

EL RIU BESÒS:

Aproximació a l'estudi
de la seva microbiologia

Treball de recerca



RESUMEN

Este trabajo aplica las técnicas microbiológicas aprendidas durante una estancia de investigación en la Universidad Autónoma de Barcelona a través del programa Argó para aplicar los conocimientos adquiridos sobre contaminación fecal a las aguas del río Besós. El estudio se centra en este río mayoritariamente urbano, que nace de la confluencia de los ríos Mogent y Congost y recibe vertidos de origen doméstico, industrial y agrícola a lo largo de su curso.

Se recogieron muestras de agua en cinco puntos representativos que abarcan zonas rurales, industriales y urbanas, que fueron procesadas en laboratorio mediante técnicas de filtración, siembra en medios selectivos, tinción y observación microscópica para cuantificar los indicadores de contaminación fecal: *Escherichia coli* y enterococos fecales.

Los resultados obtenidos muestran niveles de contaminación muy superiores a los límites establecidos por la normativa europea, nacional y autonómica. Sin embargo, el análisis crítico de la metodología revela limitaciones significativas, particularmente la adecuación de los medios de cultivo utilizados, lo que cuestiona la precisión de los resultados.

El estudio pone en relieve los riesgos que provoca la contaminación microbiológica tanto para la salud pública como para el equilibrio ecológico de los ríos y aquellos ecosistemas colindantes, tanto superficiales como subterráneos. Además, se pretende enfatizar en la necesidad urgente de reforzar los sistemas de control de vertidos, depuración de aguas, la necesidad de una monitorización más exhaustiva y establecer normativas que refuercen el cuidado del río. Por último, se recomienda la necesidad de aplicar estrategias efectivas de concienciación urbana y saneamiento del río.

Palabras clave: Contaminación microbiológica, niveles de contaminación, *Escherichia coli*, enterococos fecales, riesgo para la salud, calidad del agua.

ABSTRACT

The main objective of this research is to apply the microbiological techniques acquired during the Argó research program to evaluate the presence of fecal indicators in the Besòs River. This study focuses on this predominantly urban river, which originates from the confluence of the Mogent and Congost rivers and receives domestic, industrial, and agricultural discharges along its course.

To achieve this, five water samples were collected from rural, industrial, and urban sections of the river and analysed using filtration, selective media, staining, and microscopy to quantify *Escherichia coli* and fecal enterococci. The results reveal contamination levels far above European, national, and regional regulatory limits. However, methodological limitations, especially the suitability of the culture media, raise concerns about the accuracy of the measurements obtained.

The study highlights the risks to both public health and the ecological balance of the river and its surrounding ecosystems, including surface and groundwater. Furthermore, it emphasizes the urgent need to strengthen discharge control systems, improve wastewater treatment, implement more thorough monitoring, and establish regulations that reinforce river protection. Finally, it recommends the adoption of effective urban awareness and river sanitation strategies.

Keywords: Microbiological contamination, contamination levels, *Escherichia coli*, fecal enterococci, health risk, water quality.

ÍNDEX:

1. AGRAÏMENTS	6
2. INTRODUCCIÓ	7
3. OBJECTIUS DEL TREBALL	7
4. HIPÒTESI	8
5. METODOLOGIA	8
6. ESTRUCTURA DEL TREBALL	8
7. PART TEÒRICA	9
7.1. Contaminació fecal: Concepte i efectes	9
7.1.1. Què és la contaminació fecal?	9
7.1.2. Microorganismes indicadors de contaminació fecal	9
7.1.3. Principals fonts de contaminació fecal	10
7.1.4. Efectes en el medi aquàtic i els ecosistemes	11
7.2. Riscs per a la salut humana	12
7.2.1. Malalties causades per la ingestió d'aigua contaminada	12
7.2.2. Formes d'exposició	16
7.2.3. Grups vulnerables	16
7.3. El riu Besòs com a cas d'estudi	17
7.3.1. Història ambiental del riu Besòs	17
7.3.2. Zones urbanes i industrials al llarg del riu	18
7.3.3. Problemes històrics de contaminació	18
7.4. Normatives i criteris de la qualitat de l'aigua	20
7.4.1. Normativa europea	20
7.4.2. Normativa espanyola i catalana sobre la qualitat microbiològica	22
7.4.3. Límits legals de microorganismes fecals en aigües superficials	23
8. PART PRÀCTICA	24
8.1. Introducció	24
8.2. Objectius:	24
8.3. Material i equipament:	24
8.4. Disseny de l'estudi:	26
8.4.1. Selecció de trams del riu	26
8.5. Procediment:	29
8.5.1. Filtració de les mostres d'aigua	29
8.5.2. Sembrar en medi de cultiu	30
8.5.3. Incubació de les plaques i recompte de colònies bacterianes	30
8.5.4. Tècniques de tinció bacteriana	32
8.5.5. Observació al microscopi	33
8.6. Adquisició i enregistrament de les dades:	34
8.6.1. Normativa de presa de mostres	34
8.6.2. Nivell de contaminació fecal detectat en cada tram	36
8.7. Anàlisi de resultats:	38

8.7.1. Comparació dels valors obtinguts en relació amb la normativa sanitària	38
8.7.2. Relació entre contaminació i tipus d'entorn	40
8.7.3. Implicacions per a la salut pública i l'ús del riu	41
8.7.4. Revisió crítica i limitacions de l'estudi	41
8.7.5. Mesures per reduir la contaminació fecal al riu Besòs	42
8.7.6. Aportació personal per a la divulgació per a la cura dels nostres rius	42
8.7.7. Entrevista a un professional de microbiologia	43
9. CONCLUSIÓ	46
10. BIBLIOGRAFIA WEB	47
11. ANNEX	51

1. AGRAÏMENTS

Abans de començar amb el treball, m'agradaria donar les gràcies a totes les persones que han fet possible la creació d'aquest treball de recerca, per una part ajudant-me físicament i, per una altra part, mentalment.

Primerament, m'agradaria agrair a la persona més implicada i a la que més m'ha ajudat en tot aquest recorregut, a la meva tutora del treball de recerca. Moltíssimes gràcies per haver-me guiat en tot aquest procés i per haver-me donat tot el suport necessari per fer possible aquest treball. Aprecio moltíssim la seva dedicació i el seu esforç per ajudar-me a avançar.

En segon lloc, vull donar les gràcies als meus pares. Les seves paraules, especialment en els moments en què més les necessitava, van ser essencials per animar-me a seguir endavant. A vegades, quan tot semblava més difícil, el seu suport em va donar força.

És important per a mi destacar al meu germà per les seves idees i aportacions, que han contribuït a enriquir el contingut del meu treball de recerca. La seva manera de veure les coses m'ha ajudat a ampliar la meva perspectiva i fer reflexions que potser no hauria arribat a plantejar.

Finalment, però no menys important, vull expressar el meu sincer agraïment a la professora Nuria Vigués Frantzen, de la Universitat Autònoma de Barcelona. La seva predisposició constant per ajudar-me i, sobretot, el seu suport en la part pràctica del treball de recerca han estat fonamentals. Sense la seva implicació, aquest projecte no hauria estat possible.

Moltes gràcies a totes aquestes persones esmentades que sense elles no hagués estat possible fer aquest treball, mai no ho oblidaré.

2. INTRODUCCIÓ

Aquest estiu he tingut l'oportunitat de participar en una estada del programa Argó a la Universitat Autònoma de Barcelona, una experiència que ha marcat profundament l'enfocament d'aquest treball. Triar el tema de recerca no va ser fàcil, però tenia clar que volia aprofundir en algun aspecte relacionat amb la medicina i la salut, la carrera que vull estudiar per contribuir a una sanitat més justa i accessible.

Durant l'estada a la UAB, vaig poder conèixer de primera mà les tècniques utilitzades en microbiologia ambiental. Aquest contacte amb la recerca pràctica em va fer comprendre que la relació entre els microbis i l'aigua combina perfectament dues de les meves grans passions: la recerca científica i la salut pública. Sovint no som conscients que els microorganismes presents a l'aigua poden ser una via indirecta, però crucial, de transmissió de malalties.

El creixement de la població i l'augment de l'ús de l'aigua han incrementat els nivells de contaminació, especialment pels abocaments d'origen domèstic i industrial. En el cas dels residus domèstics, la càrrega contaminant inclou alts percentatges de matèria orgànica i microorganismes d'origen fecal, causants de malalties d'origen hídric amb un fort impacte en la salut pública.

De fet, el control de la qualitat microbiològica requereix anàlisis especialitzades, costoses i que impliquen diversos dies de treball. Com a alternativa, s'ha proposat l'ús d'indicadors microbians que es puguin identificar mitjançant mètodes més senzills i econòmics. Aquest treball, doncs, neix de la meva voluntat d'aplicar els coneixements i tècniques apresos durant l'estada Argó per analitzar els principals indicadors de contaminació fecal i avaluar el seu paper en la valoració de la qualitat de l'aigua del riu Besòs.

3. OBJECTIUS DEL TREBALL

Els objectius d'aquest treball es concreten de la següent manera:

- Realitzar una recerca sobre les principals fonts de contaminació fecal de les aigües, els agents causals de les malalties associades i els possibles efectes sobre la salut humana.
- Aplicar les tècniques de laboratori apreses durant l'estada del programa Argó per aïllar i quantificar microorganismes indicadors de contaminació fecal en diferents trams del riu Besòs.
- Analitzar els resultats obtinguts en relació amb les característiques de l'entorn de cada tram (urbà, industrial, rural).
- Contrastar les dades experimentals amb la normativa vigent.
- Obtenir informació sobre la percepció dels especialistes pel que fa a la contaminació fecal als rius mitjançant una entrevista qualificada.
- Dissenyar un díptic per sensibilitzar la població juvenil sobre la cura i manteniment dels rius.

4. HIPÒTESI

Hem elaborat aquesta hipòtesi de treball:

- Pot ser la contaminació fecal és més elevada en els trams del riu que passen per zones urbanes i industrials, i més baixa en les àrees naturals, ja que en aquestes primeres hi ha més infraestructures com clavegueres i canonades a prop del riu, perquè els abocaments arriben de manera directa al riu.
- Pot ser la presència humana i les activitats quotidianes tenen un impacte significatiu en la qualitat de l'aigua.

5. METODOLOGIA

Per fer aquest treball, he consultat diferents enllaços de webs i he realitzat una entrevista a una professional d'aquest camp per obtenir una visió més àmplia i concreta sobre el tema escollit. A més, he utilitzat un mètode inductiu i experimental, és a dir, he observat mostres reals al laboratori per poder treure conclusions sobre com és la qualitat microbiològica de l'aigua.

Per tenir una visió realista del problema, he recollit mostres de diferents trams del riu amb l'objectiu d'analitzar-les posteriorment.

A més, he fet servir diferents tècniques de laboratori, com ara, la tinció, que serveix per veure millor els microorganismes amb el microscopi, i també tècniques de cultiu per saber si hi ha bacteris i quants n'hi ha.

Pel que fa als procediments, he treballat amb plaques de Petri, on he sembrat mostres fent dilucions per poder comptar bé les colònies de bacteris. També, he seguit normes de seguretat i he aplicat la tècnica asèptica per no contaminar les mostres i obtenir resultats fiables. En aquest context, el programa Argó, en el qual he participat durant una estada d'estiu, ha estat fonamental per al desenvolupament de la part pràctica del treball, ja que m'ha permès viure de primera mà què significa fer recerca. A més, he tingut la sort de comptar amb professors que m'han transmès els seus coneixements amb entusiasme, i gràcies a ells he pogut aprendre i posar en pràctica moltes tècniques.

He comparat, també, els valors de contaminació obtinguts en cada tram amb els límits acceptats per diferents normatives (Europa, Espanya, Catalunya) i he efectuat unes conclusions i recomanacions.

Finalment, he elaborat un díptic informatiu dirigit als joves per a conscienciar sobre la importància de la qualitat de l'aigua i promoure hàbits per ajudar a conservar els nostres rius.

6. ESTRUCTURA DEL TREBALL

Aquest treball de recerca consta de tres parts: la primera part és teòrica, on explicarem els conceptes i fets relacionats amb la contaminació fecal i s'aprofundirà en la història del riu Besòs, així com en les fàbriques situades al llarg del seu recorregut, per tal d'entendre millor el context de la part pràctica. A continuació, en la part pràctica, hi ha tres subapartats: el primer subapartat es basa en l'àmbit experimental, on farem una

anàlisi de mostres de diferents trams del riu i comptarem els bacteris indicadors de contaminació fecal que hi ha. La segona part del marc pràctic és de l'àmbit personal, i trobem l'entrevista feta a una professora universitària que aporta una visió experta sobre el tema. Finalment, a la tercera i última part del treball exposarem les conclusions de la investigació i les reflexions finals.

7. PART TEÒRICA

7.1. Contaminació fecal: Concepte i efectes

7.1.1. Què és la contaminació fecal?

La contaminació fecal de les aigües superficials¹ és un problema que afecta directament la salut de les persones, ja que facilita la transmissió de microorganismes patògens com ara virus, bacteris, protozous i altres paràsits. En la majoria dels casos, aquests microorganismes es transmeten per la via fecal-oral, especialment quan s'ingereix aigua contaminada.

També hi ha altres formes de contagi importants, com ara la inhalació o aspiració de petites gotes d'aigua contaminada, o el contacte directe amb la pell i les mucoses durant activitats com ara la natació o el busseig. En aquests casos, el risc d'infecció augmenta, ja que és fàcil que l'aigua entri en contacte amb parts sensibles del cos o fins i tot s'ingereixi accidentalment.

Per aquest motiu, per evitar les malalties esmentades i altres infeccions, és especialment crucial prendre mesures personals que garanteixin la nostra salut i seguretat al voltant de l'aigua.

7.1.2. Microorganismes indicadors de contaminació fecal

Les matèries fecals humanes i animals poden contenir una gran varietat de bacteris que provoquen malalties intestinals, com ara *Campylobacter*, *Salmonella*, *Shigella*, *Yersinia*, *Aeromonas* o *Leptospira*. Tot i això, els microorganismes més utilitzats com a indicadors de contaminació fecal de l'aigua són els bacteris coliformes, especialment l'*Escherichia coli* (*E. coli*).

