

Qualitat de l'aigua: Anàlisi comparativa amb tires reactives

Es pot avaluar la qualitat de l'aigua amb tires reactives de manera fiable?

Muhammad Waqas

Tutor: Fernando García Vílchez

Departament de Matemàtiques

Institut Sants

Avís legal

Copyright © Muhammad Waqas. Es garanteix permís per copiar, distribuir i modificar aquest document segons els termes de la GNU Free Documentation License, versió 1.3 o qualsevol posterior publicada per la Free Software Foundation. Es disposa d'una còpia d'aquesta llicència a <http://www.fsf.org> i a l'annex C.

Agraïments

Vull expressar el meu més sincer agraïment al meu tutor, **Fernando García**, professor de matemàtiques, per haver-me guiat i donat consells al llarg de tot el Treball de Recerca. La seva paciència, disponibilitat i ajuda amb problemes de LaTeX, així com el suport constant en cada etapa del projecte, han estat fonamentals per al correcte desenvolupament del treball. També vull agrair als professors **Àlex Tuca** i **Gemma Soldevilla** per aportar idees i materials que han permès desenvolupar aquest treball.

Un altre agraïment especial va per al meu entorn col·laboratiu. Gràcies a ells, no només vaig poder rebre ajuda quan la necessitava, sinó que també vaig tenir l'oportunitat de col·laborar i aportar el meu suport. El nostre petit equip estava format per **Jiajun Xia**, **Rui Chen**, **Max Pérez** i jo mateix, amb **Fernando García** com a tutor i “cap” que coordinava el projecte. La seva col·laboració, paciència i compromís van ser fonamentals perquè els experiments i la part pràctica del treball es desenvolupessin correctament.

A més, agraeixo especialment a la família de Jiajun Xia per permetre'm accedir al seu bar i obtenir una mostra d'aigua de l'aixeta per dur a terme els experiments pràctics, així com a **Aitor Rodríguez** i a la seva família per facilitar-me una altra mostra d'aigua a casa seva, mostrant una gran paciència durant tot el procés.

Finalment, vull agrair a la meva germana gran, **Maira Younas**, per haver-me ajudat al principi quan no tenia molt clares les idees i per haver-se pres el temps de llegir tot el treball, aportant valioses recomanacions i suport moral.

Resum

Aquest treball de recerca es centra en l'estudi de la qualitat de l'aigua, combinant recerca teòrica, experimentació pràctica i aprenentatge personal. L'objectiu principal ha estat comprendre els paràmetres que defineixen la qualitat de l'aigua i aprendre a mesurar-los de manera senzilla però efectiva mitjançant l'ús de tires reactives.

El procés ha implicat una recerca prèvia sobre els components químics i biològics presents a l'aigua i els valors recomanats per a cada paràmetre, així com l'aprenentatge de noves eines de recerca i documentació com Linux, GitHub i LaTeX. A la part pràctica, s'han realitzat experiments controlats amb mostres d'aigua per analitzar els resultats obtinguts i generar recomanacions sobre l'ús correcte de les tires reactives per obtenir mesures fiables.

Aquest treball no només permet comprendre millor la qualitat de l'aigua, sinó que també reflecteix un aprenentatge personal i formatiu: l'adquisició d'habilitats per buscar informació de manera autònoma, organitzar un treball científic i comunicar els resultats de manera clara i accessible, tant per a persones amb coneixements previs com per a aquelles sense experiència en química.

Abstract

This research project focuses on the study of water quality, combining theoretical research, practical experimentation, and personal learning. The main goal has been to understand the parameters that define water quality and to learn how to measure them in a simple yet effective way using reactive strips.

The process involved prior research on the chemical and biological components present in water and the recommended values for each parameter, as well as learning to use research and documentation tools such as Linux, GitHub, and LaTeX. In the practical part, controlled experiments were conducted with water samples to analyze the results and provide recommendations on the correct use of reactive strips to obtain reliable measurements.

This work not only helps to better understand water quality but also reflects personal and educational growth: acquiring skills to search for information independently, organize a scientific report, and communicate results clearly and accessibly, both for people with prior knowledge and for those without experience in chemistry.

Índex de continguts

1	Introducció	1
1.1	Motivació	1
1.2	Estructura de la memòria	2
2	Objectius	3
3	Metodologia	5
3.1	Entorn col·laboratiu	5
3.2	Sistema operatiu	6
3.3	Processador i editor de text	10
3.4	Recursos de laboratori	12
4	Recerca prèvia	15
4.1	Què és la qualitat de l'aigua?	15
4.2	Paràmetres químics	15
4.3	Paràmetres físics	21
4.4	Paràmetres biològics	22
4.5	Organització Mundial de la Salut (OMS)	23
5	Part pràctica	29
5.1	Primer experiment	29
5.2	Segon experiment	36
5.3	Tercer experiment	41
5.4	Resultats de la part pràctica	45
6	Conclusions	49
6.1	Conclusions de la metodologia	49
6.2	Conclusions de la recerca prèvia	49
6.3	Conclusions de la part pràctica	49
6.4	Conclusió final	50

A Ampliació metodologia	51
A.1 Control de versions i treball col·laboratiu amb Git i GitHub	51
A.2 Sistema operatiu: Linux i la distribució Xubuntu	52
A.3 Eines de processament de text: LaTeX i Kile	53
A.4 Reflexió final	54
B Experiments amb la guia manual	55
C GNU Free Documentation License	61
Bibliografia	76

1. Introducció

L'aigua és un element essencial per a la vida, i la seva qualitat té un impacte directe sobre la salut humana i el medi ambient. Entendre com es poden mesurar els paràmetres que la defineixen és clau per prendre decisions conscients i per apreciar la importància de preservar aquest recurs tan valuós. Aquest treball de recerca s'ha centrat en analitzar la qualitat de l'aigua combinant teoria, pràctica i experiència personal, utilitzant un mètode senzill però efectiu: les tires reactives.

L'elecció d'aquest tema respon a la curiositat per descobrir de manera directa què determina la qualitat de l'aigua i com es poden interpretar els resultats d'una forma clara i entenedora. Al mateix temps, el treball ha permès aprendre a utilitzar eines i recursos que van més enllà de la recerca específica sobre l'aigua. Linux, GitHub i L^AT_EX permeten desenvolupar habilitats com l'organització, la planificació, la creació i la transferència de coneixement científic.

Aquest enfocament no només aporta coneixements sobre química i medi ambient, sinó que també mostra com es desenvolupa un procés d'investigació complet, des de la recerca bibliogràfica fins a l'anàlisi de resultats experimentals. L'objectiu és fer que el treball sigui comprensible per a tothom, independentment del nivell de coneixements previs, i alhora reflectir l'aprenentatge i l'experiència personal que he adquirit durant tot el procés.

1.1 Motivació

La principal motivació per triar aquest tema és poder comprendre i experimentar de primera mà com es pot avaluar la qualitat de l'aigua. Aquest projecte també ha servit per desenvolupar competències importants per als estudis futurs i per al creixement personal:

- Aprendre a buscar informació de manera autònoma i estructurada, combinant recerca teòrica i pràctica.
- Familiaritzar-se amb eines professionals i recursos digitals que faciliten l'organització i el seguiment del treball.
- Millorar la capacitat de comunicar resultats de manera clara i accessible, tant per a persones amb coneixements previs com per a novells en química.

- Experimentar directament amb materials i tècniques de laboratori per entendre millor els conceptes teòrics.

1.2 Estructura de la memòria

Després d'aquesta introducció, al capítol 2: Objectius, es presenten els objectius generals i específics del treball. La metodologia aplicada, el material de laboratori utilitzat i les tècniques pràctiques desenvolupades es descriuen al capítol 3: Metodologia. Tot seguit, al capítol 4: Recerca prèvia, s'exposen els coneixements previs necessaris sobre la qualitat de l'aigua i els paràmetres que s'analitzen. A continuació es presenta la Part pràctica al capítol 5. Els resultats experimentals obtinguts es presenten a la secció de 5.4: Resultats de la part pràctica. Finalment, el capítol 6: Conclusions ofereix les conclusions i possibles línies de recerca futura derivades del treball.

