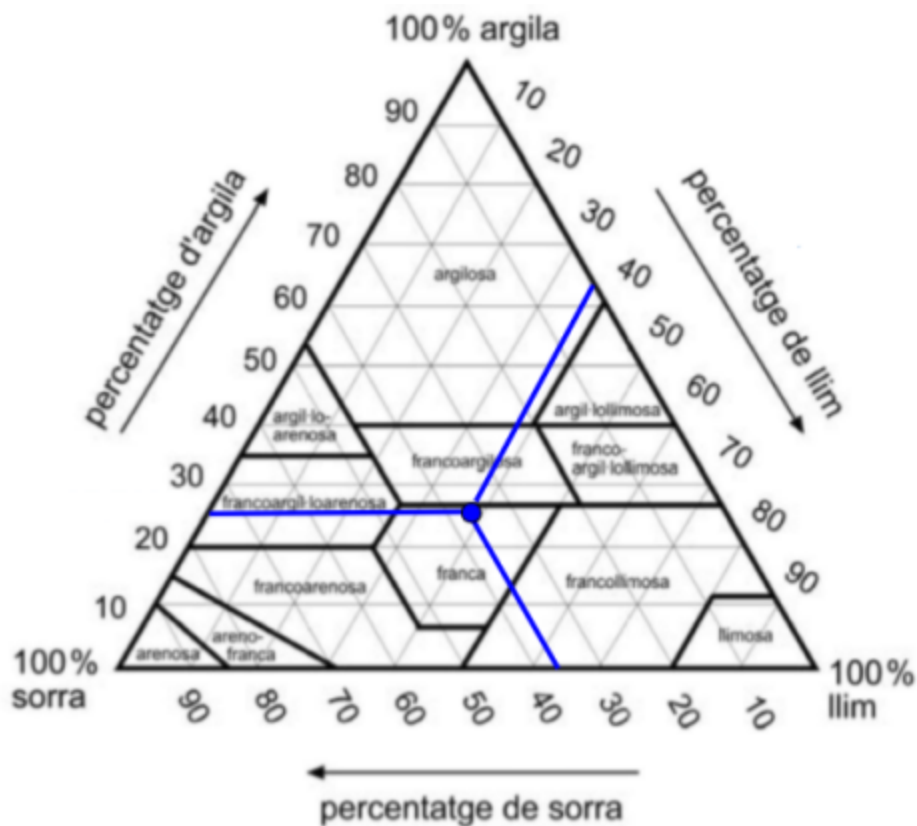


Figura 26: Diagrama textural (USDA) de la mostra de sòl analitzada.

Per tant, el diagrama textural de l'USDA ens indica que la mostra de sòl analitzada pertany a la classe textural franca, amb una proporció d'argila que per poc no la classifica en la categoria francoargilosa.

## 5.5. Conclusions

En conclusió, s'ha determinat que la textura del sòl analitzat és franca i, per tant, que pertany a la família dels sòls mitjans. Així doncs, la hipòtesi inicial concorda amb els resultats obtinguts si es comparen les famílies a les quals pertanyen les dues textures (ambdues estan classificades com a textures mitjanes). Malgrat tot, si es precisa més, els resultats indiquen que el sòl presenta, almenys, un 10% menys de llims i un 10% més de sorres que la hipotètica textura.

Així doncs, sabent la textura del sòl, es pot especular i determinar, qualitativament, la porositat i la permeabilitat d'aquest. Concordant amb la literatura consultada (vegeu la figura 8, punt 1.2.3.), el diàmetre de les partícules minerals del sòl és directament proporcional a:

- La mida dels porus
- La seva permeabilitat
- El seu contingut d'humitat, O<sub>2</sub> i nutrients
- L'activitat bacteriana que pot allotjar

En aquest cas, al ser un sòl mitjà, el diàmetre de les partícules minerals és mitjà. Per tant, la mida dels porus i la permeabilitat també és mitjana. Això comporta que el contingut d'humitat, l'addició d'oxigen i la disponibilitat de nutrients pogués ser més adequat per l'activitat bacteriana. És a dir, un sòl amb partícules de diàmetre gran (un sòl sorrenc, de família lleu) afavoriria més l'activitat bacteriana que un de la família mitjana.