1

L'*E. coli* és un bacteri d'origen fecal que forma part del grup dels coliformes. La seva estructura cel·lular, típica dels bacteris Gram negatius, està formada per tres capes que li donen protecció i forma: la membrana interna, que regula el pas de substàncies; el peptidoglicà, que aporta rigidesa; i la membrana externa, que conté elements

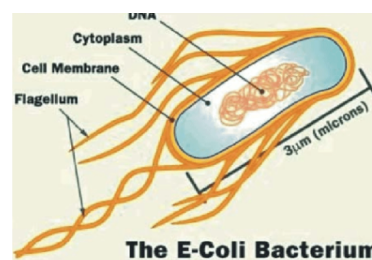


Fig. 1 Esquema estructural d'*E. coli* amb els seus components principals.



Fig. 2 Imatge de microscòpia electrònica

¹ **Aigües superficials:** són les aigües quietes o corrents que es troben a la superfície del sòl, com ara rius, llacs, aigües de transició prop de desembocadures dels rius i les aigües costaneres o marines.

defensius com ara lipopolisacàrids. Gràcies a aquesta organització, l'*E. coli* és capaç de sobreviure en diversos entorns. La majoria de les soques són inofensives i viuen de manera natural a l'intestí humà, però algunes poden causar diarrees, infeccions urinàries, respiratòries o sanguínies. La seva presència a l'aigua és un senyal clar de contaminació fecal recent, ja que fora del sistema digestiu sobreviu poc temps. Per això, les plantes de tractament utilitzen desinfectants com clor o ozó per eliminar-lo.

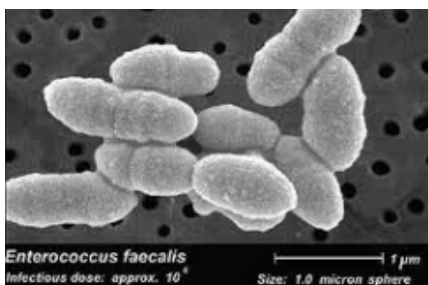


Fig. 3 *Enterococcus faecalis* - Dosi infecciosa: 10^6 cèl·lules

Un altre indicador important són els enterococs fecals, bacteris rodons (cocs) grampositius que sovint apareixen en parelles o cadenes curtes. Formen part de la microbiota intestinal humana, amb espècies com *E. faecalis* i *E. faecium*, i es troben també en aliments, plantes, animals i aigua. La seva gran resistència a condicions adverses, inclosa la salinitat, fa que siguin bons indicadors de contaminació fecal, especialment en aigües destinades a usos recreatius.

En aigües tractades, la detecció de coliformes totals serveix com a senyal d'alerta que hi ha hagut contaminació, encara que no permet identificar-ne l'origen. La seva presència activa protocols de control i vigilància en les plantes de tractament i en la xarxa de distribució.

Finalment, el recompte de bacteris aerobis heteròtrofs és útil per avaluar l'estat de l'aigua i la neteja de les instal·lacions. Un augment sobtat en el nombre de colònies pot indicar un focus de contaminació i requereix una investigació immediata.

En resum, queda clar que aquests indicadors microbiològics són essencials per garantir la qualitat de l'aigua.

7.1.3. Principals fonts de contaminació fecal

Quan parlem de platges, rius o llacs on la gent va a banyar-se o fer activitats lúdiques, és important saber que hi ha diversos riscos de contaminació fecal que poden afectar la salut. Les principals fonts d'aquesta contaminació són:

- Les aigües residuals i fangs fecals que s'aboquen directament a les àrees de bany i activitats mitjançant canonades, desguassos oberts o camions.
- Els abocaments al riu i els sobreixidors de clavegueres fan que l'aigua reculli restes dels sistemes de sanejament, com ara aigües brutes de les cases o líquids de fosses sèptiques. Això passa, per exemple, quan plou molt i les clavegueres no poden contenir tota l'aigua, o quan hi ha problemes en la xarxa de desguàs. Aquestes situacions són especialment preocupants quan el riu es fa servir per banyar-s'hi, o quan desemboca en zones de platja o llacs on la gent també es banya.
- Les persones que utilitzen l'aigua poden contaminar-la amb excrements, vòmits o orina. Aquest risc augmenta si hi ha molta gent, si els terrenys del voltant tenen problemes d'higiene (com ara defecació a l'aire lliure) o si les fosses sèptiques s'inunden.

Els riscos varien segons el lloc. Per exemple, si les aigües residuals es descarreguen en una desembocadura amb poc moviment de mareas, el perill és més gran que si ho fan en una desembocadura amb molta circulació d'aigua. Igualment, un riu que desemboca en una badia tancada és més problemàtic que un que va directament al mar obert.

Tot i que hi pot haver diverses fonts de contaminació, per gestionar millor la situació es tendeix a identificar la font principal. Això no vol dir que les altres s'ignorin, cal tenir-les totes en compte. Aquesta classificació es fa valorant el risc d'exposició en condicions normals, tenint en compte com funcionen les plantes de tractament, les fosses sèptiques i les condicions meteorològiques i marines.

A més, en zones com llacs poc profunds o costes protegides, els sediments poden acumular microbis fecals. Quan la gent es banya o plou fort, aquests sediments poden remoure's i augmentar el risc, tot i que encara no se sap del tot com afecta això la salut.

Pel que fa als animals, en general, els seus excrements representen menys risc que els humans. Tot i això, aus com ara les gavines o els ànecs poden alterar els indicadors de qualitat de l'aigua i provocar mesures de gestió que potser no són necessàries. En alguns casos, però, els excrements animals poden transmetre malalties a les persones, sobretot si hi ha ramaderia intensiva a prop de rius o llacs. Per això, és important conèixer bé les fonts locals de contaminació i incloure-les en les inspeccions sanitàries, com ja es fa en les zones de cultiu de marisc.

7. 1.4. Efectes en el medi aquàtic i els ecosistemes

Efectes a nivell microscòpic:

La presència de restes de menjar dels animals té com a conseqüència un desequilibri dels microorganismes presents a l'aigua que influeixen en el cicle de micromolècules com ara els nitrats i els nitrits. Això vol dir que pot augmentar o disminuir la població de bacteris nitrificants que són els encarregats de convertir els nitrats (altament contaminants per a plantes, algues, peixos i organisme aquàtics) en nitrits (molècules molt menys perjudicials per a la salut dels éssers vius).

Efectes a l'ecosistema:

- Efectes a la cadena alimentària

D'una banda, els excrements i les restes d'animals que arriben a ecosistemes tant terrestres com subaquàtics tenen una gran quantitat de bacteris com l'*E. Coli*. Això suposa un increment de bacteris perjudicials per a la salut que qualsevol espècie de l'ecosistema pot ingerir, sigui bevent o pel simple fet de viure al mateix ecosistema aquàtic. Per tant, un individu afectat pot patir nàusees, vòmits, còlics abdominals, diarrea i febre.

D'altra banda, alguns bacteris també poden alliberar toxines, que són substàncies perjudicials per a altres organismes. Aquestes toxines s'acumulen a l'aigua i poden afectar peixos i altres éssers vius aquàtics que els bacteris infecten. A més, quan aquests organismes són menjats per altres animals, les toxines es poden acumular a la cadena tròfica, cosa que significa que poden arribar a animals més grans, inclòs l'ésser humà.

- Efectes als paràmetres i qualitat de l'aigua

També, la presència de nous bacteris patògens pot influir en paràmetres importants de l'aigua, com ara l'oxigen dissolt, cosa que suposa un perill per a les altres espècies de l'ecosistema. Una aigua altament contaminada per bacteris també presentarà una terbolesa pròpia de la baixa qualitat de l'aigua i un augment de microorganismes.

7.2. Riscos per a la salut humana

7.2.1. Malalties causades per la ingestió d'aigua contaminada

L'aigua contaminada i un sanejament deficient poden provocar la transmissió de malalties com ara el còlera, altres malalties diarrièques, l'hepatitis A, la febre tifoide, la poliomièlitis, etc. Quan no hi ha serveis d'aigua i sanejament, o aquests són insuficients o es gestionen malament, la població s'exposa riscos per a la salut que, en realitat, es podrien prevenir.

Es calcula que prop d'un milió de persones moren cada any a causa de malalties diarrièques provocades per l'aigua insalubre. Tot i això, cada any es podrien evitar unes 395.000 morts de nens menors de cinc anys si es garantís l'accés a aigua neta i a un sanejament adequat.

Les principals malalties que es poden contraure per consumir aigua contaminada són:

- Còlera:

El còlera és una malaltia bacteriana que provoca diarrea intensa i deshidratació. Si no es tracta, el còlera pot ser mortal en qüestió d'hores, fins i tot en persones prèviament sanes.

El còlera es pot tractar de manera senzilla. La mort per deshidratació greu es pot prevenir amb una beguda de rehidratació, que és econòmica i fàcil de preparar.

La majoria de les persones exposades al bacteri del còlera (*Vibrio cholerae*) no es posen malaltes i no saben que s'han contagiats. Tot i això, com que eliminen el bacteri amb les femtes durant set a catorze dies, poden contagiar altres persones a través de l'aigua contaminada.

La majoria dels casos de còlera amb símptomes provoquen una diarrea lleu o moderada, que sovint és difícil de diferenciar de la diarrea causada per altres malalties. En canvi, altres persones presenten símptomes molt més greus, que solen aparèixer al cap de pocs dies d'haver-se contagiats.

Els símptomes de la infecció per còlera poden incloure diarrea, que apareix de manera sobtada i pot provocar una pèrdua de líquids molt ràpida i perillosa; nàusees i vòmits, sobretot durant les primeres hores de la malaltia; i deshidratació, que pot aparèixer poques hores després de l'inici dels símptomes. Aquesta deshidratació pot ser de lleu a greu, i es considera greu quan la persona perd un 10% o més del seu pes corporal.



Fig. 4 El còlera - Malaltia causada per *Vibrio cholerae*

Quan la deshidratació avança, apareixen diversos signes com ara irritabilitat, fatiga, ulls enfonsats, sequedat bucal, set extrema i pell seca i arrugada que triga a recuperar la seva forma quan se la pessiga. També es pot observar una disminució de la producció d'orina, o fins i tot la seva absència. A més, una deshidratació greu pot provocar una baixada de la pressió arterial i un augment de la freqüència cardíaca.

És de gran importància esmentar que la deshidratació pot conduir a una pèrdua ràpida de minerals a la sang que mantenen l'equilibri de líquids al cos. Això s'anomena desequilibri d'electròlits.

Un desequilibri d'electròlits pot provocar signes i símptomes greus, com ara rampes musculars i xoc que és una de les complicacions més greus de la deshidratació. Si no es tracta, el xoc hipovolèmic greu pot provocar la mort en qüestió de minuts.

- **Febre tifoide:**

La febre tifoide és causada pel bacteri salmonel·la (*Salmonella typhi*) i és poc freqüent a llocs on hi ha poques persones portadores d'aquest bacteri. També és poc freqüent als llocs amb aigua tractada per matar gèrmens i on hi ha un control de l'eliminació de fems humans. Un dels exemples d'un lloc on la febre tifoide és poc freqüent són els Estats Units. Els llocs amb el nombre més gran de casos o amb brots freqüents són Àfrica i Àsia del Sud. És una amenaça greu contra la salut, especialment per als nens, als llocs on és més comú.

Els aliments i l'aigua que contenen aquest bacteri provoquen febre tifoide. El contacte proper amb una persona que té el bacteri *Salmonel·la* també pot provocar febre tifoide. Els símptomes inclouen febre alta, mal de cap, dolor estomacal i estrenyiment o diarrea.

La majoria de les persones amb febre tifoide se senten millor aproximadament una setmana després de començar el tractament amb antibiòtics per eliminar els bacteris. Tot i això, si no es rep un tractament, hi ha una petita probabilitat de morir a causa de les complicacions per la febre tifoide. Les vacunes contra la febre tifoide ofereixen un cert grau de protecció, però no són efectives davant totes les varietats de *Salmonel·la* que poden causar la malaltia. Malgrat això, la vacunació és una mesura important per reduir el risc de contraure febre tifoide.

- **Diarrea per *E.coli*:**

La gastroenteritis causada per *Escherichia coli* (*E. coli*) sol produir-se quan els microorganismes entren al cos a través del consum de carn o aigua contaminada.

Hi ha diversos subtipus d'*E. coli*, i cada un provoca diferents manifestacions de la malaltia. L'*E. coli enterohemorràgica*, també coneguda com a productora de toxina Shiga, és especialment important als Estats Units, ja que pot causar diarrea amb sang i, en alguns casos, la greu síndrome hemolítica urèmica, que afecta els ronyons. El cep més comú d'aquest subtipus és l'O157:H7, i algunes de les fonts d'infecció són la llet i



Fig. 5 Erupció cutània típica de la febre tifoide.

el suc no pasteuritzats, així com l'aigua contaminada. La transmissió de persona a persona és freqüent, especialment en guarderies, i s'han registrat brots associats a piscines, llacs i parcs aquàtics. Aquesta síndrome pot afectar persones de totes les edats, però és més greu en nens i adults grans.

Altres subtipus d'*E. coli* també causen diarrea. L'enterotoxigènica produeix toxines que provoquen diarrea aquosa i és la causa més habitual de la diarrea del viatger a països en desenvolupament. L'*E. coli enteropatògena* també provoca diarrea aquosa i havia estat una causa freqüent de brots a guarderies, tot i que avui dia és poc habitual. L'enteroinvasiva provoca diarrea, amb sang o sense, principalment en països amb ingressos baixos o mitjans, mentre que l'*E. coli enteroagregativa* causa una diarrea menys greu però de durada més llarga, i també pot afectar viatgers que visiten països amb condicions sanitàries precàries.

Els símptomes més comuns de la gastroenteritis per *E. coli* són diarrea i còlics abdominals, però la infecció pot provocar també dolor abdominal, inflor, diarrea greu i deshidratació. En la majoria dels casos, no es realitzen cultius de femta, ja que les diarrees milloren soles i el tractament dels símptomes és similar independentment del tipus d'*E. coli* que hagi causat la malaltia.

- **Amebiasi:**

L'amebiasi és una infecció parasitària causada principalment per *Entamoeba histolytica*, tot i que altres espècies com *Entamoeba dispar* i *Entamoeba moshkovskii* també poden provocar la malaltia. *E. histolytica* és un protozou paràsit anaeròbic que té un cicle de vida amb dos estadis: la forma invasiva vegetativa ameboide, anomenada trofozoït, i la forma de resistència i infectant, coneguda com a quist. Els quists poden sobreviure a l'ambient durant dies o setmanes, cosa que facilita la transmissió en ambients poc higiènics.