2. Objectius

L'objectiu principal del meu treball és fer recerca en el camp de la Química. Tot i les limitacions que tenim en recursos materials i humans (el meu tutor és professor de Matemàtiques), hem creat un grup de recerca tan real com ha estat possible.

En aquest grup de recerca el meu tutor ha actuat com el cap de recerca i ha fixat una sèrie de requisits propis del grup de treball. En canvi, jo he actuat com a investigador fixant el tema, fent la formació prèvia, etc . A continuació detallarem els requisits fixats per cadascuna de les parts:

Requisits del grup de recerca

- Definir uns objectius clars i que es poguessin aconseguir dins del termini del TR.
- Marcar un calendari i organitzar bé les feines.
- Fer servir eines per generar transferència de coneixement i traçabilitat de la feina. Per tal d'assolir aquests objectius hem fet servir eines professionals en el camp de la recerca, com GitHub [24], que permeten compartir els documents i poder recuperar el procés de creació.
- Crear un treball completament lliure, és a dir, *que qualsevol persona pot utilitzar, distribuir, copiar, estudiar, modificar, millorar i compartir perquè tothom se'n pugui beneficiar* [13].
- Mantenir sempre un enfocament científic, encara que els recursos fossin limitats.

Requisits de l'investigador

Com a investigador, jo també he fixat requisits que havia d'assolir el TR.

- Escollir i concretar el tema (en aquest cas, la qualitat de l'aigua).
- Formar-me per a poder fer la recerca. En aquest cas, fer una recerca d'informació prèvia en llibres i articles de confiança.
- Aprendre a utilitzar les eines que em va proporcionar el tutor i posar-les en pràctica.

- Treballar amb totes les eines pròpies del grup de recerca (Linux, GitHub i LaTeX) de manera eficient per tal de crear una recerca de qualitat.
- Extreure les meves pròpies conclusions i explicar-ho tot de manera senzilla, perquè també pugui arribar a gent que no té coneixements en aquest camp.

Aquest treball no serà només llegir informació i treure conclusions, sinó també aprendre noves maneres de treballar, adaptar-se a eines de laboratori que no he utilitzat mai. Aprendre a fer-les servir correctament serà tot un procés, que s'explica amb més detall al capítol 3 Metodologia.

Objectiu formatiu

Aquest treball també té com a objectiu la meva pròpia formació: aprendre a buscar informació pel meu compte, estructurar un treball científic pas a pas i dur a terme experiments propis. Tot aquest procés no només m'ha ajudat a fer aquest treball de recerca, sinó que també m'ha donat experiència i em prepara per a futurs reptes acadèmics i professionals.

Objectiu de recerca

L'objectiu de recerca o principal del meu treball és entendre millor la qualitat de l'aigua i fer-ho a partir d'un mètode senzill: l'ús de tires reactives. Per aconseguir-ho, abans he hagut d'informar-me bé sobre quins són els paràmetres que serveixen per mesurar aquesta qualitat, quins valors són normals i quins no, i també sobre alguns dels components químics i biològics que hi poden aparèixer.

Per tal d'analitzar la qualitat de l'aigua mitjançant l'ús de tires reactives de manera adequada ha estat necessari dur a terme una recerca prèvia sobre els paràmetres de qualitat de l'aigua, els valors mínims i màxims recomanats i alguns dels molts components químics i biològics que poden estar-hi presents. Aquesta fase teòrica ha permès adquirir una base sòlida per a l'experimentació.

Aquest treball no es limita a la recerca bibliogràfica i l'anàlisi de resultats, sinó que també ha implicat un procés d'aprenentatge personal. He hagut d'adaptar-me a l'ús de noves eines experimentals, fixades pel cap de recerca, i aprendre a utilitzar-les correctament.

3. Metodologia

Un cop hem presentat els objectius, ara toca explicar de quina manera els assolirem. Tal i com hem mencionat als objectius, no només és important fer recerca, sinó que hem de fer recerca de qualitat, intentant reproduir la manera en que es fa recerca en els grups d'investigació amb les limitacions pròpies d'un treball de recerca.

En aquest treball el tutor, que ha actuat com el cap del grup de recerca, ha determinat quines eines es fan servir en el grup. Per tant, com a membre del grup m'he hagut d'adaptar a les seves demandes i ha format-me en l'ús d'aquestes eines. A continuació presentaré aquestes eines i explicaré quines avantatges presenten respecte a altres eines més populars, però que no estan pensades per a l'ús en el camp de la recerca científica.

Per descomptat, a part de la metodologia pròpia del grup de recerca, també hi ha metodologia pròpia de la recerca que es presentaran al capítol 4 Recerca prèvia.

3.1 Entorn col·laboratiu

El Git [10] és un sistema de repositoris que permeten el treball col·laboratiu i està especialment dissenyat per als projectes científics. En aquest TR he creat un projecte (TR-KM-2025 [29]) a la plataforma GitHub [24] que ofereix una plataforma per a desenvolupar projectes de codi obert. Aquest entorn permet la traçabilitat i la transferència de coneixement entre la comunitat científica.

GitHub és una plataforma al núvol per allotjar i gestionar projectes de software que utilitzen el sistema de control de versions Git. Permet a desenvolupadors, investigadors i equips col·laborar en un mateix projecte sense perdre l'historial de canvis; això facilita treballar en un entorn molt més senzill, i és la raó principal per la qual tant jo com els meus companys, que tenim el mateix tutor, hem decidit utilitzar aquesta plataforma.

A més, en el món professional, saber utilitzar GitHub ofereix avantatges quan cal fer un treball en equip o escriure un article conjuntament amb altres persones.

3.1.1 Avantatges d'utilitzar GitHub

1. **Control de versions amb Git:** Desa l'historial complet del projecte, permetent tornar a estats anteriors o revisar qui ha fet cada canvi.
2. **Col·laboració en equip:** Diverses persones poden treballar en paral·lel, proposar canvis mitjançant *pull requests* i discutir millores en *issues*.
3. **Accessibilitat i disponibilitat:** En estar al núvol, pots accedir als teus projectes des de qualsevol lloc i dispositiu.
4. **Transferència de coneixement:** Els projectes públics permeten que altres usuaris construeixin, reportin errors o suggereixin millores.

Fonts: [18]

3.2 Sistema operatiu

Per fer un treball més professional i molt més complex, vaig decidir, amb l'ajuda del meu tutor, fer-lo utilitzant un sistema operatiu diferent a l'habitual, però primer vaig haver de triar entre treballar amb una màquina virtual o no.

3.2.1 Què és un sistema operatiu?

'Els sistemes operatius (també anomenats nuclis o kernels) són un conjunt de programes informàtics que fa de cervell del teu ordinador, gestionant els seus recursos físics (hardware), com el processador, la memòria i els perifèrics, i els programes (software), per permetre l'execució d'aplicacions i facilitar la interacció entre l'usuari i la màquina.' [14]

3.2.2 Què és una màquina virtual (VM)?

Una màquina virtual és un entorn informàtic que funciona com un sistema aïllat amb la seva pròpia CPU (Unitat Central de Processament), memòria, interfície de xarxa i emmagatzematge, el qual es crea a partir del hardware.

Les màquines virtuals utilitzen software en un ordinador físic (host) per replicar o emular la funcionalitat d'un ordinador diferent. En resum, una màquina virtual és un ordinador simulat dins d'un ordinador real.

Les màquines virtuals funcionen igual que els ordinadors normals: tenen un sistema operatiu, emmagatzemen fitxers, executen programes, etc.

Tipus de màquines virtuals

Les VM poden tenir diferents tasques en funció del tipus de màquina virtual utilitzada.

1. **Màquina virtual de procés:** Serveix per executar un programa com si fos natiu, sense importar el sistema operatiu o el hardware real. No instal·la un sistema operatiu complet, sinó que permet executar programes d'una altra plataforma.

Avantatges:

- 1) Consumeix pocs recursos (RAM i CPU) comparat amb un sistema operatiu complet.
- 2) Pots executar programes en qualsevol sistema operatiu compatible.
- 3) Si falla, no afecta el sistema operatiu principal.

Desavantatges:

- 1) Només funciona per a un tipus de programa o plataforma específica (ex. Java).
 - 2) No pots executar un sistema operatiu complet, només aplicacions.
 - 3) Accés limitat al software: no pot utilitzar tot el potencial del PC.
2. **Màquina virtual de sistema:** Serveix per emular un sistema operatiu complet dins d'un altre; per exemple, pots tenir Linux dins de Windows, o Windows dins de Linux.