No obstant això, la fiabilitat dels resultats no és total, ja que es van cometre dos errors de mesura deguts a la falta de precisió dels materials disponibles.

D'una banda, no s'ha disposat de les malles amb els diàmetres corresponents (0,002 i 0,05 mil·límetres). Així doncs, a l'utilitzar altres diàmetres, s'han comptabilitzat partícules en una classe textural equivocada. D'aquesta manera, s'han alterat les proporcions i, consegüentment, la textura del sòl, amb una magnitud desconeguda.

D'una altra banda, la utilització del garbell amb la malla de 0,256 mil·límetres de diàmetre encara ha distorsionat més els resultats reals, ja que les fraccions més fines de les sorres (les que es troben entre els 0,256 i els 0,05 mil·límetres) han estat comptabilitzades com a llims. És a dir, s'ha considerat erròniament l'heterogeneïtat natural de la fracció sorrenca com a un error.

Malgrat tot, durant el present treball es prendrà com a premissa que el sòl en qüestió pertany a la família dels sòls mitjans.



## 6. PRÀCTICA III. COMPROVACIÓ DE LA SUPOSADA PRESENCIA DE BACTERIS EN EL VESSAMENT

### 6.1. Objectius

Aquesta darrera pràctica és la de més rellevància, la principal i motiu de les dues anteriors pràctiques. Així doncs, el seu objectiu principal concorda amb l'objectiu del treball: comprovar si existeix, en el vessament, la presència d'una soca bacteriana amb la capacitat de biodegradar l'oli de motor contaminant.

A partir d'aquest objectiu, aquesta pràctica també busca donar una explicació lògica (encara que només qualitativa) als resultats, relacionant-los amb la literatura consultada i les dues anteriors pràctiques.

La hipòtesi inicial és que hi ha presència d'una soca bacteriana capaç de biodegradar l'oli mineral contaminant del sòl d'on s'han obtingut les mostres. Aquesta hipòtesi té la referència de la primera pràctica: la fertilitat era bastant similar a un sòl sense contaminar i, per tant, podria significar (no necessàriament) una remediació bacteriana.

### 6.2. Disseny experimental

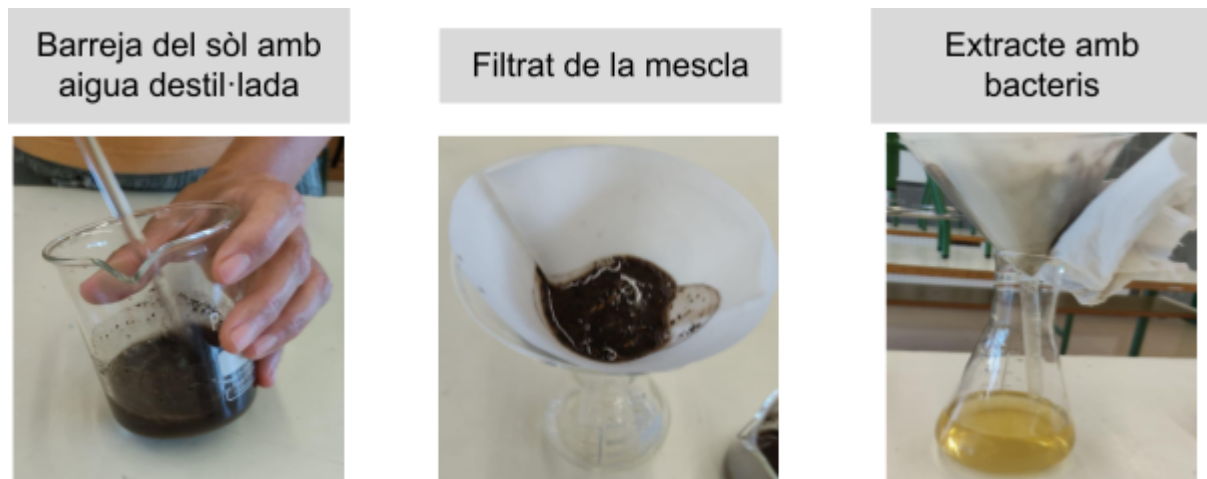
D'acord amb la literatura consultada, els processos de bioremediació requereixen molt de temps. Això és degut al fet que els bacteris han de superar la fase d'aclimatació i tenir temps per mineralitzar una quantitat significativa de contaminant perquè es produeixin canvis observables (vegeu el punt 3.2.). És per això que aquesta pràctica s'ha dut a terme, de forma passiva, durant quatre mesos.