Fig. 6 Amebiasi intestinal causada pel protozou *Entamoeba histolytica*

L'amebiasi es troba a tot el món, però l'*E. histolytica* és responsable de la majoria dels casos simptomàtics. Es calcula que entre un 10% i un 20% de la població mundial està infectada. La majoria de les persones infectades no presenten símptomes (fins al 90%), però en els casos més greus la infecció pot ser letal. Quan apareixen símptomes, aquests es manifesten entre els 7 i els 28 dies després de l'exposició i poden incloure còlics abdominals, diarrea aquosa amb 3 a 8 deposicions al dia, flatulència, pèrdua de pes, fatiga i presència de sang a la femta.

En alguns casos extrems, el paràsit pot arribar al torrent sanguini i instal·lar-se al fetge, provocant un abscess hepàtic. Aquesta complicació és poc freqüent i sol aparèixer entre 2 i 4 setmanes després de la infecció inicial. Els símptomes principals inclouen dolor al quadrant dret de l'abdomen, febre i sensibilitat al tacte.

La transmissió de l'amebiasi es produeix quan una persona consumeix aigua, menjar o qualsevol altre element que contingui quists viables.

- Hepatitis A:

L'hepatitis A és una inflamació del fetge causada pel virus de l'hepatitis A (VHA). Aquest virus es transmet principalment per via fecal-oral, és a dir, quan una persona no infectada ingereix aigua o aliments contaminats. A les famílies, això pot passar si les mans de la persona que cuina no estan netes. La transmissió a través de l'aigua, tot i que menys freqüent, sol estar relacionada amb contaminació per aigües residuals o amb subministrament d'aigua insuficientment tractada. El virus també es pot transmetre per contacte físic amb una persona infectada, per exemple, mitjançant el sexe bucoanal.

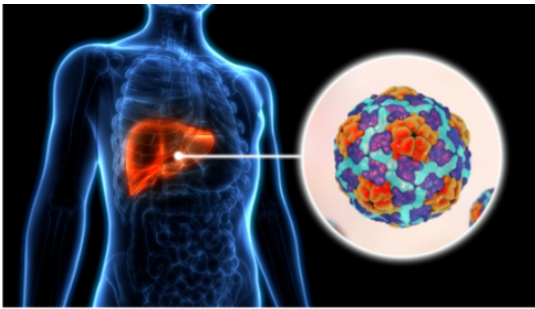


Fig. 7 Representació del virus de l'hepatitis A afectant el fetge humà.

El període d'incubació de l'hepatitis A sol ser d'entre 14 i 28 dies. Els símptomes poden ser moderats o greus i inclouen febre, malestar general, pèrdua de gana, diarrea, nàusees, molèsties abdominals, orina fosca i icterícia (coloració groguenca de la pell i dels ulls). No obstant això, no totes les persones infectades presenten tots els símptomes, i els adults solen mostrar signes i símptomes amb més freqüència que els

nens. De fet, la gravetat i la mortalitat augmenten amb l'edat, mentre que els nens menors de sis anys habitualment no presenten símptomes evidents.

La propagació de l'hepatitis A es pot reduir mitjançant un subministrament adequat d'aigua potable segura, una correcta eliminació de les aigües residuals de la comunitat i bones pràctiques d'higiene personal, com ara rentar-se les mans abans de menjar i després d'anar al lavabo.

- Poliomièlitis:

La poliomièlitis és una malaltia molt infecciosa causada per un virus que envaeix el sistema nerviós i pot causar una paràlisi total en qüestió d'hores. Es transmet d'una persona a una altra principalment per via fecal-oral, i es multiplica a l'intestí. Els símptomes inicials són febre, cansament, cefalea, vòmits, rigidesa del coll i dolor a les extremitats.

Una de cada 200 infeccions produeix una paràlisi irreversible (generalment de les cames), i del 5% al 10% dels afectats moren per paràlisi dels músculs respiratoris.

La poliomièlitis afecta sobretot els menors de cinc anys, però qualsevol persona que no estigui vacunada pot contraure la malaltia, sense importar-ne l'edat.

Aquesta malaltia no té cura, només es pot prevenir. La vacuna antipoliomèlítica, quan s'administra diverses vegades a un nen, li pot conferir una protecció de per vida. Es disposa de

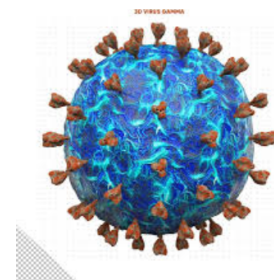


Figura. 8 Representació tridimensional del virus de la poliomièlitis amb les seves proteïnes de superfície.



Figura. 9 Persona amb discapacitat física causada per la poliomièlitis en cadira de rodes.

dues vacunes: la vacuna antipoliomelítica oral i la vacuna antipoliomelítica inactivada. Totes dues són eficaces i innòcues i s'utilitzen en diverses combinacions a tot el món, en funció de la situació epidemiològica, per proporcionar la millor protecció possible a la població.

7.2.2. Formes d'exposició

Les malalties provocades per un accés inadequat a l'aigua i al sanejament són diverses i es poden classificar en diferents categories.

En primer lloc, hi ha les malalties transmeses per l'aigua, com ara el còlera i altres infeccions diarriques, que es produeixen per ingerir aigua contaminada amb excrements o amb substàncies tòxiques. També existeixen malalties d'origen aquàtic, causades per la ingestió d'aigua amb paràsits. Un tercer grup són les malalties provocades pel contacte amb aigua contaminada, que pot afectar els ulls o la pell. A més, hi ha les malalties transmeses per insectes vectors que es reproduïxen en ambients aquàtics, com el dengue o la malària. Finalment, algunes malalties estan associades al manteniment i a la higiene deficient de les instal·lacions d'aigua, cosa que pot afavorir la proliferació de bacteris com la legionel·la, tot causant la legionel·losi, que es transmet per inhalació.

7.2.3. Grups vulnerables

Hi ha alguns grups de població més vulnerables davant l'acció dels contaminants mediambientals. Aquests inclouen l'època fetal, la infància i la joventut, les dones, especialment les embarassades i les lactants, la tercera edat, les minories etnicoculturals i les persones amb malalties cròniques.

Class	Subclass	Examples
Waterborne	Infectious	Diarrhoeal diseases, infectious hepatitis
	Toxic chemicals	Arsenic, fluoride (at high exposures)
	Nutrient minerals	Fluoride (at moderate exposures)
Water access related	Superficial	Trachoma, scabies
	Intestinal	<i>Shigella</i> dysentery
	Respiratory	Pneumonia
	Hydration	Dehydration
	Injury and violence	Associated with water collection
Water based	Contact	Leptosporosis, <i>Naegleria fowleri</i>
	Ingested	Toxins from cyanobacteria
Water-related vectors	Water biting	Malaria
	Water breeding	Onchocerciasis
Engineered water system associated	Inhaled	Legionellosis, radon
	Ingested	<i>Mycobacterium avium</i> complex
	Contact	<i>Pseudomonas</i> spp.

Figura. 10 Classificació de les malalties relacionades amb l'aigua segons la via d'exposició.

alguns trams, fet que ha permès augmentar la diversitat d'espècies animals i vegetals que habiten en les seves aigües i riberes.

7.3.2. Zones urbanes i industrials al llarg del riu

El riu Besòs és un dels principals canals de desguàs d'aigües residuals cap al mar. Al mateix temps és considerat un riu urbà des del seu origen fins a la desembocadura. Al llarg del seu curs hi ha diversos polígons industrials, i s'han identificat empreses amb nivells de contaminació bastant elevats malgrat disposar de depuradores.

Un dels polígons més destacats és el de Montmeló, on trobem empreses com ara Farmhispania i General Water Systems, que utilitzen processos de fermentació i alimentació bacteriana. Tot i disposar de sistemes de depuració, els seus abocaments són significatius i contribueixen a la contaminació del riu.

A més, s'han detectat abocaments que provenen de camps de futbol i poliesportius, on l'aigua estancada pot afavorir la proliferació de bacteris. La presència de centres sanitaris, hospitals i edificis d'habitatge també afavoreix la saturació del sistema de depuració.

Finalment, en zones verdes com ara parcs i passeigs propers al riu, s'ha observat l'arribada de residus orgànics, excrements d'animals i, en alguns casos, restes biològiques que poden acabar afectant la qualitat de l'aigua.

7.3.3. Problemes històrics de contaminació

El 19 de juliol de 2024 es va produir un abocament al riu Besòs a causa d'un incendi en un polígon industrial de Polinyà (Barcelona), que va provocar la mort d'un nombre indeterminat de peixos, segons han confirmat fonts de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) i els ajuntaments de Montcada i Reixac i Santa Coloma de Gramenet.

Segons l'ACA, part de l'aigua afectada per l'incendi va arribar a la depuradora de la Llagosta, però contenia substàncies contaminants que van alterar el tractament biològic de la planta i van acabar al riu. Com a conseqüència, es va formar escuma a l'aigua i es van observar nombrosos peixos morts, tal com es mostra a la figura 12.



Figura. 12 Escuma i contaminació al riu Besòs després de la incidència a la depuradora de La Llagosta.

L'incendi va afectar cinc naus del polígon industrial de Can Humet, a Polinyà, on encara treballaven nou equips dels Bombers de la Generalitat, ja que havien apagat el foc, però

no l'havien extingit totalment. El foc va provocar un escapament d'amoníac a la zona on l'empresa Barnastock, dedicada a l'emmagatzematge de productes químics, guardava grans contenidors de mercaderies a granel. Aquest escapament es va estendre a cinc naus d'altres dues empreses, que també emmagatzemaven substàncies tòxiques, inflamables i corrosives.

Segons fonts de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), l'amoníac i altres productes químics van arribar a la depuradora de la Llagosta, arrossegats per l'aigua utilitzada per apagar l'incendi. La depuradora no va poder assumir la gran quantitat de residus químics que hi van arribar. Com a conseqüència, des de la matinada i durant el matí següent es van observar peixos morts al tram del riu que s'estén des de la Llagosta cap avall. Les autoritats van inspeccionar l'estat ambiental de la zona del riu i van analitzar els productes químics presents a l'aigua per determinar el tractament necessari.

La contaminació no només va afectar l'aigua superficial, sinó que també va arribar a les aigües subterrànies. L'ACA va exigir a l'empresa Ditecsa que assumís la responsabilitat de descontaminar els pous situats sota la seva fàbrica. Cal tenir en compte que els aqüífers del Besòs ja havien patit una forta degradació durant la industrialització dels anys 60 i 70, i en alguns casos la contaminació encara persisteix. Diana Puigcerver, especialista en hidrogeologia de la Universitat de Barcelona, va explicar que la contaminació de les aigües subterrànies pot durar molt de temps, especialment quan hi ha compostos orgànics implicats.

Situacions com aquesta, i d'altres similars en indústries que treballen amb productes químics perillosos, posen de manifest la necessitat d'aplicar mesures estrictes de prevenció, control i actuació, ja que els impactes sobre el medi ambient poden ser greus i duradors.

7.3.4. Qualitat de l'aigua segons estudis previs

Un grup d'investigadors de l'Institut de Ciències del Mar (ICM) del Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC) de Barcelona va estudiar la contaminació dels sediments propers a la costa entre la desembocadura del riu Besòs i la platja de la Barceloneta.

En aquest estudi es van mesurar els nivells de mercuri, crom, zinc, plom, cadmi i coure als sediments superficials. Es van recollir mostres als mateixos punts de control entre els anys 1987 i 2008, així com en columnes cilíndriques de sediments acumulats durant l'últim segle, la qual cosa va permetre estudiar l'evolució històrica de la contaminació.

Els resultats van mostrar que els nivells màxims de contaminants es van produir entre els anys 70 i 80, mentre que a partir dels anys 90 es va registrar una reducció significativa. Per exemple, les mostres de 1987 evidenciaven concentracions de mercuri fins a 490 vegades superiors a les naturals, el plom i el cadmi fins a 40 vegades superiors, i altres metalls com el zinc, el crom i el coure fins a 17 vegades superiors.

En canvi, les mostres acumulades a partir dels anys 90 van mostrar nivells màxims de mercuri i cadmi entre 20 i 30 vegades superiors a les condicions naturals, i de zinc, crom, plom i coure entre 5 i 12 vegades superiors, tot evidenciant una millora clara en la qualitat dels sediments de la zona estudiada.

D'altra banda, les anàlisis microbiològiques rutinàries a la depuradora del Besòs van detectar la presència de poliovirus en aigües residuals. Per això, el Departament de Salut va començar a investigar si hi havia persones infectades a l'àrea metropolitana de Barcelona. Segons l'Agència de Salut Pública de Catalunya (ASPC), la detecció del virus en aigües residuals indica que hi ha hagut contaminació i propagació del virus a través de l'excreció fecal d'alguna persona infectada.

Tot i això, la qualitat de l'aigua de consum humà a l'àrea afectada no es va veure compromesa, ja que els processos de potabilització en van garantir la seguretat, segons va comunicar l'ASPC.

El poliovirus, com ja s'ha esmentat prèviament, es transmet per via fecal-oral, és a dir, per contacte amb aigua o aliments contaminats amb excrements. Afecta el sistema nerviós i pot causar poliomièlitis, tot provocant paràlisi, sobretot a les extremitats inferiors. Així i tot, en la majoria dels casos, la infecció és asimptomàtica.

7.4. Normatives i criteris de la qualitat de l'aigua

7.4.1. Normativa europea

Hi ha quatre directives principals:

- Directiva Marc de l'Aigua (DMA, 2000/60/CE):

La Directiva 2000/60/CE, coneguda com a Directiva Marc de l'Aigua (DMA), estableix el marc legislatiu per a la protecció i la gestió sostenible de l'aigua a la Unió Europea. El seu objectiu és assolir el bon estat ecològic i químic de totes les masses d'aigua superficials i subterrànies de la UE.

Els principis claus se centren en una gestió per conques hidrogràfiques, tot establint plans hidrològics de demarcació cada sis anys. També destaca la participació pública, és a dir, la consulta a ciutadans i parts interessades en la planificació. A més, també imposa la recuperació de costos amb el principi de "qui contamina" paga integrat en tarifes de l'aigua. Finalment, els principis de prevenció i precaució destaquen la importància de protegir zones sensibles, aiguamolls i aqüífers.

- Directiva d'Aigua Potable (2020/2184/UE, reemplaça 98/83/CE):

Amb la Directiva europea sobre l'aigua potable (Directiva 2020/2184), la Unió Europea ha establert nous estàndards per a la qualitat de l'aigua potable per tal de garantir l'accés a aigua neta i segura a Europa. L'aigua neta és un dret fonamental i essencial per a la salut de la població.