Avantatges:

- 1) Permet executar un sistema operatiu complet dins d'un altre.
- 2) Pots provar diferents sistemes operatius sense tocar el PC real.
- 3) Cada màquina virtual està aïllada, així que errors o virus no afecten el sistema principal.

Desavantatges:

- 1) Consumeix molts recursos: necessita RAM, CPU i espai al disc.
- 2) Pot ser més lenta que usar un sistema operatiu natiu.
- 3) Configurar i mantenir diverses màquines virtuals pot ser més complex.

Finalment, quina ha estat la tria?

Degut a la tipologia del meu ordinador personal no he utilitzat cap màquina virtual, l'eina que he utilitzat és **Xubuntu**, un sistema operatiu basat en *Linux*. Abans de presentar els avantatges de Linux, mostraré una breu comparativa entre Linux i Windows.

Comparativa Windows vs Linux

Si volem elaborar una comparativa en Windows i Linux cal fer una llista dels avantatges i dels desavantatges que presenten cadascun. En general, ambdós destaquen **compatibilitat amb pràcticament tot el hardware**.

En Windows també cal destacar la **facilitat d'ús** i el **suport de software**. Aquest últim punt és perquè Windows té una gran audiència, per això els desenvolupadors prefereixen crear jocs i software per a aquest sistema operatiu, donant-li una major optimització, però aquest software no és lliure com en el cas de Linux.

No només parlaré dels punts positius de Windows, sinó també presentaré alguns desavantatges que pot tenir, com ara els **atacs de virus elevats**. La raó principal és que els 'pirates informàtics' poden trencar fàcilment la seguretat de Windows, per la qual cosa els usuaris d'aquest sistema depenen del software antivirus, que requereix pagaments mensuals per protegir-se. En canvi Linux ofereix un alt nivell de seguretat sense cap cost. A més permet la total configuració del sistema per part de l'usuari.

Windows presenta un **alt consum de recursos informàtics** afavorint el fenomen de l'obsolescència programada. Per exemple, si estàs instal·lant el sistema operatiu Windows, l'ordinador ha de tenir una gran capacitat de RAM, una targeta gràfica potent i molt d'espai al disc dur. Els sistemes operatius Linux funcionen perfectament amb pocs recursos. Aquest punt va ser crucial en tria del sistema operatiu.

Fonts: [4]

Per què vaig escollir Xubuntu?

La principal raó és perquè Ubuntu és gratuït i de codi obert; això fa que sigui accessible per a tothom. Té una gran comunitat, cosa que fa que sigui fàcil trobar ajuda i, per últim, perquè és fàcil d'utilitzar per a principiants.

Xubuntu va ser llançat a l'octubre de 2004 per Canonical. Està basat en Linux i deriva de Debian. Xubuntu és de codi obert, cosa que significa que tant el sistema com les seves aplicacions estan disponibles per ser estudiades sense cap cost.

'**Linux**' és un sistema operatiu de codi obert creat per Linus Torvalds l'any 1991, que funciona com una alternativa gratuïta i modificable a sistemes com Windows i macOS [32].

Per a què serveix Xubuntu?

Hi ha una infinitat de propòsits, però els que més destaquen són els que descriuré a continuació:

1. **Navegar per internet:** Inclou navegadors com Firefox, optimitzat.
2. **Programar i desenvolupar software:** És molt utilitzat per desenvolupadors gràcies a la seva compatibilitat amb una infinitat d'eines de desenvolupament.
3. **Utilitzar aplicacions d'oficina:** LibreOffice, Thunderbird o GIMP estan disponibles i són fàcils d'instal·lar.
4. **Servidors web i bases de dades:** Ubuntu és la distribució de Linux més popular per a hosting i servidors al núvol.
5. **Educació i tasques acadèmiques:** Moltes institucions i escoles l'empren per la seva gratuïtat.
6. **Substituir Windows en ordinadors antics:** Consumeix pocs recursos comparat amb el SO de Microsoft, cosa que permet prolongar la vida útil del hardware.

Fonts: [19]

3.3 Processador i editor de text

LaTeX [27] és un sistema de composició de text orientat a la creació de documents escrits que presentin una alta qualitat tipogràfica. Però, com funciona aquesta eina i quina utilitat té?

LaTeX és un processador de text d'accés lliure i gratuït que actualment s'utilitza àmpliament en molts sectors de la recerca científica. En aquesta eina l'autor s'ha de centrar només en el contingut del que escriu, en lloc de la presentació visual. L'autor especificarà l'estrucció lògica utilitzant conceptes familiars com: capítol, secció, taula, figura, etc., deixant que el sistema LaTeX s'ocupa de la presentació visual d'aquestes estructures.

Fonts: [11]

Per què vaig decidir aprendre LaTeX?

Hi ha molts arguments del motiu pel qual vaig decidir aprendre i utilitzar LaTeX. Un dels motius principals va ser gràcies al meu tutor del treball, que ens va parlar dels molts avantatges que té, i que és una eina estàndard en l'àmbit acadèmic i científic. Aprendre-la ara ens ajudarà molt en el futur, quan haguem de fer més treballs científics. A més, gestiona de manera senzilla fórmules matemàtiques, bibliografies i referències, i vaig considerar que m'ajudaria en el meu desenvolupament acadèmic i professional.

Per tal d'editar un text en LaTeX cal un editor específic. Per al meu TR he triat l'editor de text per a LaTeX Kile.

Kile és un editor de **TEX/LaTeX integrat** que va ser creat per la comunitat de KDE. Permet crear, compilar i previsualitzar documents LaTeX en una interfície gràfica, i també té mecanismes de previsualització interactius per veure immediatament els resultats de l'edició.

Característiques:

1. Compila, converteix i mostra el document amb un sol clic.
2. Les plantilles i els assistents fan que sigui molt poca feina començar documents nous.
3. Inserció fàcil de moltes etiquetes i símbols estàndard, amb l'opció de definir (amb un nombre arbitrari) etiquetes personalitzades per l'usuari.

4. Cerca directa i inversa: podeu clicar en el visualitzador DVI i saltar a la línia LaTeX corresponent de l'editor, o saltar des de l'editor a la pàgina corresponent en el visualitzador.
5. La cerca de capítols o seccions és molt senzilla: Kile construeix una llista de tots els capítols, seccions, etc. del document. Podeu usar la llista per saltar a la secció corresponent.
6. Permet reunir documents relacionats dins d'un projecte.
7. Inserció senzilla de cites i referències quan es treballa amb projectes.
8. Sistema de construcció flexible i intel·ligent per compilar els documents LaTeX.
9. QuickPreview: vista prèvia d'una part seleccionada del document.
10. Accés fàcil a diverses fonts d'ajuda.
11. Edició avançada d'ordres.

Fonts: [25] i [26]

Per què vaig escollir Kile

Vaig escollir Kile perquè ofereix un entorn integrat que permet editar, compilar i visualitzar documents en un sol lloc. És ideal per a projectes llargs gràcies a la seva gestió de múltiples fitxers. A més, compta amb autocompletat, assistents, símbols matemàtics i cerca inversa, cosa que agilitza molt la feina acadèmica. En ser lliure, gratuït i altament configurable, resulta més complet que els editors bàsics.

Aquí finalitza la descripció de la metodologia referent als recursos informàtics triats. Degut a la limitació de pàgines d'un TR no he pogut explicar detalladament alguns dels conceptes presentats a la part d'informàtica. Podeu trobar una explicació més detallada a Ampliació metodologia.

3.4 Recursos de laboratori

En aquesta secció es descriu la metodologia seguida per dur a terme la part pràctica del treball, centrada en l'anàlisi de la qualitat de l'aigua mitjançant tires reactives. Atès que no disposem d'un laboratori completament equipat, hem creat un petit entorn experimental amb els recursos disponibles, adaptant els materials i les eines a les limitacions que teníem. Es detallen els materials utilitzats, com les diferents tires reactives per mesurar paràmetres químics i biològics, recipients per a les mostres d'aigua, pipetes, gots de mesura i altres instruments bàsics de laboratori. Aquest enfocament ens ha permès desenvolupar els experiments de manera segura i controlada, tot i les restriccions de recursos.