Així doncs, aquest experiment consta de 8 tractaments: 4 amb oli i 4 sense. Per a cada tractament, s'han realitzat 20 rèpliques. Cada tractament conté 52,75 grams de sòl, quantitat que representa una vuitena part de la quantitat total de sòl que es disposava per preparar els tractaments: 422,03 grams. A més a més, cada tractament està contaminat amb 8 mil·lilitres de l'oli mineral, volum arrodonit obtingut de la relació entre sòl i oli usat en la primera pràctica. El càlcul ha estat el següent:

$$52,75 \text{ grams de sòl} \cdot \frac{100 \text{ mil·lilitres d'oli}}{710 \text{ grams de sòl}} = 7,5 \text{ mil·lilitres d'oli} \approx 8 \text{ mil·lilitres d'oli}$$

Ara bé, la diferència entre les dues versions de cada tractament és que una també conté 6 mil·lilitres d'un extracte de bacteris.

Aquest s'ha realitzat, com il·lustra la figura 27, filtrant una mostra de sòl barrejada amb aigua destil·lada. Així doncs, si la hipòtesi de la presència de bacteris en el sòl és certa, l'extracte obtingut conté els bacteris en qüestió.



**Figura 27:** Fotografies del procés d'elaboració de l'extracte de bacteris a partir de la mostra de sòl.

Així doncs, es parteix de la premissa (comprovada anteriorment) que la quantitat d'oli mineral és inversament proporcional a la germinació i al desenvolupament vegetal que pot sostenir un sòl. Per tant, si hi ha bacteris capaços de biodegradar l'oli (l'objecte d'estudi), aquests eliminaran (si disposen del temps suficient) part de l'oli i aquesta acció es podrà veure reflectida en la germinació i el desenvolupament vegetal. El suposat augment de la fertilitat es podrà notar amb la comparació entre les dues versions de cada tractament: una amb bacteris i l'altra sense.

Cal esmentar que el sòl utilitzat en aquesta pràctica ha estat el mateix que en l'anterior pràctica: un sòl que mai no ha estat contaminat. Amb el desenvolupament de l'anterior pràctica, s'ha eliminat la major quantitat possible de matèria orgànica. Així, s'ha evitat al màxim que proliferin bacteris descomponedors i només s'ha permès el desenvolupament de soques que siguin capaces de degradar l'oli i utilitzar-lo com a substrat de creixement.

A més a més, el sòl també ha estat sotmès a altes temperatures per dos motius:

- Esterilitzar-lo, per descartar la màxima quantitat possible de bacteris residents del sòl que puguin intervenir en el desenvolupament de la soca d'interès. Cal reiterar que aquesta soca no es trobava en aquest sòl esterilitzat, sinó que seria introduïda posteriorment mitjançant l'anteriorment esmentat extracte.
- Deshidratar-lo, per eliminar tota l'aigua i poder controlar que la humitat sigui la mateixa en tots els tractaments. És per això que el reg ha estat el mateix.

Per altra banda, la decisió de realitzar quatre sèries de tractaments rau en la voluntat d'observar les possibles diferències de l'actuació dels bacteris durant el temps i poder estudiar la seva tendència. És per això que els tractaments es diferencien en el temps transcorregut abans de la sembra de les llenties (llavors usades també en la pràctica I):

- En els tractaments 1, la sembra s'ha realitzat al cap de dues setmanes, per poder detectar qualsevol error o imprecisió amb temps.
- En els tractaments 2, la sembra s'ha realitzat al cap d'un mes.
- En els tractaments 3, la sembra s'ha realitzat al cap de dos mesos.
- En els tractaments 4, la sembra s'ha realitzat al cap de tres mesos.

Sigui com sigui, durant el temps anterior a la sembra de les llavors, els tractaments s'han tapat. L'objectiu ha estat evitar que qualsevol bacteri contamina els tractaments i pugui esbiaixar els resultats. Malgrat tot, atès a la naturalesa aeròbica dels bacteris, els tractaments s'han destapat momentàniament amb una freqüència setmanal. A més a més, també s'han remogut els sòls, per afavorir la distribució d'oxigen.