La Directiva europea sobre l'aigua potable conté aspectes essencials per garantir la qualitat. Entre les mesures més destacades hi ha l'establiment de límits més estrictes per a contaminants, que inclouen metalls pesants com el plom i el níquel, així com microplàstics i altres substàncies potencialment perilloses per a la salut. La normativa també introdueix requisits de control ampliat, que obliguen els estats membres a implementar sistemes més exhaustius de supervisió i informació. En aquest sentit, els proveïdors d'aigua han de posar a disposició de la població dades detallades sobre la

qualitat del subministrament, tot oferint confiança en les mesures adoptades per garantir la seguretat. Finalment, la Directiva estableix l'obligació d'adoptar mesures per garantir l'accés universal a l'aigua neta, amb especial atenció als grups de població amb escàs proveïment.

- Directiva d'Aigües Residuals Urbanes (91/271/CEE):

La Directiva 91/271/CEE, sobre el tractament de les aigües residuals urbanes, estableix que els estats membres adoptin les mesures necessàries per garantir que les aigües residuals urbanes siguin tractades correctament abans del seu abocament. Per això, la norma estableix principalment dues obligacions que s'han de complir en diferents terminis. D'una banda, les zones urbanes han de disposar de xarxes de clavegueram capaces de recollir i transportar les aigües residuals de manera adequada. D'altra banda, aquestes aigües residuals han de ser sotmeses a tractaments específics, més o menys rigorosos segons el cas.

Els criteris que utilitza la Directiva per fixar aquests terminis són la quantitat de contaminació que pot generar cada nucli de població, basant-se en el nombre d'habitants equivalents i la major o menor sensibilitat de la zona on es realitzaran els abocaments.

Cal destacar que la Directiva 91/271/CEE obliga que les aigües residuals urbanes procedents de nuclis urbans de més de 2.000 habitants-equivalents que aboquin en aigües dolces o estuaris i les de més de 10.000 habitants-equivalents que aboquin a aigües costaneres rebin un tractament secundari. S'entén com a tractament secundari, qualsevol tractament de depuració biològic amb sedimentació secundària o altre procés que permeti complir els requisits que marca la normativa. L'objectiu és evitar que els abocaments causin efectes negatius sobre el medi receptor.

- Directiva de Substàncies Prioritàries (2013/39/UE):

Aquesta directiva disposa d'una estratègia per lluitar contra la contaminació de les aigües. Aquesta estratègia implica la identificació de substàncies prioritàries, és a dir, aquelles que suposen un risc important per al medi aquàtic o que poden transmetre aquest risc a través de l'aigua.

La Decisió núm. 2455/2001/CE va establir la primera llista de 33 substàncies o grups de substàncies ordenades per prioritat, que han de ser objecte de mesures a escala comunitària. Entre aquestes, algunes s'han classificat com a substàncies perilloses prioritàries, per a les quals els estats membres han d'adoptar les mesures necessàries per interrompre o reduir progressivament les emissions, els abocaments i les pèrdues.

En canvi, per a substàncies d'origen natural o produïdes per processos naturals, és impossible aturar completament les emissions o abocaments de totes les fonts potencials. Algunes substàncies han estat revisades i encara s'han de classificar.

La Comissió Europea ha de continuar revisant la llista de substàncies prioritàries, tot donant preferència a aquelles que puguin ser objecte de mesures basades en criteris establerts que demostrin risc per al medi aquàtic, d'acord amb el calendari previst a l'article 16 de la Directiva 2000/60/CE, i ha de presentar propostes relacionades amb aquests punts.

7.4.2. Normativa espanyola i catalana sobre la qualitat microbiològica

Les directives esmentades anteriorment han de complir-se de manera rigorosa, ja que formen part del marc normatiu que garanteix la seguretat i la qualitat de l'aigua.

D'una banda, a nivell regional, cal destacar el Decret legislatiu 3/2003, de 4 de novembre, que aprova el text refós de la legislació en matèria d'aigües de Catalunya. Aquest decret entra a conseqüència de la normativa europea en matèries d'aigua i control integral del cicle hidràulic, i obliga l'Administració Hidràulica de Catalunya a incrementar l'eficiència en les actuacions relacionades amb la regeneració i depuració de l'aigua. Com a resultat, es va crear l'Agència Catalana de l'Aigua i es van aprovar diverses lleis que han contribuït a ordenar i reforçar el sistema hidràulic català, entre les quals destaquen:

- Llei 4/1990, de 9 de març, d'ordenació de l'abastament d'aigua a l'àrea de Barcelona.
- Llei 5/1990, de 9 de març, d'infraestructures hidràuliques de Catalunya.
- Llei 19/1991, de 7 de novembre, sobre la reforma de la Junta de Sanejament.

D'altra banda, el Decret llei 7/2024, de 2 de juliol, estableix mesures urgents en matèria de finançament dels sistemes públics de sanejament i regeneració d'aigües residuals, així com de serveis socials. Aquesta normativa té com a objectiu regular els sistemes de depuració i regeneració d'aigües, cada vegada més necessaris a causa de la creixent escassetat de pluges i dels efectes del canvi climàtic en diverses zones de la península. També posa èmfasi en els alts costos associats a aquests processos i subratlla la necessitat d'optimitzar-los per fer-los més eficients. L'objectiu principal és garantir la disponibilitat d'aigua de millor qualitat, especialment en espais d'ús públic com ara zones de bany i àrees de consum.

A nivell estatal, el Reial decret legislatiu 1/2001, de 20 de juliol, pel qual s'aprova el text refós de la Llei d'aigües, constitueix la normativa més gran a escala estatal quant a legislació d'aigües. Amb la seva publicació, es van derogar un munt de lleis prèvies de menor impacte i les va unificar totes en un mateix decret de compliment nacional. Aquest decret disposa tota la regulació del domini públic hidràulic així com l'ús de l'aigua i les competències atribuïdes a l'Estat. A més, recull tota la normativa de protecció, control i ús de totes les aigües continentals, subterrànies, superficials, costaneres i de transició.

A més, el Reial decret 817/2015, d'11 de setembre, fixa els criteris per al seguiment i l'avaluació de l'estat de les aigües superficials, així com les normes de qualitat ambiental que s'han de complir. En aquest decret es recullen tots els elements que determinen la qualitat de l'aigua, els que causen contaminació, sigui permanent, removable, biològica o química, així com els nivells màxims permesos per a cadascun. També, indica com ha de ser l'estat adequat de les aigües del país i regula la manera com s'han de regenerar i tractar les aigües d'ús humà, agrícola i industrial abans de reincorporar-les al cicle hidrològic.

7.4.3. Límits legals de microorganismes fecals en aigües superficials

Segons la Directiva 2000/60/CE (Directiva Marc de l'Aigua, DMA) estableix un marc general de protecció de totes les aigües (superficials i subterrànies) a la UE.

Durant la temporada de bany:

	<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	Enterococs
Valor mitjà	≤ 500 UFC/100 ml (Unitats formadores de colònies per 100 ml d'aigua).	≤ 200 UFC/100 ml.
Valor màxim permès en mostres individuals:	≤ 900 UFC/100 ml	≤ 500 UFC/100 ml (només el 10% de les mostres poden superar aquest valor).

Microorganisme	Medi de cultiu	Factor de selecció	Factor de diferenciació	Incubació
Bacteris aerobis totals	Agar triptona (TSA)	Cap: és un medi no selectiu (apta per al recompte total de bacteris viables)	Cap: és no diferencial	48 h a 22 ± 2 °C
Coliforms totals	Chromocult Coliform Agar (CCA)	Lauril sulfat i sals bàsiques (inhibeixen gram + i fongs)	Magenta-Gal → coliforms → colònies vermelles-magentoses	24 h a 37 ± 2 °C
<i>E. coli</i>	CCA (mateix medi)	Lauril sulfat i sals bàsiques (inhibeixen gram + i fongs)	X-gluc → β-glucuronidasa d' <i>E. coli</i> → colònies blaves-violades	24 h a 37 ± 2 °C
Enterococs fecals	Slanetz-Bartley (SB)	Azida de sodi → inhibeix bacteris gram negatius	Triptona i TTC (clorur de trifenil tetrazoli) → redueix a formazà → colònies vermelles	48 h a 37 ± 1 °C
(Confirmació enterococs)	Bilis-Esculin Azida (BEA)	Azida de sodi i sals biliaris → selectiu per enterococs	Hidrolització d'esculina → esculina + Fe ²⁺ → color negre (precipitació d'oxid d'Fe)	2 h a 44 °C

Tipus d'aigua	<i>E. coli</i> (100 mL)	Enterococs fecals (100 mL)	Coliforms totals (100 mL)	Aerobis totals (1 mL)
Beure	0	0	0	No regulat (recomanat <500)
Reg	<100-1000	No regulat	<1000	No regulat
Bany	<500-1000	<200-370	No aplicable	No regulat

Fig. 13 Mitjans de cultiu i límits microbiològics per al recompte d'indicadors en diferents tipus d'aigua.

8. PART PRÀCTICA

8.1. Introducció

Una anàlisi microbiològica és un conjunt de tècniques de laboratori dissenyades per detectar, identificar i quantificar microorganismes presents en una mostra. Aquestes mostres poden ser biològiques (com ara sang, orina, femta, saliva, entre d'altres), alimentàries, ambientals o de productes industrials. La presència de certs microorganismes pot indicar infeccions, contaminació o alteracions que requereixen intervenció.

En el cas concret de les aigües del riu Besòs, l'anàlisi microbiològica té com a objectiu aplicar els coneixements adquirits durant l'estada al programa Argó de la Universitat Autònoma de Barcelona. El meu propòsit és posar en pràctica les tècniques de laboratori apreses i entendre millor el procés d'investigació en la microbiologia ambiental.

8.2. Objectius:

L'objectiu de la part experimental és aprofundir en el meu coneixement sobre la qualitat de l'aigua i les tècniques d'anàlisi ambiental mitjançant el cas pràctic del riu Besòs.

Concretament, pretenc:

- Aplicar i consolidar les tècniques per quantificar i avaluar la presència de bacteris indicadors (com ara E. coli i els enterococs).
- Practicar la interpretació de dades microbiològiques, tot comparant els meus resultats amb la normativa per entendre com es determina l'estat sanitari d'un riu i les limitacions d'aquesta avaluació.
- Desenvolupar la meua capacitat d'anàlisi per relacionar les dades obtingudes amb les característiques de l'entorn i entendre les causes de la contaminació.
- Reflexionar sobre el procés d'investigació, des del disseny experimental fins a l'avaluació crítica dels resultats.

8.3. Material i equipament:

En aquesta fotografia es pot observar un petit esquema que he realitzat abans de començar la part pràctica, per tal d'organitzar millor l'experiment.

En primer lloc, es fa la filtració de l'aigua, que consisteix en una separació sòlid-líquid que es fa servir en els sistemes de tractament d'aigua per disminuir la concentració de sòlids suspesos que s'hi troben. Hi ha diversos tipus de filtres i cadascun té la seva aplicació depenent de la mida i concentració de partícules a retenir. En aquest cas, utilitzarem un filtre de membrana de 0,45 µm, ja que en l'àmbit del control microbiològic de l'aigua, el filtre de

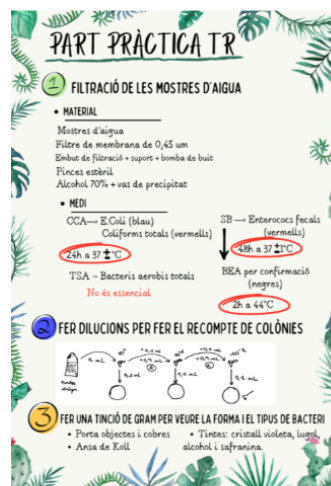


Figura. 14 Esquema del procediment per a l'anàlisi microbiològica de mostres d'aigua.

membrana de 0,45 µm és un estàndard per a l'anàlisi, perquè permet retenir bacteris i transferir-los després a un medi de cultiu per a la detecció i el recompte de colònies. Els seus avantatges inclouen una bona reproductibilitat, possibilitat de processar mostres grans, estalvi de temps i baix cost respecte a altres mètodes com ara el NMP (Número Més Probable). A més d'aquest filtre, també es fa servir un embut de filtració, un suport i la bomba de buit. Finalment, és essencial l'ús de pinces estèrils i alcohol del 70% per mantenir un ambient asèptic durant el procediment de filtració de membranes. Si no són estèrils, podria introduir-se contaminació externa, tot afectant els resultats de l'experiment. Un cop fem les filtracions, hem de tenir clar quins medis hem d'utilitzar. Els medis que explorarem específicament són dos:

- CCA:

L'Agar Cromogènic per a coliformes (CCA) és un medi específic per al recompte de coliforme i *Escherichia coli* en aigües.

Presenta una fórmula que respon a la composició definida a la Norma ISO 9308-1.

Els coliformes creixen amb un color rosa-vermell i l'*E. coli* creix amb un color blau-porpra. Aquesta diferenciació facilita el recompte de microorganismes. Això és útil per determinar si hi ha contaminació orgànica (coliformes) o contaminació fecal (*E. coli*). L'ús d'aquesta tècnica implica menys feina en comparació amb els mètodes tradicionals.

Aquest medi s'ha de deixar incubar 24 h a 37 °C aproximadament, condicions òptimes per al creixement dels bacteris indicadors.

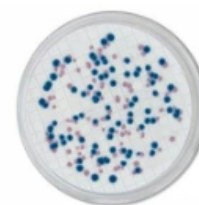


Fig. 15 Placa CCA: detecció d'*E. coli*

- SB:

L'Agar Slanetz i Bartley és un medi selectiu utilitzat per al recompte d'enterococs en aigua potable, begudes, aigües residuals i diversos productes biològics, tant pel mètode de filtració per membrana com per la tècnica clàssica de recompte en plaques Petri.

Aquest medi s'ha de deixar incubar aproximadament a 37 °C, ja que aquesta temperatura afavoreix el creixement òptim dels enterococs, tal com indiquen els protocols estàndard.

En el meu cas, he utilitzat plaques CCA i SB ja preparades, tot i que no es descarta la possibilitat de preparar-les manualment en futurs experiments. Cal tenir en compte que la seva preparació no és tan senzilla com podria semblar a primera vista.

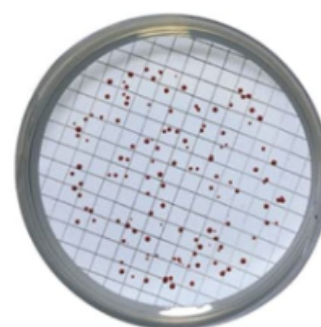


Fig. 16 Placa amb medi Sabouraud (SB)

En el cas concret de les plaques d'Agar Cromogènic per a coliformes (CCA), cal seguir una fórmula específica que es descriu en la figura 17. Aquesta composició garanteix l'eficàcia del medi per al recompte de coliformes i E. coli.