1. Tires reactives comprades a Amazon [1]. Les tires reactives són petits trossets de paper o plàstic impregnats amb substàncies químiques que canvien de color quan entren en contacte amb certs components presents en l'aigua. S'utilitzen per mesurar de manera ràpida i senzilla diferents paràmetres químics, com ara el pH, la duresa, els nitrats o el clor.



Figura 3.1: Tires Reactives



Figura 3.2: Mesurador de pH

2. Un mesurador digital de pH cedit pel centre. El mesurador de pH és un instrument utilitzat per determinar l'acidesa o alcalinitat d'una mostra d'aigua. Mesura la concentració d'ions d'hidrogen (H^+) i proporciona un valor numèric que indica si l'aigua és àcida ($pH < 7$), neutra ($pH = 7$) o bàsica ($pH > 7$).

3. El TetraTest de Nitrit cedit pel centre. El TetraTest de nitrits és un test químic que permet mesurar la concentració de nitrits (NO_2^-) en una mostra d'aigua. Per fer la prova, s'afegeixen unes gotes del reactiu específic a una petita mostra d'aigua, i després d'uns minuts, el color resultant s'ha de comparar amb una escala per determinar la quantitat de nitrits en mg/L.



Figura 3.3: TetraTest

4. Aigua destil·lada per netejar el mesurador. L'aigua destil·lada és aigua que s'ha purificat per evaporació i condensació, eliminant així sals, minerals i altres impureses.
5. Un ordinador amb connexió a internet per a comparar les dades obtingudes amb les de la pagina web d'Aigues de Barcelona [12]
6. Mostres d'aigua. La mostra de la figura 3.4 correspon al primer experiment, en aquest cas una mostra d'aigua de casa meva.

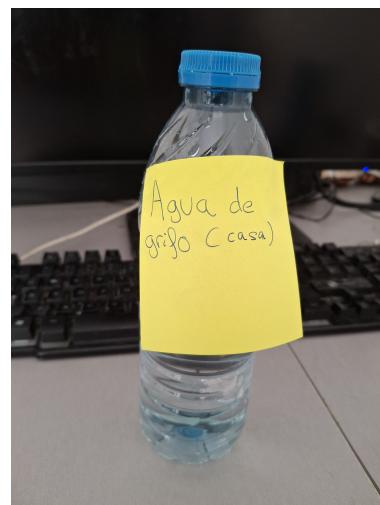


Figura 3.4: Aigua de casa meva

4. Recerca prèvia

4.1 Què és la qualitat de l'aigua?

Segons la Wikipedia [38], s'entén la qualitat de l'aigua com les ‘característiques químiques, físiques, biològiques i radiològiques de l'aigua’, en relació amb necessitats humanes.

La Fundació Aquae [3] indica que la qualitat de l'aigua és un conjunt de paràmetres, com temperatura, contingut mineral i bacteris, mesurats i comparats amb estàndards, per definir si l'aigua és apta per a fins determinats o no.

En aquest TR analitzarem diversos paràmetres per analitzar la qualitat de l'aigua que es classifiquen en tres grups:

1. **Paràmetres químics:** són els relacionats amb la composició química de l'aigua; indiquen si és potable o contaminada. En concret, estudiarem el pH, la duresa, els nitrats i els nitrits, el clor i els metalls pesants. Els paràmetres químics seran explicats a la secció 4.2.
2. **Paràmetres físics:** mesuren característiques visibles o mesurables sense canviar la composició de l'aigua. Els paràmetres físics seran explicats a la secció 4.3. En aquesta secció, estudiarem la importància de la temperatura, el color, l'olor i el sabor en la qualitat de l'aigua.
3. **Paràmetres biològics:** indiquen la presència de microorganismes que poden ser patògens. Els paràmetres biològics seran explicats a la secció 4.4. En aquesta secció, explorarem els coliformes fecals, els protozoous presents en l'aigua i els bioindicadors.

4.2 Paràmetres químics

4.2.1 Què és el pH i per què és important?

El pH [16] és una mesura que serveix per establir el nivell d'acidesa o alcalinitat d'una dissolució. La ‘p’ ve de ‘potencial’ i l’‘H’ ve de l’àtom d’hidrogen; per això el pH és el potencial de l’hidrogen.

S'expressa com el logaritme negatiu de base 10 de la concentració de ions d'hidrogen:

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$$

A la fórmula, la H^+ és la concentració de ions d'hidrogen en la solució, mesurada en mols per litre (mol/L). $-\log_{10}$ és el logaritme en base 10, i el signe negatiu s'utilitza per aconseguir que el pH sigui un número positiu, ja que el logaritme d'un número menor que 1 és sempre negatiu.

D'altra banda, el **pOH** és una mesura de concentració de ions hidroxil OH^- en una dissolució. S'expressa com el logaritme negatiu de base 10 de la concentració de ions hidroxil i, a diferència del pH, s'utilitza per mesurar el nivell d'alcalinitat d'una dissolució. Es calcula amb la fórmula:

$$\text{pOH} = -\log_{10}[\text{OH}^-]$$

Quina relació hi ha entre el nivell d'acidesa i el pH?

Les dissolucions àcides tenen una alta quantitat de ions d'hidrogen. Això significa que tenen baixos valors de pH, i per tant, el seu nivell d'acidesa és elevat. Una dissolució serà més o menys àcida depenen de la quantitat d'hidrogen que contingui.

Les dissolucions bàsiques (alcalines) tenen baixes quantitats de ions d'hidrogen. Això vol dir que tenen alts valors de pH, i per tant, el seu nivell d'acidesa és baix.

Escala del pH



Figura 4.1: Escala del pH [16]

L'escala de pH s'utilitza per mesurar el grau d'acidesa d'una dissolució. Com que el pH està relacionat amb el pOH, coneixent el grau d'acidesa d'una dissolució, també podem saber el seu grau d'alcalinitat (basicitat).

Com podem observar a la figura 4.1, el valor del pH va del 0 al 14. Les substàncies amb pH igual a 0 són més àcides; les que tenen pH = 7 són neutres; i les que tenen pH = 14 són les menys àcides, és a dir, les més bàsiques.

Font i Font d'imatge: [16]

Què ens diu el pH sobre la qualitat de l'aigua?

El pH és un paràmetre fonamental: indica el grau d'acidesa o alcalinitat. Depèn de la quantitat d'hidrogen que conté l'aigua.

Un pH d'1 ens indica que la substància és molt àcida i, per tant, perillosa. L'àcid clorhídric ($\text{HCl}(\text{aq})$) té aproximadament aquest pH. A l'altre extrem de l'escala, amb un pH aproximat de 14, tenim sosa càustica (NaOH). Gràcies a l'escala de pH (figura 4.1), podem saber si la dissolució és més àcida o bàsica. En general, un pH de 7, és a dir neutre, seria el més òptim en la majoria dels casos; és un pH similar al del nostre cos, la suor, etc.

Instrument de mesura

El **pH-metre** és un instrument utilitzat per mesurar el pH d'una dissolució. Va ser construït per **Arnold Orville Beckman** l'any 1934. Els models actuals són significativament més petits.



Figura 4.2: El pH-metre de Beckman [22]



Figura 4.3: Un pH-metre actual [23]

Font: [16]

4.2.2 Què és la duresa de l'aigua i com ens afecta?

És la concentració de compostos minerals en una certa quantitat d'aigua, especialment sals de magnesi i calci.

L'aigua ‘dura’ té una alta concentració d'aquestes sals i l'aigua ‘suau’ en té una baixa. La duresa es pot calcular amb la fórmula:

$$\text{Duresa} = \frac{\text{mg/L de Calci (Ca)} + \text{mg/L de Magnesi (Mg)}}{10} \times 4.2$$

Què ens diu l'OMS? L'Organització Mundial [31] de la Salut no considera que la duresa de l'aigua tingui un impacte negatiu en l'organisme. En una guia, afirma que els paràmetres per al consum oscil·len entre 100 i 300 mg/l de carbonat de calci, encara que el llindar de tolerància pot variar segons la normativa de cada país.