Inicialment, es va determinar que, al cap de dues setmanes de la sembra de la llavor, s'enregistrarien els resultats. Aquest temps es considerava més que suficient perquè les llavors almenys germinessin (temporització usada amb eficàcia en la primera pràctica). Malgrat tot, aquest termini ha estat allargat, condicionat per l'absència de llavors germinades en les dues versions del primer tractament. Cal aclarir que no s'ha allargat perquè no es considerés el resultat com a vàlid, sinó per tenir certesa de la seva credibilitat. Així doncs, els resultats dels tres conjunts de tractaments restants s'han enregistrat un mes després de la seva sembra, tal com es veu en la taula 3.

<b>Dia</b>	<b>Acció realitzada</b>
Dia 0	Preparació dels tractaments.
Dia 14	Sembra dels tractaments 1.
Dia 28	Sembra del tractament 2. Enregistrament del tractament 1.
Dia 56	Sembra del tractament 3. Enregistrament del tractament 2.
Dia 84	Sembra del tractament 4. Enregistrament del tractament 3.
Dia 112	Enregistrament del tractament 4.

**Taula 3:** Temporització de les accions principals de la pràctica.

Finalment, s'ha realitzat un reg diari amb la mateixa quantitat d'aigua a les dues versions de cada tractament. Aquesta quantitat d'aigua ha anat augmentant a mesura que no s'observava germinació, pel mateix motiu pel qual es va allargar el temps abans de l'enregistrament de la germinació: per comprovar la fiabilitat del resultat. En aquest cas, es volia descartar que les llavors no estiguessin mancades d'aigua.

### 6.3. Resultats i anàlisi

Pel que fa al nombre de llavors germinades i el desenvolupament vegetal, els resultats són contundents i iguals en tots els tractaments. Així doncs, han germinat un total de 0 llavors en els quatre tractaments, tal com s'observa en la figura 28. Lògicament, el desenvolupament vegetal dels quatre conjunts, també ha estat nul.