FÓRMULA POR LITRO			
Cloruro de sodio	5.0 g	Sorbitol	1.0 g
Fosfato disódico de hidrogeno	2.7 g	Salmon-β-D-galactosido	0.20 g
Fosfato de sodio dihidrogeno x 2H ₂ O	2.2 g	X-β-G glucuronido sal CHX	0.10 g
Extracto de levadura	2.0 g	IPTG	0.10 g
Piruvato de sodio	1.0 g	Tergitol- 15-S-7	0.15 g
Digerido enzimático de caseína	1.0 g	Agar bacteriológico	10.0 g
Triptófano	1.0 g		
pH 6.8 ± 0.2 a 25°C			

Fig. 17 Composició del medi cromogènic CCA

En primer lloc, s'ajusta el pH a 6.8 i es bull fins a dissoldre l'agar. Posteriorment, s'esterilitza a 121 °C durant 15 minuts. Un cop esterilitzat, deixem refredar fins a uns 55 °C aproximadament abans d'abocar el medi en plaques de Petri estèrils.

Pel que fa al medi LB, comparteix característiques amb el medi SB, però és menys nutritiu i, per tant, més fàcil de preparar.

Medi LB			
Triptona	10	g	
Extracte de llevat	5	g	
NaCl	10	g	
Aigua destil.lada	1000	ml	

Fig. 18 Composició del medi LB

Per preparar-lo, es dissolen els components en aigua destil·lada. A més s'ajusta el pH a 7,2 °C i s'esterilitza a 121 °C durant 15 minuts. Si es vol en forma sòlida, s'ha d'afegir 15 g d'agar-agar per litre abans de l'esterilització.

8.4. Disseny de l'estudi:

8.4.1. Selecció de trams del riu

Aquesta ha estat la fase més complexa del projecte. S'han recollit mostres al llarg de tot el recorregut del riu Besòs, des del seu inici a Montmeló fins a la desembocadura. Per garantir una visió representativa, s'han seleccionat trams que travessen tant zones urbanes com industrials com agrícoles.

En cada tram s'han enregistrat les coordenades geogràfiques i s'han pres fotografies de l'entorn, amb l'objectiu de facilitar comparacions.



- 1:** Inici del riu Besòs
(41°32'48.0"N 2°15'00.2"E)
- 2:** Sant Fost de Campsentelles
(41°31'08.8"N 2°14'01.3"E)
- 3:** Montcada i Reixac
(41°30'24.5"N 2°12'25.0"E)
- 4:** Santa Coloma de Gramenet
(41°27'04.0"N 2°12'04.1"E)
- 5:** Desembocadura del riu Besòs
(41°25'11.4"N 2°13'54.7"E)

Fig. 19 Trams del riu on s'han pres les diferents mostres d'aigua.

A continuació, es presenten les fotografies de l'entorn corresponents als trams analitzats:

1r tram: Inici del riu Besòs



Tal com mostren les imatges, es tracta d'una zona força tranquil·la, amb poca activitat industrial al voltant. A primera vista, l'inici del riu Besòs sembla un lloc on la contaminació fecal no hauria de ser especialment elevada. Ara bé, tenint en compte que el riu neix de la unió d'uns altres dos rius, el Congost i el Mogent, sorgeixen molts dubtes sobre la qualitat real de l'aigua en aquest punt.

2n tram: Sant Fost de Campsentelles



En aquesta zona es notava una mica més de moviment industrial que en altres trams del recorregut. Hi havia algunes fàbriques escampades que formaven part del paisatge sense imposar-s'hi del tot.

3r tram: Montcada i Reixac



Aquesta zona era completament rural, sense cap indicati d'activitat industrial. En el moment de recollir la mostra, hem pogut observar alguns dels habitants més discrets del lloc: conills que s'amagaven entre la vegetació, tortugues que es movien amb calma i ratolins que no es deixaven veure.

4t tram: Santa Coloma de Gramenet



La zona on s'ha recollit la mostra és totalment urbana, envoltada d'edificis residencials i diferents infraestructures.

5è tram: Desembocadura del riu Besòs



Es tracta d'un lloc amb una gran concentració d'infraestructures industrials. De fet, just davant del riu es troba l'antiga central tèrmica de Sant Adrià del Besòs. La presència d'aquestes instal·lacions condiciona significativament la qualitat ambiental del riu.

Aquests trams han estat seleccionats a partir d'un estudi previ del mapa del riu, amb l'objectiu d'escollir punts amb perfils variats al llarg del Besòs. La selecció s'ha fet tenint en compte variables com ara, entorns urbans, industrials o naturals per tal d'obtenir una mostra de les diferents condicions que poden influir en la qualitat ambiental del riu.

8.5. Procediment:

8.5.1. Filtració de les mostres d'aigua

La filtració és el primer pas, i un dels més essencials, en una anàlisi microbiològica. En primer lloc, cal col·locar la moneda al suport i, a sobre, el filtre de membrana de 0,45 μm . Tot seguit, s'introdueix l'embut de filtració. Abans de començar amb la mostra, és recomanable fer una prova amb una petita quantitat d'aigua destil·lada per assegurar-se que el muntatge s'ha fet correctament. Un cop verificat el sistema, s'afegeix 100 ml de la mostra que es vol analitzar. S'engega la bomba de buit i s'obre la clau per iniciar la filtració. Quan aquesta ha finalitzat, amb unes pinces esterilitzades amb alcohol al 70%, s'agafa el filtre amb molta cura i es col·loca sobre les plaques de cultiu.

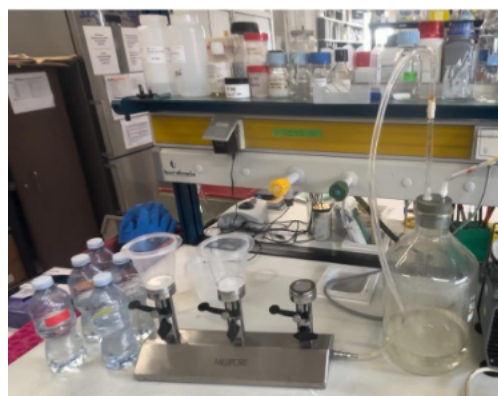


Fig. 20 Muntatge de filtració al buit en un laboratori.

Com que es disposa de dos medis diferents, cal fer dues filtracions de la mateixa mostra. És molt important recordar que, durant tot el procediment, el búnquer ha d'estar encès per evitar qualsevol contaminació que pugui afectar els nostres resultats.

8.5.2. Sembrar en medi de cultiu

Existeixen dos mètodes d'aïllament per esgotament en placa. Abans, però, és important destacar que, en les tècniques d'esgotament, es dispersa el microorganisme sobre la superfície del medi de cultiu al llarg d'una sèrie de passos, tot intentant que cada cop hi hagi menys bacteris per distribuir, per la qual cosa quedaran més separats al medi.



Fig. 21 Representació del mètode en ziga-zaga

El primer mètode és en Ziga-Zaga. Els passos que s'han de seguir són els següents:

-Des d'una suspensió de microorganismes o des d'una colònia, s'agafa una mostra amb la nansa de Kolle.

-Se sembla per estria en ziga-zaga fins "esgotar la nansa" sobre una o dues plaques de medi sòlid.

-S'incuben les plaques a la temperatura adequada. Una vegada han crescut els bacteris, s'han d'observar colònies aïllades per tal de poder distingir clarament les seves característiques i procedir a l'obtenció de cultius purs.

-Utilitzant aquest procediment es pot fer també un recompte viable per a cada morfologia colonial observada, fent uns càlculs específics que s'explicaran més tard.

El segon mètode, i el més emprat, és la sembra en escocès.

Amb la nansa de Kolle procedim com s'indica en la figura 22. Per a dur a terme cada una de les etapes, 1, 2, 3 i 4, és necessària l'esterilització de la nansa de Kolle cada cop.

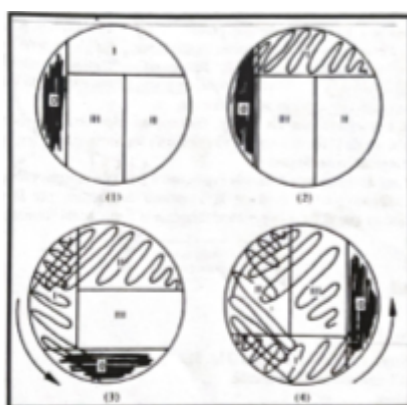


Fig. 22 Representació del mètode de sembra en escocès

8.5.3. Incubació de les plaques i recompte de colònies bacterianes

Després de sembrar els microorganismes sobre els medis de cultiu, les plaques s'incuben a una temperatura que afavoreix el seu creixement òptim. Tal com ja s'ha

esmentat anteriorment, tant en el cas de les plaques CCA com en les SB, la temperatura d'incubació recomanada és d'aproximadament 37 °C.

L'única diferència entre ambdós medis és el temps d'incubació. Mentre que les plaques CCA requereixen 24 hores per a desenvolupar colònies diferenciades, les plaques SB poden necessitar fins a 48 hores per obtenir resultats clars.

Un cop ja han crescut les colònies, procedim a fer el seu recompte. El recompte del nombre de microorganismes d'una mostra pot calcular-se, d'una banda, determinant el nombre de microorganismes que creixen en un determinat medi de cultiu desenvolupant colònies visibles (recompte viable) i, d'una altra banda, comptant les cèl·lules o agrupacions de cèl·lules que es poden observar en la mostra mitjançant tècniques microscòpiques (recompte directe o també anomenat total).

En aquest experiment, utilitzarem únicament el recompte viable. En condicions adequades de creixement els bacteris es multipliquen i donen lloc a poblacions tan grans que sovint esdevé necessari diluir-les per tal d'obtenir colònies aïllades que es puguin comptar. Per això és necessari barrejar una petita quantitat de mostra amb un volum d'aigua o bé d'una dissolució salina estèril (diluent).

Una dilució simple es calcula de la següent manera:

$$Dilució = \frac{\text{Volum de la mostra}}{\text{Volum total (mostra + diluent)}}$$

Per exemple, la dilució d'1 ml de mostra en 9 ml de diluent equival a:

$$\frac{1}{1+9} = \frac{1}{10} \quad \text{i s'escriu 1:10}$$

Això ens demostra que les dilucions són més exactes si es fan sèries de petites dilucions que fent-ne una de gran. El conjunt d'aquestes dilucions s'anomena dilució seriada, i la dilució total és el producte de cadascuna de les dilucions de la sèrie. Per exemple, si diluïm 0,5 ml de mostra en 4,5 ml de diluent, i llavors 0,5 ml d'aquesta primera dilució en 4,5 ml de diluent, la dilució final serà:

$$\frac{0.5}{5} \times \frac{0.5}{5} = \frac{1}{100} \quad \text{o 1:100}$$

Per facilitar els càlculs, la dilució s'escriu utilitzant notació exponencial. En l'exemple donat la dilució final 1:100 s'escriurà 10^{-2} o també 10^{-2} .

Per fer una dilució seriada, cal seguir els següents passos:

- Pipetejar en condicions estèrils la mostra en el tub de diluent.
- Barrejar-ne els continguts agitant lleugerament el tub.
- Repetir el procés de forma seriada tantes vegades com sigui necessari fins a tenir en 0,1 ml de l'última dilució un nombre de bacteris adequat (òbviament aquesta estimació és presumptiva). De les últimes dilucions realitzades se sembla 0,1 ml sobre la placa (extenent amb la nansa de Digrafsky) o bé se sembla en un tub d'agar tou (i s'aboca a la placa). Les plaques es posen a incubar a la temperatura òptima i un cop passat el

temps necessari es fa un recompte del nombre de colònies, tot utilitzant aquelles plaques que tinguin entre 30 i 300 colònies.

- Els resultats s'expressen en unitats formadores de colònies per mil·lilitre (cfu/ml) segons la següent fórmula:

$$cfu/ml = \frac{\text{Núm. colònies}}{\text{dilució acumulada} \times \text{volum sembrat}}$$

A continuació, en la figura 23 es mostra un esquema representatiu del procediment que cal seguir per dur a terme correctament una dilució seriada.

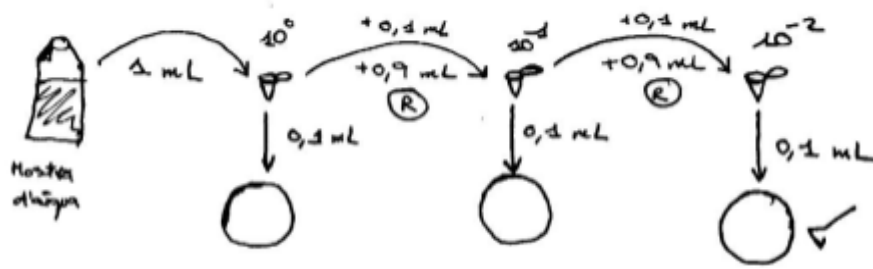


Fig. 23 Esquema del procés de dilucions seriades d'una mostra d'aigua per al recompte microbiològic en placa.

8.5.4. Tècniques de tinció bacteriana

Quan s'observa un microorganisme al microscopi, aquest apareix sense color, cosa que dificulta la identificació de la seva morfologia, mida i, en alguns casos, el tipus d'agrupació. Per aquest motiu, és necessari utilitzar tècniques de tinció que permetin destacar les característiques dels microorganismes i, quan sigui necessari, fer visibles estructures específiques.

La tinció simple més habitual és la del blau de metilè, que permet identificar de manera ràpida la forma, la mida i el tipus d'agrupació dels bacteris més comuns.

El procediment per realitzar una tinció simple és el següent:

- Preparar un frotis i fixar a la flama.
- Tenyir durant 1 min amb blau de metilè.
- Rentar amb aigua.
- Assecar i observar.



Fig. 24 Ampolla de blau de metilè

La tinció diferencial més utilitzada és la tinció de Gram. És una tinció diferencial perquè els bacteris poden presentar dues coloracions (blava o vermella) depenent de la composició i estructura de la seva paret. A més a més, existeixen diferències fisiològiques entre els bacteris segons la tinció de Gram que presentin. Els bacteris Gram-positius són més resistents a l'acció d'enzims proteolítics, agents oxidants, etc., que els bacteris Gram-negatius. D'altra banda, són més sensibles als àcids, detergents, sulfamides i antibiòtics com ara la penicil·lina o actinomicina A.