En general, la concentració desitjable es considera inferior a 100 mg/l (aigua de més qualitat), i per sobre de 500 mg/l, la qualitat ja no és acceptable. En el cas concret d'Espanya, la normativa tecnològica-sanitària estableix un valor de contingut de calci de fins a 100 mg/l amb un límit màxim de tolerància de 200 mg/l.

Font: [17]

4.2.3 Què són els nitrats i nitrits i per què ens han de preocupar?

El nitrat NO_3^- és un compost químic format bàsicament per nitrogen i oxigen. Naturalment es troba en el sòl i l'aigua, per la qual cosa és un nutrient fonamental per a molts éssers vius. Quan abonem la terra per millorar el seu rendiment, utilitzem productes de nitrogen, ja siguin fertilitzants minerals o orgànics com els fems. A aquest augment de nitrats, hem d'afegir el nitrogen contingut en l'aigua de reg (aigua utilitzada per al reg de conreus o jardins). Per tant, el nivell final d'aquest compost pot ser alt en moltes ocasions. Amb el temps, i essencialment a causa de l'acció d'alguns bacteris, aquests nitrats evolucionen en nitrits NO_2^- , ions considerats més tòxics.

El nitrit i les seves conseqüències

El nitrit s'origina en les capes profundes que es produueixen quan el sistema de reg mou el nitrat al sòl. Aquest risc és més alt quan s'utilitza el reg de superfície. La contaminació de l'aigua superficial pot tenir conseqüències tan greus com la mort de la fauna aquàtica a llarg termini.

Com hem vist, l'excés de nitrit pot causar la contaminació de l'aigua, però també dels cultius regats amb aquesta aigua contaminada. Per tant, moltes verdures es poden veure afectades. Aquestes grans quantitats de nitrils a l'aigua poden tenir un impacte negatiu en la salut de les persones. Per evitar problemes, l'OMS recomana un límit de 50 mil·ligrams de nitrat per litre [28].

4.2.4 El Clor: per què és essencial en l'aigua que bevem?

El clor és un element químic, un gas groc verdós, dens i amb una olor irritant. S'utilitza principalment per desinfectar l'aigua, eliminant així els bacteris i altres microorganismes nocius.

La seva presència es considera l'últim pas per a la potabilització de l'aigua. Desinfecta microorganismes patògens que causen malalties als humans; per aquesta raó, la seva desinfecció és fonamental en la protecció de la salut pública.

Tot i que existeixen altres mètodes de desinfecció, el clor ha estat responsable de l'augment de l'esperança de vida a l'Europa del segle XX. Anteriorment, fa cinc segles, s'utilitzaven altres formes de desinfecció més rudimentàries, com bullir l'aigua.

La revista Rain of Life [30] classifica la cloració (procés de desinfecció que utilitza clor) com “probablement el més significatiu progrés de la salut pública del mil·lenni” l'any 1997.

Per tant, el clor és un producte químic amb l'objectiu de desinfectar l'aigua. Tanmateix, l'ús d'aquest component químic **no és totalment segur**.

Com el clor de l'aigua potable afecta la salut

Segons el doctor en Medicina Josep Lluís Berdonces, basant-se en diferents estudis sobre aquest tema, la cloració de l'aigua pot tenir efectes nocius sobre la salut de les persones. Conté àcids hòmics i fúlvics, que poden tenir diverses conseqüències sobre la salut humana. Molts d'ells tenen gran afinitat per unir-se amb els greixos del cos.

Fonts: [30]

4.2.5 Presència i efectes dels metalls pesants en l'aigua potable

El terme ‘metalls pesants’ es refereix a qualsevol element químic metàl·lic amb alta densitat que pot ser tòxic o verinós a baixes concentracions.

Alguns metalls pesants, com el coure (*Cu*), el seleni (*Se*) i el zinc (*Zn*), són essencials per mantenir el metabolisme del cos humà. No obstant això, en altes quantitats poden conduir a intoxicació. Aquesta intoxicació pot ocórrer si es consumeix aigua amb algun d'aquests metalls.

Com es contamina l'aigua amb metalls pesants?

El principal motiu és la contaminació industrial. Una altra font de contaminació pot ser els abocaments d'aigües residuals. També pot ocórrer un enriquiment natural de metalls pesants quan l'aigua passa per roques que contenen aquests elements.

Alguns metalls pesants presents a l'aigua

1. ***Alumini*** Tot i que l'alumini no és un metall pesant, representa aproximadament el 8% de la superfície terrestre i és el tercer element més abundant. Està disponible per a la ingestió humana a través de l'aigua potable.
2. ***Arsènic*** L'arsènic és la causa més freqüent d'enverinament per metalls pesants aguts en adults. També es pot trobar en el subministrament d'aigua, el que porta a l'exposició mitjançant marisc, bacallà, haddock i altres aliments marins.
3. ***Coure*** El coure a altes concentracions pot ser tòxic. Els efectes per a la salut inclouen vòmits, diarrea, pèrdua de força o, en exposicions severes, cirrosi del fetge.
4. ***Ferro*** El ferro és un metall pesant comú a l'aigua. S'ha de tenir cura amb els suplements de ferro, ja que la ingestió elevada pot provocar intoxicació aguda, especialment en nens petits.
5. ***Mercuri*** El mercuri es genera naturalment en el medi ambient mitjançant la desgassificació de l'escorça terrestre i les emissions volcàniques.

Fonts: [39], [9]

4.3 Paràmetres físics

4.3.1 Temperatura de l'aigua: què ens diu sobre la vida aquàtica?

La temperatura és un paràmetre físic que permet mesurar les sensacions de calor o fred. En termes científics, és una mesura de l'energia cinètica de les molècules que el componen, és a dir, a quina velocitat es mouen o s'agiten aquestes molècules.

Quina relació té amb la qualitat de l'aigua?

Un gran exemple de la importància de la temperatura és a la vida aquàtica. Per exemple, l'aigua freda reté més oxigen; això fa que sigui vital per als peixos i altres éssers aquàtics. Quan aquesta temperatura augmenta, la quantitat d'oxigen disminueix, afectant així la supervivència d'aquests organismes.

També afecta el metabolisme dels organismes: els animals aquàtics i les plantes tenen un rang de temperatura ideal. Si aquest rang és superat per molt de temps, els organismes poden patir malalties o fins i tot aquest canvi pot portar-los a la mort.

Una dada curiosa és que, a temperatures més altes, algunes substàncies tòxiques es tornen més actives o més perilloses per als organismes.

Font: [34]

4.3.2 Color de l'aigua: què ens indica sobre la seva qualitat?

És un dels paràmetres **organolèptics** (organolèptics són les característiques d'un producte que es pot percebre amb els sentits, en aquest cas, la vista) que indica la qualitat de l'aigua per al consum humà. Està relacionat amb les substàncies dissoltes o les **partícules en suspensió** (són partícules sòlides o líquides molt petites disperses en l'aire).

La seva importància amb la qualitat de l'aigua

El color és important perquè pot alertar sobre la presència de substàncies que, en combinar-se amb desinfectants com el clor (més informació sobre el clor a l'apartat 4.2.4), poden generar **subproductes nocius**.

"Els compostos com ferro, manganès o coure, i especialment les substàncies húmiques (àcids fulvics i húmics), són els principals responsables del color. Tot i que aquestes substàncies són inofensives per si soles, poden formar compostos tòxics durant la desinfecció amb clor." [2]

Font: [2]

4.3.3 Què ens diu l'olor i el sabor de l'aigua?

L'olor i el sabor són, com el color, **paràmetres organolèptics** essencials en l'avaluació de la qualitat de l'aigua. La presència d'olors i sabors inusuals pot indicar possibles problemes de contaminació o alteració biològica, i s'hauria de considerar una alerta sanitària, fins i tot si l'aigua compleix amb els altres paràmetres químics i biològics.

4.4 Paràmetres biològics

4.4.1 Coliformes fecals: què ens diuen sobre l'aigua que bevem?

Els coliformes fecals són bacteris coliformes que estan presents a l'intestí dels animals de sang calenta (humans, gossos, vaques, ànecs, etc.). Aquests bacteris surten del cos a través dels excrements.

La raó per la qual són tan importants en l'aigua és perquè, si es detecten coliformes fecals, això indica que hi ha una contaminació amb matèria fecal i, per tant, hi ha un major risc de presència d'altres microorganismes perillosos, com virus o paràsits.