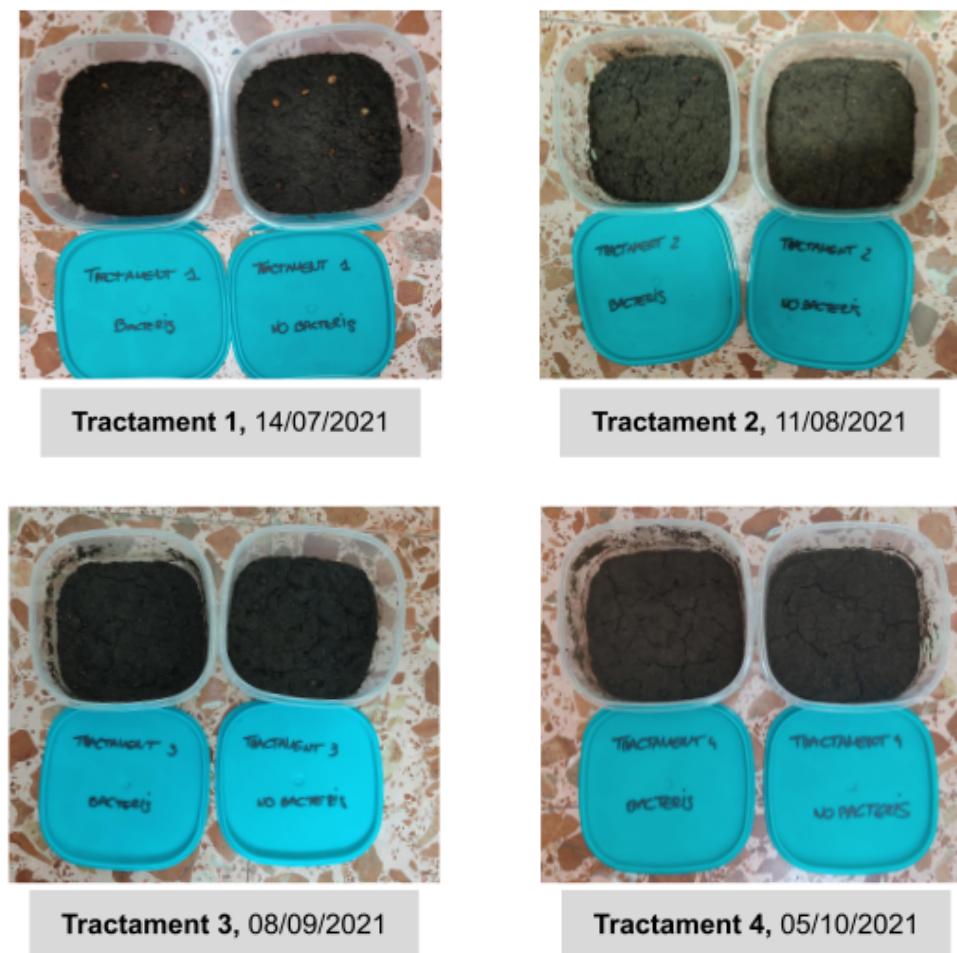


Figura 28: Fotografies comparatives dels resultats dels quatre conjunts de tractaments i la data d'enregistrament.

A part de la germinació, durant la realització de la pràctica s'han obtingut altres resultats, tots qualitatius.

D'una banda, els tractaments que tenen presència de bacteris, a diferència dels que no, han presentat condensació d'aigua a les parets del recipient, tal com es veu en la figura 29.



**Figura 29:** Fotografies comparatives de la quantitat d'aigua condensada, segons la presència/absència de bacteris, del tractament 3.

D'una altra banda, també s'han observat diferències en la velocitat d'absorció de l'aigua entre els tractaments amb presència de bacteris i els tractaments amb absència. Així doncs, tal com es veu en la figura 30, la presència de bacteris ha estat inversament proporcional a la repel·lència del sòl a l'aigua. Aquesta tendència també s'ha mantingut en els quatre parells de tractaments.



**Figura 30:** Fotografia comparativa de la repel·lència a l'aigua dels sòls, segons la presència/absència de bacteris, del tractament 4.

## **6.4. Conclusions**

Amb els resultats obtinguts en referència al plantejament inicial (germinació), no es pot determinar que la taca presenti una soca bacteriana capaç de biodegradar l'oli. Malgrat tot, els altres resultats (condensació i disminució de la repel·lència a l'aigua) poden arribar a ser indicis d'aquesta hipotètica presència de bacteris.

Pel que fa a la presència d'aigua condensada, podria ser producte de la mineralització dels hidrocarburs, o bé de la respiració cel·lular dels bacteris. Tal cosa explicaria per què és present només en els tractaments amb bacteris i indicaria la seva presència.

Quant a la repel·lència a l'aigua, la literatura ens diu que la concentració d'oli és directament proporcional a la repel·lència a l'aigua del sòl (vegeu el punt 2.1.1.2.). Així doncs, els resultats ens mostren que la repel·lència a l'aigua és menor en el tractament amb presència de bacteris. Per tant, això indica que el tractament amb bacteris presenta una menor concentració d'oli. En haver controlat totes les variables que podien alterar la concentració de l'oli, el motiu d'aquesta diferència pot ser l'activitat bacteriana.

Per tant, amb la valoració dels indicis de la presència bacteriana, s'ha arribat a la conclusió que en la taca objecte d'estudi hi ha presència de bacteris biodegradadors de l'oli. Malgrat tot, el motiu pel qual no s'han enregistrat diferències entre les dues sèries de tractaments és que el temps en el qual els bacteris havien de degradar l'oli ha estat insuficient. També pot ser que, directament, no hagin disposat del temps necessari per superar el període d'aclimatació. No obstant això, un cop aclimatats, seria possible que hagués mancat temps perquè la concentració d'oli deixés de ser fitotòxica. Fins i tot, seria possible que el temps hagi estat insuficient per disminuir les afectacions a les propietats fisicoquímiques del sòl que estiguessin reduint la fertilitat.

Per altra banda, per tal de millorar aquesta part pràctica, seria important valorar una reducció de la concentració d'oli, allargar els períodes de possible bioremediació i optimitzar condicions que puguin accelerar els processos de bioremediació (com ara la temperatura, el pH, etc.).