El protocol per a la tinció de Gram consisteix en:

- Fer un frotis i fixar-lo a la flama.
- Tenyir amb cristall violetat durant 1 minut.
- Rentar amb aigua i deixar-lo escórrer.
- Afegir lugol durant 1 minut.
- Rentar amb aigua.
- Decolorar amb alcohol.
- Tenyir amb safranina alcohòlica durant 1-2 minuts.

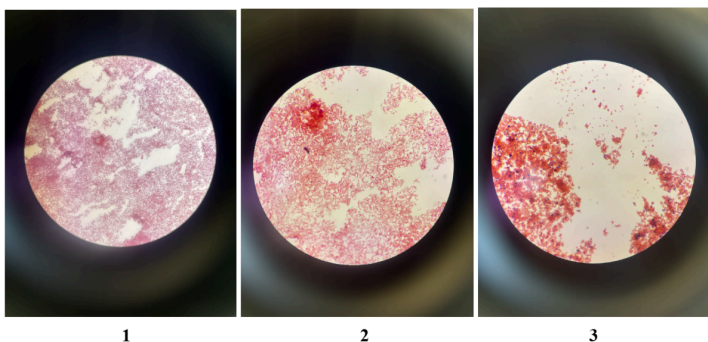
Els bacteris Gram-positius es tenyeixen de color blau, per exemple *Staphylococcus sp.* En canvi, els bacteris Gram-negatius es tenyeixen de vermell, per exemple *Escherichia coli*.



Fig.25 Reactius per a la tinció de Gram: cristall violeta, lugol, alcohol i safranina.

8.5.5. Observació al microscopi

Després d'haver realitzat les tincions de les diferents mostres, he tingut l'oportunitat d'observar la mostra recollida a Santa Coloma mitjançant el microscopi òptic de la Universitat Autònoma de Barcelona.



La primera imatge ha estat observada amb una ampliació de 10x. El camp microscòpic presenta una elevada concentració de cèl·lules petites i rosades, amb algunes zones més clares que podrien correspondre a àrees on la tinció no s'ha completat adequadament o,

simplement, on no hi ha mostra. Les cèl·lules observades, per la seva morfologia allargada, semblen bacils curts Gram-negatius.

A partir de la imatge, es pot interpretar que hi ha una càrrega bacteriana elevada. Tot i que no s'identifiquen colònies separades, la densitat cel·lular suggereix que l'origen de la mostra correspon a un ambient amb una intensa proliferació microbiana.

Pel que fa a la possible contaminació fecal, s'observa una presència significativa de bacteris d'origen intestinal.

La segona imatge ha estat observada en una ampliació de 40x. Els bacils Gram-negatius són encara més definits, tot i que s'observa una zona més densa a la part superior esquerra de la imatge.

És evident que hi ha creixement de bacteris d'origen fecal. Pel que fa a la contaminació fecal, les observacions són força indicatives, ja que la morfologia coincideix amb *Escherichia coli* i altres coliforms fecals. Tant el color com la mida dels organismes coincideixen amb les característiques habituals d'aquestes espècies.

La tercera i última imatge ha estat obtinguda amb una ampliació de 100x. Per tal de visualitzar la mostra amb aquesta magnificació, és necessari aplicar oli d'immersió sobre la preparació i col·locar l'objectiu d'immersió directament en contacte amb l'oli.

S'observen zones amb colònies bacterianes localitzades molt denses, intercalades amb àrees on la presència de cèl·lules és escassa. Els bacteris presenten una coloració rosada i, la majoria, tenen morfologia de bacils curts.

Aquesta distribució podria correspondre a una fase inicial d'expansió de colònies, en què els bacteris comencen a proliferar a partir de punts de creixement concentrat.

Les característiques observades són altament compatibles amb la presència de bacteris d'origen fecal, fet que suggereix una contaminació directa de la mostra.

Les tres imatges mostren una càrrega molt alta de bacils Gram-negatius, probablement *E. coli*, tot indicant una forta contaminació fecal a la mostra del riu Besòs.

8.6. Adquisició i enregistrament de les dades:

8.6.1. Normativa de presa de mostres

Quan prenem mostres d'aigua per a anàlisi cal tenir en compte el volum d'aigua que, com a mínim, ha de ser de 500 ml. La manera de recollir la mostra dependrà de les necessitats i de l'ambient de què es requereix l'anàlisi d'aigua.

La presa de mostres es pot fer de forma manual o de forma automàtica. Aquest últim mètode s'utilitza per a la presa de mostres d'aigua potable, aigües residuals o industrials. Els avantatges de posar en pràctica el mètode automàtic en comptes del manual inclouen una reducció dels errors humans durant el procés, una millor prevenció de la contaminació de les mostres, una disminució dels costos econòmics i la possibilitat de fer mostres amb més freqüència.

L'anàlisi de la mostra d'aigua al laboratori és recomanable fer-ho abans de les sis hores des de la presa de mostra. A més, la presa de mostres d'aigua de riu es fa tan lluny com sigui possible de la vora, per evitar els rabeigs o zones d'estancament. L'aigua s'ha d'extreure de zones on l'aigua flueixi des d'una profunditat desitjada, però sempre evitant remoure el fons.

A l'hora de prendre la mostra, l'envàs per a la presa de mostres d'aigua de riu se subjecta per la base en posició invertida i, fent la volta en sentit contrari al corrent, se submergeix completament dins de l'aigua.

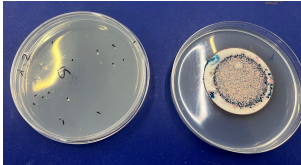
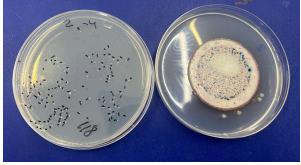
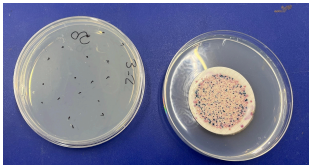
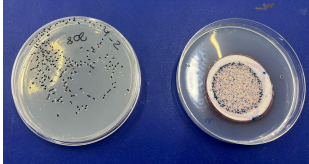
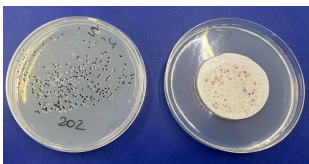
El material de l'envàs per a la presa de mostres d'aigua per a anàlisi ha de ser segur i hermètic, per evitar qualsevol incidència o contaminació amb l'ambient o el material de l'envàs. Es recomana utilitzar flascons de vidre o polietilè. En qualsevol cas, els flascons de mostreig han d'estar nets i esterilitzats abans de ser utilitzats.

En el meu cas, vaig recollir les mostres el matí del mateix dia de l'anàlisi a la UAB, tot assegurant-me que el temps transcorregut fos inferior a sis hores, d'acord amb les recomanacions per a anàlisis microbiològiques.

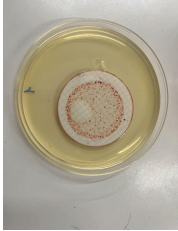
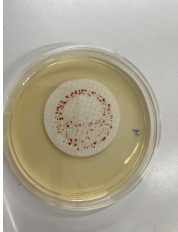
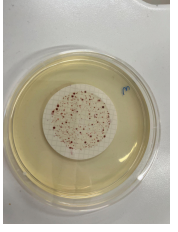
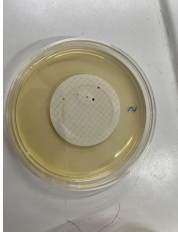
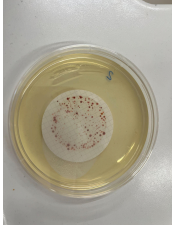
A més, vaig utilitzar envasos de HDPE (polietilè d'alta densitat) nets i esterilitzats prèviament i vaig recollir les mostres intentant sempre accedir a zones amb corrent fluid, allunyades de la vora, per evitar la influència de les zones d'estancament. No obstant això, en dos trams, Santa Coloma de Gramenet i la desembocadura, no vaig tenir accés per recollir les mostres en punts ideals.

Un cop recollides les mostres, les vaig refredar immediatament i les vaig transportar en una bossa tèrmica fins al laboratori de la UAB, on es van processar durant la sessió pràctica.

8.6.2. Nivell de contaminació fecal detectat en cada tram

Lloc de la mostra	Plaques heteròtrofs i CCA	Recompte	ufc/ml
Inici del riu Besòs		15	$\frac{ufc}{mL} = \frac{15}{0,1 mL \times 10^{-2}}$ $= 15000 \frac{ufc}{mL}$
Sant Fost de Campsentelles		118	$\frac{ufc}{mL} = \frac{118}{0,1 mL \times 10^{-4}}$ $= 11800000 \frac{ufc}{mL}$
Montcada i Reixac		20	$\frac{ufc}{mL} = \frac{20}{0,1 mL \times 10^{-2}}$ $= 20000 \frac{ufc}{mL}$
Santa Coloma de Gramenet		208	$\frac{ufc}{mL} = \frac{208}{0,1 mL \times 10^{-2}}$ $= 208000 \frac{ufc}{mL}$
Desembocadura del riu Besòs		202	$\frac{ufc}{mL} = \frac{202}{0,1 mL \times 10^{-4}}$ $= 20200000 \frac{ufc}{mL}$

Taula 1: Registre dels recomptes de les mostres CCA.

Lloc de la mostra	Slanetz Bartley- enterococs	Recompte En aquest tipus d'anàlisi es filtren 100 mL. Com enterococs no poden haver-hi per determinar que una aigua és potable, si observem moltes, ja són més de 300.
Inici del riu Besòs		Més de 300
Sant Fost de Campsenelles		292
Montcada i Reixac		345
Santa Coloma de Gramenet		5
Desembocadura del riu Besòs		261

Taula 2: Registre dels recomptes de les mostres d'enterococs.

8.7. Anàlisi de resultats:

8.7.1. Comparació dels valors obtinguts en relació amb la normativa sanitària

Amb relació al punt 7.4.3 on es referencien els límits permesos per la normativa Europea per a la presència de microorganismes fecals en aigües superficials i subterrànies s'avaluarà la viabilitat i qualitat de l'aigua del riu Besòs en les diferents etapes del seu recorregut d'acord amb les mostres obtingudes i cultivades en aquest treball:

Lloc de la mostra	Límit <i>E.coli</i> segons la normativa europea	ufc/mL	Límit d'enterococs fecals segons la normativa europea	ufc/ mL
Inici del riu Besòs	$5 \frac{ufc}{mL}$	$1,5 \cdot 10^4 \frac{ufc}{mL}$	$2 \frac{ufc}{mL}$	$+ 300 \frac{ufc}{mL}$
Sant Fost de Campsentelles	$5 \frac{ufc}{mL}$	$1,18 \cdot 10^7 \frac{ufc}{mL}$	$2 \frac{ufc}{mL}$	$292 \frac{ufc}{mL}$
Montcada i Reixac	$5 \frac{ufc}{mL}$	$2,0 \cdot 10^4 \frac{ufc}{mL}$	$2 \frac{ufc}{mL}$	$345 \frac{ufc}{mL}$
Santa Coloma de Gramenet	$5 \frac{ufc}{mL}$	$2,08 \cdot 10^5 \frac{ufc}{mL}$	$2 \frac{ufc}{mL}$	$5 \frac{ufc}{mL}$
Desembocadura del riu Besòs	$5 \frac{ufc}{mL}$	$2,02 \cdot 10^7 \frac{ufc}{mL}$	$2 \frac{ufc}{mL}$	$261 \frac{ufc}{mL}$

Taula 3: Avaluació d'*E.coli* i enterococs fecals

L'anàlisi de les mostres recollides al llarg del riu Besòs destaca una presència molt elevada d'*E. coli* i enterococs fecals, amb valors que superen significativament els límits establerts per la normativa europea. Tot i que actualment l'aigua no compleix els criteris necessaris per a usos recreatius o agrícoles, aquest estudi proporciona una imatge clara de la situació i serveix com a punt de partida per orientar les millores i recuperar la qualitat ambiental del riu.

Pel que fa a l'*E. coli*, ja des del tram inicial es detecten concentracions molt superiors als límits europeus, fet que indica la necessitat d'actuar des de l'origen. A mesura que el riu avança, especialment en punts com Sant Fost de Campsentelles o Montcada i Reixac, els valors augmenten visiblement, tot evidenciant la importància de prioritzar intervencions en aquestes zones. A Santa Coloma de Gramenet la contaminació encara és alta, però aquest punt pot servir com a lloc de control per veure si les mesures que es prenguin en el futur funcionen. Finalment, a la desembocadura hi ha la concentració més alta de microorganismes fecals, cosa que indica un punt molt crític on les mesures de sanejament podrien millorar tant el riu com la zona costanera.

En relació amb el nivell d'enterococs fecals, supera els límits europeus a tots els punts del riu analitzats. A Sant Fost i Montcada, els valors són desenes de vegades més alts del permès, cosa que mostra que cal actuar amb urgència. A Santa Coloma de Gramenet, els nivells són els més baixos de tots els trams, però igualment superen els límits. A la desembocadura, la contaminació continua sent molt alta, cosa que confirma la necessitat d'intervenir ràpidament, ja que hi ha l'oportunitat de recuperar aquesta zona de gran valor ecològic.

En resum, aquests indicadors mostren que el riu Besòs té una contaminació fecal bastant elevada al llarg de tot el seu recorregut. Tot i això, conèixer exactament el problema és molt important. Això permet planificar millor el sanejament, decidir què cal fer primer i posar en marxa mesures per millorar la qualitat de l'aigua. Amb una gestió correcta, el Besòs pot convertir-se en un espai natural més segur i saludable.