Malalties que poden causar els bacteris coliformes

1. **Gastrointestinals** que causen diarrea i vòmits.
2. **La disenteria** és una afecció inflamatòria de l'intestí, especialment del còlon, que produeix diarrea greu amb moc o sang als excrements.
3. **Virus** que poden causar hepatitis.

En conclusió, la presència de bacteris coliformes pot indicar la presència d'altres patògens més perillosos, com E. coli (és un tipus de bacteri que pot produir malalties i causar diarrea).

Font: [34]

4.4.2 Protozous a l'aigua

A l'aigua es poden trobar microorganismes com els protozous; alguns d'aquests poden ser patògens i poden causar malalties gastrointestinals si s'ingereixen. Alguns exemples d'aquests protozous són el *Giardia*, *Cryptosporidium*, *Entamoeba histolytica* i *Toxoplasma gondii*. La majoria dels protozous no representen un risc per a la salut humana, i es troben comunament en ambients aquàtics.

Font: [2]

4.4.3 Bioindicadors

Un indicador biològic o **bioindicador** de l'aigua són organismes vius que poden utilitzar-se per avaluar la qualitat de l'aigua. Aquests organismes poden proporcionar informació sobre la presència de contaminants o l'estat general de l'ecosistema aquàtic.

Font: [2]

4.5 Organització Mundial de la Salut (OMS)

És un organisme especialitzat de les Nacions Unides que es dedica a la salut a nivell mundial. El seu objectiu principal és que totes les persones assoleixin el màxim grau de salut possible. Des de 1958, l'OMS va establir uns estàndards per a la qualitat de l'**aigua potable** que serveixen com a referència **internacional** per garantir la seguretat i potabilitat de l'aigua.

Què són realment els estàndards per a l'aigua potable?

Són regulacions establertes per la legislació interna dels països per controlar el nivell de contaminants a l'aigua de consum humà en cada nació.

Els estàndards nacionals se centren en l'establiment de límits per regular els contaminants que presenten un gran risc d'affectar la salut pública, i aquests es basen en la seva factibilitat segons els recursos econòmics i ambientals disponibles per a cada país.

Per establir aquests estàndards, l'OMS va haver de realitzar una investigació i una anàlisi que els permetessin verificar si aquests estàndards complirien la seva missió principal: protegir la salut pública. L'OMS s'encarrega únicament de concentrar i establir les pautes, les quals són adaptables pels països. Els països poden escollir lliurement si establir aquestes normes

o no, ja que el país també té dret d'establir les seves pròpies normes, les quals poden ser menors, iguals i/o més estrictes que les recomanades per l'OMS.

Estàndards establerts per l'OMS

Coliformes fecals: La quantitat de coliformes fecals recomanada per les guies de l'OMS és de 0 UFC (unitats formadores de colònies) / 100 ml.

Arsènic: L'estàndard establert per l'OMS per a l'arsènic a l'aigua és de 0,01 mg/L.

Cadmi: És un dels metalls més tòxics i és biopersistent. El nivell establert per l'OMS és de 0,003 mg/L, el qual és adoptat pel 38,88 per cent dels països.

Cianur: És una substància química potencialment letal que actua com a tòxic mitjançant la inhibició de certes proteïnes. Les quantitats de cianur permeses als països presenten una alta variabilitat. El valor recomanat per l'OMS és de 0,07 mg/L.

Coure: El coure és un metall important perquè posseeix propietats que el fan extraordinàriament útil per a una diversitat d'usos. El nivell recomanat de coure per l'OMS és de 2 mg/L, el qual és adoptat pel 26,31 per cent dels països.

Crom: És un metall que es troba espontàniament a l'aigua, al sòl i a les roques. Les guies de l'OMS estableixen un nivell màxim recomanable de 0,05 mg/L.

Ferro: És un dels minerals més abundants de l'escorça terrestre. És molt freqüent en les aigües subterrànies. L'OMS recomana 0,3 mg/L.

Mercuri: Metall que ocorre de forma natural en l'ambient i que té diverses formes químiques. El nivell establert per l'OMS és de 0,001 mg/L.

Nitrat: Entre un rang de 10 mg/L i un màxim de 50 mg/L. Això permet inferir que el nivell de nitrats està ben administrat per les legislacions nacionals de cadascun dels països,

els quals es mantenen dins dels estàndards de l'OMS.

Nitrit: L'estàndard establert per l'OMS és de 3 mg/L.

Plom: És un metall tòxic i molt perillós per a la salut. El plom entra a l'aigua potable primordialment com a resultat de la corrosió o desgast dels materials que estan al sistema de subministrament d'aigua. La concentració de plom recomanada per l'OMS és de 0,01 mg/L.

Seleni: És un micromineral antioxidant que prevé les reaccions excessives d'oxidació. L'OMS va establir un nivell de 0,01 mg/L.

Alumini: La recomanació de l'OMS és permetre com a màxim 0,2 mg/L perquè no cause cap dany a la salut humana.

Amoníac: És un gas incolor reconegut per molta gent, ja que s'utilitza en sals aromàtiques. L'OMS estableix una concentració màxima de 1,5 mg/L.

Clorur: El clorur és una sal composta per dos elements, un dels quals és el clor. Totes les sals de clorur són molt solubles en aigua. La concentració màxima recomanada per l'OMS és de 250 mg/L.

Sodi: És un metall tou, reactiu i de punt de fusió baix. Com que el sodi és explosiu i tòxic a l'aigua, l'OMS recomana un nivell màxim de concentració de 200 mg/L.

Zinc: L'OMS recomana una concentració màxima de 3 mg/L.

Color: Les guies de l'OMS recomanen un límit màxim de 15 UCV (unitats de color veritable).

Font: [6]

4.5.1 Impacte global en la salut pública

És important mencionar l'impacte en la salut pública, com la mala qualitat de l'aigua afecta la salut globalment.

L'aigua segura i fàcilment accessible és important per a la salut pública, ja sigui utilitzada per beure, per a ús domèstic, per produir aliments o amb finalitats recreatives. La millora de l'oferta, el **sanejament** (el sanejament és l'eliminació segura d'aigües residuals i deixalles) i la gestió dels recursos hídrics poden impulsar el creixement econòmic dels països i contribuir en gran mesura a la reducció de la pobresa.

Font: [31]

Aigua i salut

L'aigua contaminada contribueix a la transmissió de malalties. Si no es gestiona de forma apropiada, la població queda exposada a riscos per a la salut que, en realitat, es poden prevenir.

La mala gestió de les aigües residuals provoca que milions de persones consumeixin aigua amb contaminació biològica i química, incloent-hi arsènic, fluorurs i plom.

Segons l'OMS, cada any al voltant d'un milió de persones moren a causa de malalties diarreiques relacionades amb l'aigua insalubre, el sanejament deficient o la mala higiene de mans, provocant així unes 395 000 morts de nens menors de cinc anys. Hi ha malalties, com l'esquistosomiasi, que es transmeten pel contacte amb aigua infestada.

En definitiva, garantir l'accés a aigua potable segura no només és una necessitat bàsica, sinó també una de les mesures de salut pública més eficaces per prevenir malalties i salvar vides.

Font: [15]

4.5.2 Accions de l'OMS per garantir aigua segura i salut pública

L'OMS treballa arreu del món per evitar malalties causades per l'aigua contaminada i ajudar els governs a fixar normes i objectius que protegeixin la salut. Publica recomanacions sobre la qualitat de l'aigua per beure, reutilitzar aigües residuals de forma segura i per activitats recreatives, amb un enfocament basat en prevenir riscos.

Des del 2004, les seves *Guies de qualitat de l'aigua de consum humà* expliquen com establir objectius de salut, fer plans per garantir que l'aigua sigui segura des que es capta fins que

arriba a la llar, i fer controls independents per comprovar que tot funciona bé. L'OMS dona suport als països amb materials pràctics, ajuda directa, lleis adaptades a cada lloc i reforç de la vigilància.

Des del 2014, revisa productes per tractar aigua a casa, assegurant que eliminin microbis perillosos i ajudant els països a usar-los correctament.