Una altra millora en el disseny experimental seria utilitzar un sòl amb una textura més gruixuda. D'aquesta manera, la quantitat d'oxigen, d'humitat i de nutrients seria més elevada i afavoriria l'activitat bacteriana. Malgrat tot, s'hauria de comprovar que la humitat presentés valors inferiors al 80% mitjançant un estudi de la capacitat de camp. Així, s'evitaria que la humitat fos tan excessiva que disminuís l'oxigen del sòl i perjudicés els bacteris (vegeu el punt 3.3.).

## CONCLUSIONS

En conclusió, tots els objectius han estat assolits i totes les hipòtesis formulades en el present treball han resultat ser encertades. Així i tot, hi ha diverses millores experimentals que es podrien realitzar per obtenir uns resultats més precisos.

En primer lloc, conèixer la concentració d'oli inicial del vessament, perquè els resultats qualitius obtinguts en la pràctica I prenguin valors quantitius. És a dir, per poder comparar les concentracions d'oli, i les consegüents permeabilitats, dels tres tractaments.

En segon lloc, utilitzar malles amb els diàmetres corresponents per garbellar el sòl en la pràctica II i així calcular amb més exactitud la seva textura. A més a més, elaborar anàlisis d'altres propietats fisicoquímiques del sòl, com ara la permeabilitat o la porositat. D'aquesta manera es podrien substituir les valoracions i comparacions qualitatives (a partir d'altres propietats, com il·lustra la figura 8) per altres de quantitatives.

En tercer lloc, disposar de més temps perquè els bacteris desenvolupin la seva activitat metabòlica. Així, es podria determinar amb certesa si els resultats obtinguts en la pràctica III han estat deguts a una absència de bacteris o bé a una manca de temps.

Deixant de banda les possibles millores, les conclusions obtingudes (les quals també figuren en les conclusions de les pràctiques) es troben recollides i relacionades a continuació.

Pel que fa a la pràctica I, s'ha arribat a la conclusió que la fertilitat (considerant-la la germinació i el posterior desenvolupament vegetal) és un bon indicador de la presència d'oli en un sòl. Partint d'aquesta premissa, en la pràctica III no s'ha observat activitat bacteriana, ja que no hi ha hagut germinació. Malgrat tot, s'ha conclòs (quant a la pràctica III, però també al treball de recerca en general) amb la presència de bacteris en el vessament. Això s'explica amb els indicis de l'activitat bacteriana observats en els tractaments amb bacteris: la presència d'aigua i la major absorció d'aquesta en el sòl.

Quant a la textura del sòl, amb la pràctica II s'ha arribat a la conclusió que es tracta d'un sòl de família mitjana. Així doncs, una altra millora per la pràctica III seria utilitzar un sòl de la família lleugera, ja que presentaria propietats fisicoquímiques que afavoririen l'activitat bacteriana i que agilitzarien els processos de bioremediació.

# GLOSSARI I SIGLES

## A

**Aeròbic -a:** Dit de la reacció que es desenvolupa en presència d'oxigen.

**Anabolisme:** Part del metabolisme que transforma molècules simples en molècules complexes i necessita energia.

**Anaeròbic -a:** Dit de la reacció que es desenvolupa en absència d'oxigen.

**Apolaritat:** Contrari a la polaritat.

**Assimilació:** Incorporació de substàncies en el si d'un organisme.

**Atenuació natural:** Reducció, de forma natural, de la concentració d'un contaminant en un sòl mitjançant processos físics, químics o biològics.

## B

**Bioacumulació:** Acumulació d'un element en els teixits dels éssers vius.

**Biodisponibilitat:** Disponibilitat d'una substància en el medi.

**Biomassa:** Massa total de la matèria viva d'un organisme o ecosistema.

## C

**Capacitat catalitzadora:** Capacitat de certes substàncies (químiques o biològiques) de reduir l'energia necessària perquè s'esdevingui una reacció química

**Capacitat de camp:** Quantitat d'aigua retinguda per un sòl un cop s'ha escorregut l'excedent.

**Catabolisme:** Part del metabolisme que transforma molècules complexes en molècules simples i desprèn energia.

**Catiònic -a:** Estat d'una substància elèctricament positiu.

**Cometabolisme:** Transformació, realitzada per un organisme, d'una substància en una d'intermèdia que serà utilitzada per un segon organisme.