8.7.2. Relació entre contaminació i tipus d'entorn

Tram del riu	Relació amb el tipus d'entorn
Inici del riu Besòs	Tot i ser el tram inicial, ja hi ha una concentració elevada d'enterococs, la qual cosa indica aportacions fecals properes. Això pot ser degut a algunes fàbriques a l'entorn i al fet que el riu es forma de la confluència de dos rius, que poden portar contaminants d'altres punts.
Sant Fost de Campsentelles	En aquest lloc del trajecte, s'observa la segona concentració de bacteris més alta de tot el riu. Sembla que el pas del riu per àrees agrícoles i urbanes té una rellevància important, ja que és probable que hi hagi abocaments d'aigües residuals i substàncies contaminants. A més, la presència de nombroses fàbriques al voltant d'aquest tram concret pot contribuir a aquesta situació, tot empitjorant encara més la qualitat de l'aigua. Els alts nivells d'enterococs consoliden la hipòtesi de contaminació fecal.
Montcada i Reixac	En aquest punt del riu s'ha trobat una contaminació fecal molt alta, amb més de 300 enterococs, tot i que és una zona majoritàriament rural. Això podria estar relacionat amb abocaments que provenen de camps de conreu o amb aigües residuals que no han estat ben tractades. Encara que el nombre total de bacteris no sigui dels més elevats, el fet que hi hagi tants enterococs és un senyal clar que l'aigua no és segura per fer-ne un ús directe.
Santa Coloma de Gramenet	<p>En aquest tram del riu hi ha bastants bacteris en general, més que a Montcada, però els que indiquen contaminació fecal, els enterococs, són molt baixos. Això vol dir que l'aigua, en aquest punt, no està gaire bruta per restes fecals.</p> <p>Pot ser que la qualitat de l'aigua hagi millorat puntualment, o que aquí no hi arribin directament aigües brutes. També cal pensar que és una zona on viu molta gent i hi ha molts edificis, i això pot fer que el control dels residus i de les aigües que s'hi aboquen sigui més estricte.</p>
Desembocadura del riu Besòs	<p>A la desembocadura, la càrrega bacteriana assoleix els nivells més elevats de tot el recorregut del riu. Aquesta acumulació reflecteix l'arrossegament de contaminants dels trams anteriors, que s'acaben concentrant just abans d'arribar al mar.</p> <p>Els enterococs continuen presentant valors molt alts, fet que evidencia la persistència de la contaminació fecal fins al final del trajecte del riu. A aquesta situació s'hi suma la presència d'infraestructures urbanes i industrials al voltant del tram final, com ara l'antiga central nuclear de Sant Adrià, que contribueixen a la contaminació del riu.</p>

8.7.3. Implicacions per a la salut pública i l'ús del riu

Es considera que les zones de més contaminació com ho són:

- Sant Fost de Campsentelles
- La desembocadura del riu Besòs

Són de risc elevat per al consum i el bany, per la qual cosa es recomana prohibir tots dos per a qualsevol organisme. A més, s'hauria de notificar a l'autoritat pertinent perquè conegui l'estat de l'aigua a la zona i dissenyi un pla de control per a la contaminació del riu.

Les zones on hi ha contaminació d'un dels patògens o els límits del qual estan a prop del valor de les mostres obtingut, es recomanaria la senyalització de la zona com a no recomanable per a ús de l'aigua.

8.7.4. Revisió crítica i limitacions de l'estudi

Durant la fase d'anàlisi, els valors extremadament alts obtinguts em van fer qüestionar la metodologia emprada. Vaig decidir repassar críticament el procés experimental i no vaig trigar a identificar un punt crucial que havia passat per alt. El medi de cultiu CCA (Cromocult Coliform Agar) utilitzat està dissenyat específicament per a mostres amb baixa càrrega microbiana com ara aigua potable, aigües de piscines desinfectades o aigües de plantes potabilitzadores al final del seu tractament. A causa de la baixa selectivitat del medi d'agar de diferenciació, el creixement de la microflora acompanyant pot afectar la fiabilitat del recompte d'*E. coli* i bacteris coliformes i generar falsos positius.

En aplicar-lo directament a aigües no tractades del riu Besòs, es va produir un creixement molt gran i una saturació de les plaques que va impedir un recompte fiable de colònies. Aquest error en la metodologia explica els valors excessius registrats i, per tant, genera dubtes sobre la precisió dels resultats obtinguts.

Aquesta experiència m'ha ensenyat que en recerca és essencial validar els protocols abans de la seva aplicació.

També, la disponibilitat limitada de material no va permetre realitzar repeticions de les anàlisis, tot impedit calcular valors mitjans i avaluar la variabilitat dels resultats. Fins i tot, el nombre de punts de mostreig i la seva distribució geogràfica poden no reflectir completament la situació real de tot el curs fluvial.

A més, cal destacar que l'estudi s'ha realitzat en un període temporal breu, el que dificulta captar variacions estacionals.

8.7.5. Mesures per reduir la contaminació fecal al riu Besòs

La qualitat de l'aigua és vital per a la salut humana, l'agricultura, la indústria i els ecosistemes. L'aigua contaminada pot provocar problemes greus de salut, degradació ambiental i costos econòmics. Per això, les campanyes de conscienciació han de destacar la connexió entre l'aigua neta, la salut, la sostenibilitat i el benestar social.

Per arribar a diferents públics, cal utilitzar estratègies de comunicació multicanal: xarxes socials, vídeos, infografies i tallers amb experts que expliquin les causes i conseqüències de la contaminació. Les activitats pràctiques i interactives milloren la comprensió i la implicació.

L'educació ambiental a les escoles és clau. Integrar la qualitat de l'aigua al currículum, fer xerrades i visites a entorns naturals ajuda a formar ciutadans més responsables.

També són útils els anuncis de servei públic a ràdio i televisió, i les històries locals que mostren exemples de comunitats que han millorat la qualitat de l'aigua. Això fa que el problema sigui més proper i motivi l'acció.

La col·laboració amb líders locals i organitzacions comunitàries pot ampliar l'impacte de les campanyes. Organitzar esdeveniments de neteja i jornades d'anàlisi de l'aigua amb experts ajuda a fer visible el problema i promou la participació.

Finalment, cal avaluar l'efectivitat de les accions mitjançant enquestes, seguiment en xarxes socials i dades de participació. Això permet millorar les campanyes futures.

Conscienciar sobre la importància de la qualitat de l'aigua és un pas crucial per fomentar un compromís col·lectiu amb la preservació i la millora dels nostres recursos hídrics. En comprendre la importància de la qualitat de l'aigua, identificar el públic l'objectiu i emprar un enfocament de comunicació multicanal, les comunitats es poden empoderar per prendre mesures significatives. Mitjançant esforços col·laboratius, educació i participació activa, podem treballar per un futur on l'aigua neta sigui una necessitat i responsabilitat compartida per al benestar del nostre planeta i les generacions futures.

8.7.6. Aportació personal per a la divulgació i sensibilitat per a la cura dels nostres rius

Aquest treball inclou l'elaboració d'un díptic per conscienciar sobre la importància dels nostres ecosistemes fluvials.

Aquest material es distribuirà en dues ocasions importants. D'una banda, es repartirà al jurat durant la presentació del treball, el 19 de desembre. D'altra banda, el 22 de març, el dia Mundial de l'Aigua, es farà una gran distribució a l'institut per a la sensibilització de la comunitat educativa.

L'objectiu principal és, a partir dels coneixements adquirits amb el treball, contribuir activament a la conscienciació ciutadana sobre la necessitat de protegir els nostres rius.

8.7.7. Entrevista a un professional de microbiologia

He tingut l'oportunitat de realitzar una entrevista a la professora i investigadora Nuria Vigués Frantzen, del Departament de Genètica i Microbiologia de la UAB, qui molt amablement ens ha cedit part del seu temps i dedicació per explicar-nos la situació actual del riu Besòs. A continuació es presenten les preguntes formulades i les seves respostes:

- Per què és important analitzar microbiològicament l'aigua d'un riu com el Besòs?

Jo crec que és important perquè fa anys que s'està fent un esforç molt gran per millorar la qualitat dels rius. En teoria, s'intenta que la gent prengui consciència que tant els rius com els mars no són abocadors. No es tracta de llençar-hi la brossa que no et serveix i pensar que, com que l'aigua se l'emporta, no passa res.

El riu Besòs estava en molt mal estat, però ja fa uns anys es va començar a recuperar. Fins i tot s'hi van veure truites i llúdrigues. No sé si encara hi són, però el fet que hi hagués aquests animals indica que l'aigua estava molt neta. Si no fos així, només hi hauria carpes i poca cosa més.

- Quins bacteris es busquen habitualment en aquest tipus d'anàlisis?

Són bacteris indicadors de contaminació fecal. És clar que bacteris que poden causar problemes n'hi ha moltíssims, però el que es fa és buscar aquells que serveixen com a indicadors, per detectar si hi ha presència de fems. Si es confirma que hi ha contaminació, aleshores cal aprofundir més per identificar exactament quins bacteris hi ha allà i quins són els que causen el problema.

- Quin risc hi ha si les persones entren en contacte amb aigua contaminada?

Hi ha diversos riscos. El primer és que no s'hauria de beure, perquè si ho fas i et poses malalt, no pots denunciar ningú. L'origen de la contaminació sovint no es pot identificar. També banyar-se en aigües molt contaminades és perillós. De fet, a l'estiu, quan les platges estan molt brutes, ja s'indica que no es permet el bany durant aquells dies.

- Quins factors creus que afavoreixen la presència de contaminació fecal al riu?

Jo crec que el gran problema és que tant els pagesos com els agricultors no són gaire conscients dels problemes ambientals que hi ha. Crec que simplement fan el que s'ha fet sempre, sense preocupar-se massa de si això pot ser un problema. És com si la gent es pensés que els problemes que es poden solucionar ara no tinguessin gaire repercussió. Per què no he de fer servir pesticides si van tan bé? D'acord, potser una persona sola no representa gaire, però ja és com un granet de sorra si ho fa més gent. El que falta és conscienciació. És el mateix que passa amb el reciclatge, és molt evident que s'ha de reciclar, però és com si la gent no ho fes si no se'ls ho recorda, com si la informació no els interessés.

- Creus que la qualitat del riu Besòs ha millorat?

Jo crec que sí, que ha millorat en els darrers anys. Si et poses a buscar notícies, veuràs que han tornat a aparèixer llúdrigues i altres organismes en zones on abans era

impensable, perquè estava tan brut que era impossible que hi visquessin. També penso que la gent no té gaire clar que bevem aigua del riu, no? No sé què deuen pensar que fan les depuradores i tot plegat, però, clar, miracles tampoc en fan.

- Com pot la societat ajudar a reduir aquesta contaminació?

Aquí és bàsicament conscienciació, perquè, per exemple, la contaminació fecal, sobretot, prové de granges. Jo no crec que vingui de les persones, o almenys m'agradaria pensar que no. És a dir, tota la part aquesta dels purins dels homes contamina moltíssim. Si les aigües utilitzades per netejar les instal·lacions o per tractar aquests residus es gestionessin adequadament, amb sistemes de depuració eficients, no hi hauria aquesta contaminació. El riu és, bàsicament, l'activitat nostra el que el contamina.

- Quins símptomes pot patir una persona que entra en contacte amb aigua amb *E. coli* o enterococs?

A veure, l'*E. coli* són, principalment, símptomes gastrointestinals. També, t'he de dir que l'*E. coli* és el bacteri més freqüent en les infeccions urinàries. Aquí, hi ha una cosa de la qual podries parlar i és la concentració del bacteri. El concepte crec que es diu dosi infectiva i són bacteris que hi ha d'haver molta concentració perquè et facin mal i hi ha bacteris que tot i que hi ha molt poca concentració ja et fan mal igualment.

- Hi ha alguna època de l'any en què el risc de contaminació fecal sigui més alt? Per què?

Jo crec que sí. A l'hivern, tot està més quiet. Hi ha menys activitat agrícola, menys moviment de persones i menys temperatura, cosa que frena el creixement microbiològic. En canvi, a la primavera i a l'estiu, tot s'activa. En aquesta època comença la temporada agrícola i augmenten els ramats. També, la temperatura del riu puja, cosa que pot afavorir la proliferació de bacteris.

En relació amb l'agricultura al voltant del Besòs, hi ha zones que s'utilitzen per a la depuració d'aigües, que creixen sobretot a la primavera i a l'estiu. Això coincideix amb l'època de més activitat al camp i amb més risc de contaminació.

Amb els animals, també hi ha variacions. A l'estiu, sovint es porten a pasturar en zones més altes, mentre que a l'hivern es queden en zones més baixes. Però com que són vius tot l'any, el risc de contaminació per ramaderia és més constant.

- Els sistemes de clavegueram antics poden contribuir a la contaminació dels rius? Com?

Mmm, aquí hi ha una cosa important. Tant en els sistemes de clavegueram com en l'eficàcia de les depuradores, no s'hi inverteixen gaires diners. Per exemple, pensa en l'aigua potable: es perd una quantitat enorme pel sistema de canonades, i ningú hi fa pràcticament res. Si ja passa això amb l'aigua que bevem, imagina't amb les aigües residuals... allà no s'hi mou ni un duro.

A més, les depuradores estan dimensionades per a una població concreta. Però a l'estiu, quan tothom es concentra en zones turístiques, com les platges, la capacitat queda totalment desbordada. Durant l'any potser hi ha poca gent, però a l'estiu allò es

multiplica per deu. I clar, tampoc pots tenir una depuradora sobredimensionada tot l'any, perquè seria una despesa innecessària.

Tot això, però, no interessa gaire. La gent no pensa en el que passa amb l'aigua un cop desapareix pel desguàs. És com si no existís. El que passa després, amb les aigües residuals, amb els rius, amb el mar... és una altra història que queda amagada.

- Com es fa la vigilància sanitària de les aigües d'un riu? És freqüent?

Jo crec que no és freqüent. On es deu vigilar és en llocs on s'agafa l'aigua per anar a la potabilitzadora, això segur que es controla cada dia. Ara no sé qui agafa aigua del Besòs, però estaria bé mirar si hi ha alguna potabilitzadora que el fa servir. Ara bé, fora d'aquests usos, la vigilància no es fa pensant en la salut del riu, sinó en la nostra.

- Els resultats microbiològics poden canviar molt d'un dia a l'altre? Què ho provoca?

I tant, sí, sí, i durant el mateix dia també. Per exemple, si hi ha un abocament fecal en un punt concret del riu i el cabal és alt, l'aigua s'ho emporta ràpidament i la contaminació es dispersa. En canvi, durant una sequera, quan el cabal és molt baix, és un drama. La concentració de microorganismes pot augmentar molt, perquè l'aigua no té capacitat d'autodepuració.

Quan va arribar el temporal Glòria, just abans de la pandèmia, va ploure durant dies seguits, cosa que no passava des de feia molt temps. Les rieres urbanes van desbordar-se i van arrossegar tota mena de contaminants cap al mar. L'aigua marina es va embrutar tant que va costar molt recuperar la qualitat habitual.

- Hi ha molta diferència entre la contaminació fecal d'un riu urbà i un riu de muntanya?

Home, jo crec que sí. En un riu de muntanya, hi ha molta menys gent i la contaminació fecal prové principalment dels animals. En canvi, en un riu urbà, hi ha abocaments domèstics, industrials i una manca de consciència sobre el seu impacte. Moltes vegades, la gent no s'adona que aquestes rieres urbanes poden acabar contaminant ecosistemes més amplis.