També treballa amb **UNICEF** (Fons de les Nacions Unides per a la Infància (*United Nations International Children's Emergency Fund*)) per millorar l'aigua, el sanejament i la higiene als centres de salut. El 2015 van crear l'eina **WASH FIT** perquè centres petits, sobretot en països amb pocs recursos, puguin revisar els seus serveis, detectar problemes i aplicar millores concretes. Un informe del 2023 dona idees pràctiques per aconseguir aigua segura, sanejament i higiene en aquests centres.

Font: [15]

4.5.3 WASH FIT

És una guia pràctica de l'Organització Mundial de la Salut (OMS) i UNICEF per millorar la qualitat de l'atenció sanitària en establiments de salut de països amb ingressos baixos i mitjans. Es centra en l'aigua, el sanejament, la higiene i la gestió de residus, utilitzant un enfocament de gestió de riscos per identificar, avaluar i abordar problemes relacionats amb aquests aspectes.

WASH FIT s'ha utilitzat en més de 40 països de tots els continents: Benín, Bhutan, Burundi, Burkina Faso, Cambodja, Txad, Comores, República Democràtica del Congo, Ecuador, Etiòpia, Filipines, Ghana, Guatemala, Guinea, Guinea Bissau, Haití, Índia, Indonèsia, l'Iraq, Kenya, Libèria, Madagascar, Malawi, Maldives, Mali, Mauritània, Moçambic, Myanmar, Nepal, Nicaragua, Níger, Perú, República Democràtica Popular Lao, Ruanda, Sierra Leone, Sudan del Sud, Tanzània, Tadjikistan, Togo, Uganda, Veneçuela, Vietnam, Zàmbia i Zimbabwe.

Fonts: [35], [36]

5. Part pràctica

L'objectiu dels experiments realitzats en aquesta part pràctica és avaluar la qualitat de l'aigua mitjançant l'ús de tires reactives. Per fer-ho, es van dur a terme tres experiments concrets, dissenyats per analitzar diversos paràmetres clau de l'aigua.

A més de presentar els resultats obtinguts, aquesta recerca també proporciona una sèrie de recomanacions sobre com utilitzar les tires de manera correcta, amb l'objectiu d'obtenir mesures més fiables i precises.

5.1 Primer experiment

Tal i com es fa qualsevol experiment científic, la primera part d'un experiment consisteix en el disseny i l'obtenció del material. El material necessari per elaborar l'experiment es troba al capítol 3 Metodologia, a la secció 3.4.

L'objectiu principal de l'experiment és determinar la concentració de diferents compostos en una mostra d'aigua concreta i comparar-ne els resultats amb les dades oficials disponibles. Abans de fer la comparació, primer necessitava extreure les meves pròpies dades. Gràcies al material del que disposo, puc obtenir resultats per més d'una via i comparar entre si les dades obtingudes i les oficials. La raó de fer-ho de diverses maneres és avaluar quina és la més eficient i, si és possible, posar a prova la fiabilitat de les dades oficials mitjançant l'experimentació directa.

Tan bon punt em van arribar les tires, vaig iniciar els experiments. La primera prova va consistir a recollir aigua de l'aixeta de casa meva. Vaig utilitzar una ampolla buida per emmagatzemar-la. El pas següent era entendre el funcionament de les tires que havia comprat. L'únic inconvenient era que el pH i el nitrit es repetia en els dos metodes, per això vaig decidir mesurar-lo per les tres vies: amb les tires reactives, amb el mesurador digital i amb el TetraTest de nitrit.

Abans de començar l'experiment, vaig haver d'investigar com utilitzar correctament les tires. Per fer-ho, vaig documentar-me alguns vídeos tutorials [20] i consultar altres fonts [33]. El procediment correcte és submergir la tira durant un segon i retirar-la immediatament. En aquest punt va aparèixer un dubte: en alguns vídeos deixaven assecar la tira al sol i en altres no. Per tal de determinar si aquest fet era rellevant per als resultats, vaig decidir

provar tots dos mètodes i comparar els resultats. Aquesta decisió va prendre més sentit quan vaig descobrir que a les instruccions l'envàs exterior (en anglès), s'indicava que les tires no havien de tenir contacte amb la llum solar directa, però, sorprendentment, a l'interior —també en anglès— les instruccions deien el contrari: que s'havien d'assecar al sol. Aquesta incoherència em va deixar clar que calia fer l'experiment de les dues maneres.

Un cop tot es material ja estava disponible, va començar l'experiment. Tots els passos realitzats i els resultats obtinguts han estat anotats en una llibreta dedicada especialment per a aquest projecte.

Abans de començar oficialment amb les mesures, organitzo totes les mostres. L'aigua de l'aixeta la guardo en una ampolla de plàstic degudament etiquetada per no confondre-la amb altres mostres. També col·loco etiquetes a gairebé tot: les tires, segons si s'assecaran amb o sense llum solar i els gots amb les diferents aigües.

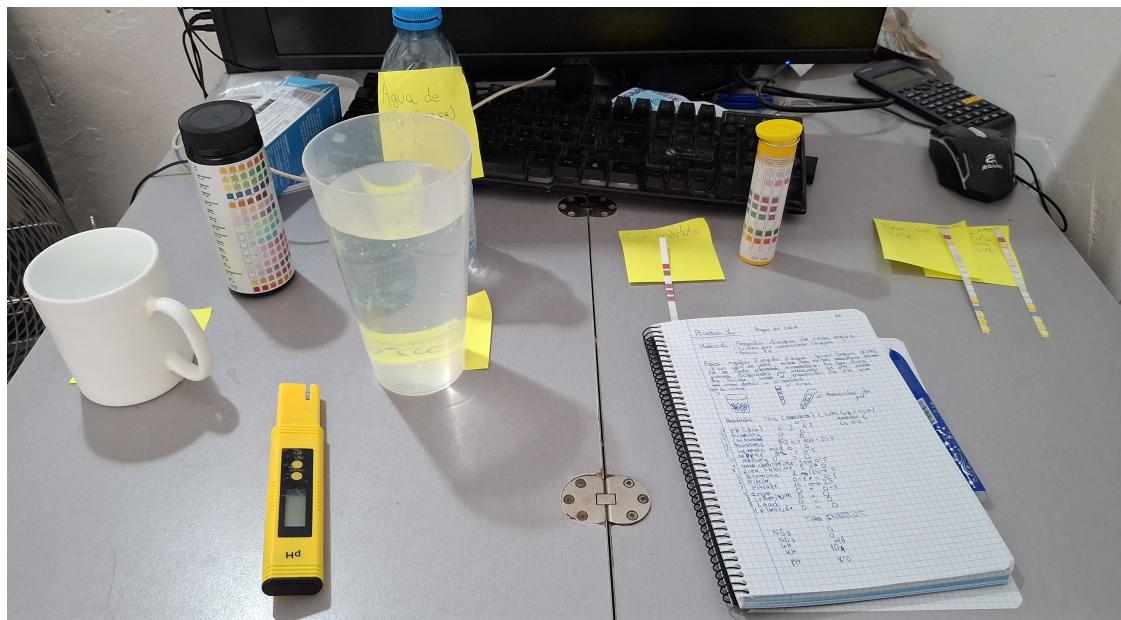


Figura 5.1: Pre-experiment

Els passos que vaig seguir van ser els següents: en un got hi vaig posar l'aigua de l'aixeta i en un altre, l'aigua destil·lada. Vaig començar utilitzant les tires d'Amazon, però em vaig adonar que els components químics estaven escrits en anglès, així que vaig haver-los de traduir per saber què estava mesurant i poder anotar-ho a la llibreta.

Després d'assecar la tira durant 60 segons, ja es podien observar els colors que indicaven la presència i concentració de cada compost. Segons la intensitat del color, es podia determinar el valor aproximat. Ara bé, aquest sistema presentava una dificultat: els colors no sempre

eren clars ni fàcils de comparar amb la guia de referència, cosa que feia que els resultats fossin sempre aproximats i no totalment precisos.

Primer vaig fer la prova amb les tires exposades a la llum solar. A continuació, vaig repetir l'experiment amb una tira nova, però aquesta vegada sense exposició solar.

Tal com es pot veure a la taula 5.1, en general no hi ha diferències molt grans entre fer la prova amb o sense exposició solar. Tot i així, hi ha alguns casos destacats. Per exemple, la duresa presenta un salt important: 50 mg/L amb llum solar, i 175 mg/L sense. També els nitrats mostren una diferència significativa: 10 mg/L amb sol i 25 mg/L sense. Altres compostos com el ferro o el clor total mostren variacions més lleus, però també notables. En canvi, el clor lliure apareix amb 1 mg/L en la tira exposada al sol, i 0 mg/L en la que no hi ha estat.