**Compost biogènic:** Compost produït per l'acció dels éssers vius.

**Compost xenobiòtic:** Compost produït per l'acció humana.

## D

**Densitat aparent:** Densitat del volum total d'un sòl.

**Destí ambiental:** Destí d'un contaminant al ser alliberat al medi.



**Directament proporcional:** Dit de la relació entre dues variables que, quan una augmenta, l'altra també ho fa (i a la inversa).

## E

**Enzim:** Proteïna amb capacitat catalitzadora que intervé en les reaccions químiques de l'organisme sense ser consumida.

**Exogen -ena:** Dit dels bacteris que s'han introduït en un medi i provenen d'un altre.

## F

**Fitotoxicitat:** Toxicitat referida a un vegetal.

**Fotooxidació:** Procés de modificació de les propietats fisicoquímiques d'una substància mitjançant oxigen i llum solar.

## G

**Grup control:** Grup d'un experiment que no està influenciat per la variable independent.

## H

**Halogen:** Element químic del grup XVII de la taula periòdica: F, Cl, Br, I i At.

**Heteròtrof -a:** Dit de l'organisme que es nodreix incorporant productes orgànics del medi.

## I

**Interacció electroestàtica:** Interacció entre una càrrega positiva i una càrrega negativa.

**Intercanvi de gasos:** Procés d'intercanvi de gasos entre un organisme i el medi.

**Inversament proporcional:** Dit de la relació entre dues variables que, quan una augmenta, l'altra disminueix (i a la inversa).

**IUSS:** Societat Internacional de les Ciències del Sòl.

## L

**Lixiviació:** Canvi de medi, en sentit descendent, que pateixen els elements solubles del sòl a causa de l'aigua de la pluja.

## M

**Mediana:** Dada intermèdia d'un conjunt d'observacions estadístiques.

**Metabolisme:** Conjunt de reaccions bioquímiques que s'esdevenen en un organisme.

**Metabòlit:** Compost químic intermig del procés de cometabolisme.

**Molècula orgànica:** Molècula que conté carboni.

## O

**Observació atípica:** Dada estadística numèricament distant a un conjunt de dades.

**Observació típica:** Dada estadística numèricament pròxima a un conjunt de dades.

**Oxigenasa:** Enzim que incorpora oxigen al substrat.

## P

**Percolació:** Moviment de l'aigua a través de les partícules d'un sòl.

**Pes molecular:** Suma de les masses de tots els elements que conformen una molècula.

**Polaritat:** Propietat d'una molècula o substància de presentar un extrem carregat positivament i l'altre negativament.

## Q

**Quartil:** Valor que comprèn un 25% dels valors d'una sèrie de dades numèriques (primer quartil), un 50% (segon quartil), un 75% (tercer quartil) o un 100% (quart quartil).

## R

**Recalcitrància:** Grau de resistència d'un compost a ser degradat.

**Respiració cel·lular:** Procés realitzat pels éssers vius que degrada, mitjançant la incorporació d'oxigen, substàncies orgàniques per obtenir energia. És un sinònim d'oxidació.

**Rèplica:** Repetició de l'experiment per assegurar la fiabilitat dels resultats i evitar generalitzar possibles resultats extraordinaris.