També cal tenir en compte les aigües subterrànies. És fonamental que es mantinguin a un nivell adequat, perquè si baixen massa, poden afavorir la infiltració de contaminants.

- Quins són els errors més habituals que es poden cometre en una anàlisi d'aigua al laboratori?

Jo diria que un dels errors més habituals en una anàlisi d'aigua al laboratori és la presa de la mostra. Si s'utilitza una ampolla que no està ben neta, els resultats poden donar una falsa impressió de contaminació, tot i que l'aigua original estigui en bon estat. També cal tenir en compte la temperatura d'emmagatzematge i el temps transcorregut entre la presa de la mostra i l'anàlisi.

- Com es pot educar millor la població sobre l'impacte de les seves accions en la qualitat de l'aigua?

Crec que tot això, en el fons, ha de començar a les escoles. Si a un nen, des de ben petit, se li ensenya que un entrepà no s'ha d'embolicar amb paper de plata, ja li farà mal després veure un entrepà embolicat així. A més, cal reforçar-ho amb anuncis de la Generalitat, que ajudin a fer arribar el missatge a tota la societat.

9. CONCLUSIÓ

Aquest treball de recerca m'ha permès assolir els objectius plantejats inicialment i, alhora, endinsar-me en la recerca científica aplicada a un problema ambiental important.

En primer lloc, he aconseguit aïllar, quantificar i identificar microorganismes indicadors de contaminació fecal (*Escherichia coli* i enterococs) en les mostres dels cinc trams del riu Besòs seleccionats, tot aplicant amb èxit les tècniques de laboratori apreses durant l'estada Argó. La comparació dels resultats amb la normativa vigent ha confirmat que tots els trams analitzats presenten nivells de contaminació fecal molt per sobre dels límits legals, cosa que els fa no aptes ni per al bany ni per a usos agrícoles.

Cal destacar que l'anàlisi de les dades en funció del tipus d'entorn (rural, urbà, industrial) em va permetre posar a prova les meves hipòtesis inicials. Vaig descobrir que la contaminació fecal és un problema persistent al llarg de tot el riu, sense una correlació clara amb un únic tipus de zona. Això m'ha ensenyat que la contaminació d'un riu urbà és multifactorial i complexa. En aquest context, hi intervenen diversos tipus d'aportacions: les provinents principalment de l'aigua de pluja que arrossega brutícia dels carrers i dels camps, els abocaments puntuals, associats a activitats industrials, domèstiques o infraestructures específiques i l'acumulació progressiva de contaminants al llarg del recorregut del riu. Aquest conjunt de factors contribueix de manera significativa a l'empitjorament de la qualitat de l'aigua. De fet, les anàlisis mostren que els nivells més elevats de contaminació es concentren als trams finals del riu, fet que evidencia l'efecte acumulatiu de totes les aportacions que s'hi van incorporant al llarg del seu trajecte.

He pogut, també, identificar les conseqüències per a la salut humana derivades d'aquesta contaminació, especialment el risc de malalties gastrointestinals i d'altres infeccions relacionades amb l'exposició a aigües contaminades.

L'entrevista amb la professora Nuria Vigués Frantzen va ser una peça clau per donar context als meus resultats. La seva mirada qualitativa va enriquir l'anàlisi quantitativa que havia realitzat, tot aportant aspectes que sovint les dades per si soles no poden mostrar. Gràcies a la seva experiència, vaig poder identificar elements com ara els canvis estacionals, la sobrecàrrega de les depuradores, la manca d'inversió en infraestructures i, especialment, la falta de conscienciació ciutadana com a factors que intensifiquen el problema. Aquesta conversa em va fer adonar que investigar és entendre les realitats que s'hi amaguen i buscar-hi respostes amb una mirada més àmplia i crítica.

A més, he après a reconèixer i assumir les limitacions pròpies de qualsevol estudi, com ara la inadequació dels medis de cultiu per a aigües no tractades o el nombre reduït de presa de mostres. Aquesta consciència crítica forma part essencial del procés investigador.

En definitiva, aquest projecte ha anat més enllà d'analitzar la contaminació del riu Besòs. Ha estat una oportunitat per aplicar el mètode científic en totes les seves fases: des del disseny i el treball de laboratori fins a l'anàlisi i interpretació dels resultats. M'ha permès consolidar el meu interès per la recerca i la salut pública, alhora que he adquirit competències tècniques i analítiques valuoses per al meu futur acadèmic i professional. La conclusió més important és que la ciència és una eina essencial per entendre els problemes ambientals i intentar determinar les possibles accions que poden donar-hi resposta.

10. BIBLIOGRAFIA WEB

1. Admin-Ambientalys. (2019, 17 junio). *Parámetros microbiológicos controlados en aguas de consumo: los enterococos*. Ambientalys.
<https://www.ambientalys.com/parametros-aguas-enterococos>
2. AESAN - Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. (s. f.). *Escherichia coli*.
https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetalle/Escherichia_coli.htm
3. Agencias. (2024, 26 septiembre). Detectan poliovirus en las aguas residuales en la depuradora del Besòs (Barcelona). *La Vanguardia*.
<https://www.lavanguardia.com/vida/20240926/9975042/detectan-poliovirus-aguas-residuales-depuradora-besos-agenciaslv20240926.html>
4. Agència Catalana de l'Aigua. (s. f.). *Aigües superficials*.
<https://aca.gencat.cat/ca/laigua/el-medi-hidric-a-catalunya/definicio-i-tipus-masses-daigua/aigues-superficials/>
5. Agència Catalana de l'Aigua. (s. f.). *Normativa substantiva en materia de aguas*.
<https://aca.gencat.cat/es/laca/normativa/normativa-substantiva-en-materia-daigues/>
6. Alcora, M. (2021, 6 octubre). *Cómo tomar muestras de aguas potables, superficiales y residuales*. Alcora.
<https://alcora.es/blog/muestra-de-agua-para-analisis-toma-conservacion-y-cadena-de-custodia/>
7. Álvarez, D. (2023, 18 mayo). Río Besós. *Geoenciclopedia*.
<https://www.geoenciclopedia.com/rio-besos-655.html>
8. Barrantes, K., Chacón, L. M., Solano, M., & Achí, R. (s. f.). *Contaminación fecal del agua superficial de la microcuenca del río Purires, Costa Rica, 2010-2011*.
https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562013000100009

9. Bioser. (2025, 4 octubre). *Cromogénico para Coliformes Agar (CCA) | E. Coli*.
<https://www.bioser.com/productos/agar-cromognico-para-coliformes-cca-iso-9308-1-1376p/>
10. Chromagar. (2025, 13 agosto). *CHROMagar™ CCA- Chromagar*.
<https://www.chromagar.com/en/product/chromagar-cca/>
11. Diputación de Barcelona. (s. f.). ODS 6 - *Salut pública*.
<https://www.diba.cat/ca/web/salutpublica/ods-6#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3%20microbiana%20d'aquesta,relacionades%20amb%20l'aigua%20contaminada.>
12. De Comunicación Aconsa, E. (2022, 29 junio). *E. coli en el agua: ¿Cómo llega a ella? ¿Representa un peligro?* -Aconsa.
<https://aconsa-lab.com/e-coli-agua-peligro/>
13. EcuRed. (s. f.). *Río Besós*. https://www.ecured.cu/R%C3%ADo_Bes%C3%B3s
14. Ens d'Abastament d'Aigua Ter-Llobregat. (s. f.). *Gestió de l'aigua*.
https://www.atl.cat/ca/gestio-de-l-aigua_550
15. Estornell, J. (2025, 26 agosto). *Escherichia Coli: características, patogenicidad y prevención (I)*. Christeysn.
<https://www.christeysn.com/es-es/escherichia-coli-caracteristicas-patogenicidad-y-prevencion-i-2/>
16. EUR-Lex. (s. f.). Directiva 2000/60/CE (Directiva Marco del Agua).
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:32000L0060>
17. Gotfried, J. (1446, 12 noviembre). *Gastroenteritis por E. coli*. Manual MSD Versión Para Público General.
<https://www.msmanuals.com/es/hogar/trastornos-gastrointestinales/gastroenteritis/gastroenteritis-por-e-coli>
18. Higiene Ambiental. (s. f.). *Contaminación fecal del agua de red y en piscinas*.
<https://higieneambiental.com/contaminacion-fecal-agua>
19. Higiene Ambiental. (s. f.). *Indicadores de contaminación fecal en aguas*.
<https://higieneambiental.com/indicadores-de-contaminacion-fecal>
20. Instituto Europeo de Química, Física y Biología. (2024, 26 noviembre). *Qué es un análisis microbiológico y cómo se hace*.
<https://ieqfb.com/que-es-un-analisis-microbiologico/>
21. Mayo Clinic. (2022, 9 diciembre). *Cólera - Síntomas y causas*.
<https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/cholera/symptoms-causes/syc-20355287>
22. Mayo Clinic. (2023, 21 marzo). *Fiebre tifoidea - Síntomas y causas*.
<https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/typhoid-fever/symptoms-causes/syc-20378661>

23. Mesele, F., & Kurra, F. A. (2019). Structure of E. coli. *ResearchGate*.
https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-E-coli-Source-http-wwwnature-educationorg-waterecolihhtml_fig1_337673169
24. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f.). *Guía para la evaluación del estado de las aguas superficiales y subterráneas*. Gobierno de España.
https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/guia-para-evaluacion-del-estado-aguas-superficiales-y-subterraneas_tcm30-514230.pdf
25. Nova Chimica Srl. (2017). CCA Agar Cromogénico (ISO 9308-1:2014). Universitat Autònoma de Barcelona.
https://webs.uab.cat/workshopmrama/wp-content/uploads/sites/312/2017/01/Agar_cromogenico_CCA.pdf
26. Paediatric Environmental Health Speciality Unit Murcia. (s. f.). *Vulnerabilidad de la infancia*. https://pehsu.org/wp/?page_id=351
27. RedIRIS. (s. f.). Capítulo 20. En *RIPDA – Red Iberoamericana de Protección de Datos Ambientales*. http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_20.pdf
28. Rubio, M. (2021, 30 mayo). *La frágil salud del Besòs se recupera de los derrames químicos*. *Público*.
<https://www.publico.es/sociedad/fragil-salud-besos-recupera-derrames-quimicos.html>
29. Sanchez, S. (2023, 5 octubre). *Amebiasis: causas, síntomas y tratamiento*. Vivolabs.
<https://vivolabs.es/amebiasis-causas-sintomas-y-tratamiento/>
30. Seosem. (2024, 9 octubre). *Envases HDPE 100% reciclables para tus productos*. Garplast. <https://garplast.com/envases/hdpe/>
31. Testbook. (s. f.). *Domestic effluent is a major source of fecal contamination in water*.
<https://testbook.com/question-answer/is-a-major-sour--5f8ad4ce6e365c8ddfa6c3c2>
32. Universitat Autònoma de Barcelona. (1995–1996). *Programa de l'assignatura: Procediment Administratiu*.
<https://ddd.uab.cat/pub/procur/1995-96/p23477a1995-96iCAT.pdf>
33. Universitat de Barcelona. (s. f.). *Técnicas de agotamiento*.
https://sarreplec.caib.es/pluginfile.php/29224/mod_imscp/content/2/34_tcnicas_de_agotamiento.html
34. Universitat de Granada. (s. f.). *Determinación de bacterias coliformes: colimetría*.
<https://www.ugr.es/~cjl/colimetria.pdf>
35. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. (s. f.). *Tema 7*.
https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/35/35734/tema_7.pdf
36. University of Arizona. (s. f.). *AZ162*.
<https://repository.arizona.edu/bitstream/handle/10150/670057/AZ162>

37. Vanguardia, L. (2024, 21 julio). Cierran el parque fluvial del Besòs por el vertido químico. *La Vanguardia*.
<https://www.lavanguardia.com/local/barcelones-nord/20240721/9818894/cierran-parque-fluvial-besos-vertido-productos-quimicos-matado-centenares-pescados-rac1.html>
38. Works, E. (s. f.). *Baja la contaminación por metales pesados en la costa de Barcelona*.
<https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/baja-la-contaminacion-por-metales-pesados-en-la-costa-de-barcelona-gracias-a-las-esta-Uut0t>
39. Works, E. (s. f.). *Control de E. Coli en continuo en aguas continentales, residuales y marinas*.
<https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/control-de-e-coli-en-continuo-en-aguas-continentales-residuales-y-marinas-c1SA>
40. World Health Organization. (2021). *Faecal pollution*. En *Guidelines on Recreational Water Quality*. NCBI Bookshelf. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK572627/>
41. World Health Organization. (2025, 12 de febrero). *Hepatitis A*.
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/hepatitis-a>
42. World Health Organization. (2025, 2 de abril). *Poliomielitis*.
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/poliomyelitis>

11. ANNEX

Aquest díptic té com a finalitat exposar, de manera clara i visual, la importància de la regeneració del riu Besòs i remarcar que la seva preservació és una responsabilitat compartida. Es tracta d'una eina de divulgació que pretén afavorir la relació dels ciutadans amb el medi natural, despertar consciència ambiental i promoure la participació ciutadana, així com la difusió del missatge.



CUIDEM EL RIU BESÒS JUNTS!



QUÈ LI PASSA AL RIU?

El riu Besòs és un riu molt important de l'àrea de Barcelona... però durant anys ha rebut:

- Aigües residuals 
- Abocaments d'indústries 
- Restes d'excrements d'animals i camps de conreu
- Residus i brutícia 

Tot això fa que l'aigua tingui microbis i bacteris que no hi haurien de ser.

Exemples de bacteris presents a les aigües residuals són E.Coli i enterococs. Aquests microorganismes s'utilitzen habitualment com a indicadors de contaminació fecal.



RECORDA

EL RIU ÉS CASA DE:

- Peixos
- Amfibis
- Aus
- Plantes
- Persones com tu i jo que en gaudim

CADA ACCIÓ COMPTA!

COMPARTEIX EL MISSATGE, PROTEGEIX EL RIU



QUÈ PODEM FER?



Petites accions sumen molt!!!

- ✓ No llençar tovallolletes, oli o productes químics pel vàter.
- ✓ Recollir els excrements dels animals.
- ✓ No tirar brossa a les rieres ni al carrer.
- ✓ Evitar malbaratar aigua.
- ✓ Participar en activitats de neteja del riu.
- ✓ Compartir amb els altres la importància dels rius.

I TU, QUÈ EN PENSES?