## S

**Seqüència bioquímica:** Ordre en el qual els elements o compostos s'obtenen a partir d'un altre en un organisme.

## T

**TPH (*total petroleum hydrocarbon*):** Concentració total d'hidrocarburs en un sòl.

## U

**USDA:** Departament d'Agricultura dels Estats Units.

## V

**Variable dependent:** Element d'un experiment els valors del qual depenen dels d'un altre element.

**Variable independent** Element d'un experiment dels valors del qual depenen altres elements.

**Volatilitat:** Tendència d'una substància d'esdevenir vapor.

# WEBGRAFIA

1. Fertilitat agrària. Pla per la millora de la fertilització agrària.  
<https://cutt.ly/2E7gqGh> [consulta: 10.09.2021]
2. Agència de Residus de Catalunya. Guia de bioremediació de sòls contaminats per hidrocarburs del petroli.  
[http://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/sols\\_contaminats/guia\\_bioremediacio.pdf](http://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/sols_contaminats/guia_bioremediacio.pdf) [consulta: 03.09.2021]
3. Gran enciclopèdia catalana. Podegènesi.  
<https://www.enciclopedia.cat/ec-gec-0130448.xml> [consulta: 15.09.2021]
4. Soil Nutrient Management for Maui Country. Soil profile.  
[https://www.ctahr.hawaii.edu/mauisoil/a\\_profile.aspx](https://www.ctahr.hawaii.edu/mauisoil/a_profile.aspx) [consulta: 15.09.2021]
5. Universitat de Murcia. La edafosfera.  
[https://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-may25-45/tema\\_6](https://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-may25-45/tema_6) [consulta: 15.09.2021]
6. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Concepte sòl.  
<https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Serveis/Sols/Concepte-sol> [consulta: 15.09.2021]
7. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria.  
[http://www.inia.uy/Documentos/Privados/INIA%20LB/Curso%20Prof%20Geografia/Jornada%20Suelos%20Uy%202015\\_IV.pdf](http://www.inia.uy/Documentos/Privados/INIA%20LB/Curso%20Prof%20Geografia/Jornada%20Suelos%20Uy%202015_IV.pdf) [consulta: 09.10.2021]
8. Edafologia. Propiedades físicas.  
<http://www.edafologia.net/introeda/tema04/text.htm#anchor618597> [consulta: 30.07.2021]
9. Nicolás Ciancaglini. Guía para la determinación de textura de suelos.  
<https://cutt.ly/5E7lqNL> [consulta: 07.04.2021]
10. Fertilab. Interpretación de resultados de textura y humedad del suelo.  
<https://cutt.ly/4E7IZAB> [consulta: 09.10.2021]
11. ESAB-UPC. Components sòlids del sòl.  
[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/189586/2\\_propietats\\_fisiques\\_textura\\_i\\_estructura-4795.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/189586/2_propietats_fisiques_textura_i_estructura-4795.pdf?sequence=2&isAllowed=y) [consulta: 06.04.2021]

- 12.** COAT Cáceres. Permeabilidad de suelos  
<https://cutt.ly/iE7zgoB> [consulta: 25.04.2021]
- 13.** INIA. La biodiversidad del suelo.  
[http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ara/ara\\_186.pdf](http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ara/ara_186.pdf) [consulta: 25.04.2021]
- 14.** FAO. Los suelos constituyen la base de la vegetación.  
<https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/287559/> [consulta: 25.04.2021]
- 15.** Wikiwand. Fertilidad del suelo  
[https://www.wikiwand.com/es/Fertilidad\\_del\\_suelo](https://www.wikiwand.com/es/Fertilidad_del_suelo) [consulta: 25.04.2021]
- 16.** Johana Andrea Velásquez Arias. Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6285716> [consulta: 18.07.2021]
- 17.** Interciencia. Concentración residual de hidrocarburos en suelo del trópico.  
<https://www.redalyc.org/pdf/339/33933703.pdf> [consulta: 18.07.2021]
- 18.** Revista internacional de contaminación ambiental. Fitotoxicidad de HAP, crudos extra pesados y sus fracciones en Lactuca sativa  
<https://cutt.ly/qE7cvao> [consulta: 18.07.2021]
- 19.** Journal of the Selva Andina Research Society. Impacto del aceite residual automotriz en un suelo: remediación por bioestimulación.  
<https://cutt.ly/FE7nldA> [consulta: 04.08.2021]
- 20.** M. Sanz Encinas. Diagnóstico visual de la clorosis férrica.  
[https://digital.csic.es/bitstream/10261/13790/1/SanzM\\_MontanesL\\_lteaPV\\_1997.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/13790/1/SanzM_MontanesL_lteaPV_1997.pdf)  
[consulta: 19.07.2021]
- 21.** Anna Maria Solanas. La bioremediació.  
<https://es.scribd.com/document/501615672/256589-Text-de-l-article-345689-1-10-20120713>  
[consulta: 19.07.2021]
- 22.** Martin Alexander. Biodegradation and Bioremediation.  
<https://www.elsevier.com/books/biodegradation-and-bioremediation/alexander/978-0-08-091637-8> [consulta: 31.08.2021]
- 23.** Gerard Carrascosa Cervilla. Bioremediació de sòls contaminats per hidrocarburs.  
<http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/6702> [consulta: 31.08.2021]