Paràmetre	Resultats amb llum solar en mg/L	Resultats sense llum solar en mg/L
pH	6.2	6.2
Alcalinitat total(CaCO ₃)	0	0
Carbonat	0	0
Duresa (GH)	50	175
Àcid cianúric	0	0
Coure	0.2	0.1
Mercuri	0	0
Clor total	1	0.5
Clor lliure	1	0
Brom	1	0
Nitrit	0.5	0.5
Nitrat (NO ₃ ⁻)	10	25
Ferro	0	0.5
Crom (VI)	0	0
Plom	0	0
Fluorur (F ⁻)	0	0

Taula 5.1: Resultats del primer experiment

Un cas especialment curiós ha estat el del pH, ja que els dos mètodes emprats han coincidit en un valor de 6.2 mg/L. Inicialment pensava que aquest seria un dels valors més variables. Una possible explicació d'aquesta estabilitat és que el pH de l'aigua no es veu afectat significativament per l'exposició solar. El pH depèn principalment de la concentració d'ions H^+ i OH^- , i aquestes concentracions romanen relativament estables si l'aigua no conté compostos fotosensibles. Com que l'aigua utilitzada no presenta una alcalinitat ni una presència de compostos reactius significativa, la llum solar no n'ha alterat el pH. Això suggereix que les condicions ambientals d'aquest experiment no afecten aquest paràmetre en concret.

Després de fer la prova amb les tires reactives, procedeixo a repetir-la amb el mesurador digital de pH. El resultat que obtinc és notablement diferent del que indiquen les tires: el valor mesurat és de 7.21 mg/L. Aquesta diferència posa en evidència la limitació de les tires reactives, que només permeten una estimació aproximada, mentre que el mesurador proporciona una dada precisa.

Les dades reals de l'aigua les vaig consultar a la web d'Aigües de Barcelona [12]. Un cop feta la comparació, aquests són els resultats obtinguts amb les dues tires, tant amb exposició solar 5.3 com sense 5.4. Com es pot veure en les dues comparacions, les tires reactives han fallat en gairebé tots els casos pel que fa als valors obtinguts. Tot i això, la tira sense exposició solar ha mostrat resultats més propers als valors originals. Per tant, segons aquesta comparació, puc concloure que és millor no exposar la tira a la llum solar. A més, els valors que ens aporten són diferents, per tant, ens hem de limitar només als que coincideixen en ambdós casos.

També cal aclarir que hi ha determinats paràmetres que no es tenen en compte en l'aigua potable, i això fa que sigui impossible comparar-los. El que més m'ha sorprès, però, ha estat la comparació següent:

Paràmetre	Valor experimental	Valor oficial
pH	7.21	7,2

Taula 5.2: Comparació entre els valors experimentals i els oficials de l'aigua de l'aixeta (amb el mesurador de pH)

Paràmetre	Valor experimental	Valor oficial	Unitats	Comentari
pH	6,2	7.2-8.3	unitats pH	Inferior al valor oficial; aigua més àcida.
Alcalinitat total	0	158-210	mg CaCO ₃ /L	Valor experimental probablement incorrecte.
Carbonats	0	—	mg /L	Informació no proporcionada.
Duresa total	50	222-309	mg GH /L	Molt inferior al valor oficial.
Nitrat	10	5.2-11.1	mg NO ₃ ⁻ /L	Lleugerament superior; dins de marges acceptables.
Nitrit	0.5	—	mg /L	Informació no proporcionada.
Clor total	1	—	mg/L	Valor comú en aigües potables.
Clor lliure	1	—	mg/L	Idèntic al valor anterior.
Ferro	0	—	mg/L	No detectat; valor desitjable.
Fluorur	0	<0,2	mg F ⁻ /L	Coincideix amb el límit inferior.
Crom (VI)	0	—	mg/L	No present, tal com és recomanable.
Plom	0	—	mg/L	Absent, com hauria de ser.
Àcid cianúric	0	—	mg/L	No rellevant en aigua potable.
Coure	0,2	—	mg/L	Informació no detectada en aquest cas.
Brom	1	—	mg/L	No habitual en aigua potable.
Mercuri	0	—	mg/L	No present; correcte.

Taula 5.3: Comparació entre els valors experimentals i els oficial (amb exposició solar)

Paràmetre	Valor experimental	Valor oficial	Unitats	Comentari
pH	6,2	7.2-8.3	unitats pH	Inferior al valor oficial; aigua més àcida.
Alcalinitat total	0	158-210	mg CaCO ₃ /L	Valor experimental probablement incorrecte.
Carbonats	0	—	mg /L	Informació no proporcionada.
Duresa total	175	222-309	mg GH/L	Millor aproximació al valor real que abans.
Nitrat	25	5.2-11.1	mg NO ₃ ⁻ /L	Molt lluny al valor oficial.
Nitrit	0.5	—	mg /L	Informació no proporcionada.
Clor total	0,5	—	mg/L	Ligerament inferior a la prova amb sol.
Clor lliure	0	—	mg/L	Idèntic al total; valor típic.
Ferro	0.5	—	mg/L	Ligerament superior al valor amb sol; no hauria de tenir.
Fluorur	0	<0,2	mg F ⁻ /L	Coincideix amb el valor esperat.
Crom (VI)	0	—	mg/L	No present.
Plom	0	—	mg/L	No detectat; adequat.
Àcid cianúric	0	—	mg/L	No rellevant; igual que en la prova anterior.
Coure	0,1	—	mg/L	Informació no detectada en aquest cas.
Brom	0	—	mg/L	No detectat en aquest cas.
Mercuri	0	—	mg/L	No detectat; correcte.

Taula 5.4: Comparació entre els valors experimentals i els oficials (sense exposició solar)

Tal com es pot apreciar a la taula 5.2, el nivell de pH coincideix amb el valor oficial. Aquest resultat reforçar l'ús del mesurador digital, ja que, com he comentat anteriorment, és molt més fiable que qualsevol tira reactiva, i a més, coincideix amb els valors oficials.

Abans de finalitzar l'experiment, només em faltava una cosa: verificar el nivell de nitrit amb el TetraTest. Tot i que no vaig trobar dades oficials de nitrit, aquesta és una bona manera de comprovar si realment el nivell és de 0 mg/L o si és un error visual meu, o simplement els colors no es poden apreciar amb claredat. Per això, vaig procedir a fer l'última prova per acabar l'experiment. Els passos eren senzills: afegir 5 mL de la mostra d'aigua i posar dues gotes del TetraTest de nitrit, esperar que agafés color i comparar les dades.



Figura 5.2: TetraTest a la mostra numero 1

Com es pot observar a la figura 5.2, segons el resultat del TetraTest, la concentració de nitrits és de 0,1 mg/L. Aquest resultat reforça, una vegada més, la meva hipòtesi que les tires reactives no són del tot fiables i que no es pot confiar plenament en els valors que indiquen.

Aquí finalitza el meu primer experiment. Els resultat han aportat més preguntes que respostes. A més a més dels resultats, espero que en els propers resultats tot sigui més fàcil des del punt de vista metodològic, és a dir, que el procediment ja es coneugut i, per tant serà més ràpid i eficient. També espero que els resultats obtinguts amb les tires convergeixin als valors oficials. En cas contrari, caldrà estudiar quins són les possibles causes d'aquestes diferències.

5.2 Segon experiment

Després d'obtenir alguns resultats sorprenents en el primer experiment, procedeixo fer un segon intent per confirmar si les diferències observades es tornen a repetir. En aquest cas, faig servir una nova mostra i mantinc les mateixes condicions que en l'experiment anterior per obtenir resultats fiables.

El material i el procediment que faig servir són els mateixos que en l'experiment anterior. L'únic canvi és la mostra: aquesta vegada no és d'aigua de casa meva, sinó que la vaig recollir en un bar d'un amic. Vaig escollir aquest lloc, i no casa seva o qualsevol altre, perquè volia fer una distinció clara entre l'aigua d'ús domèstic i la d'un establiment públic.

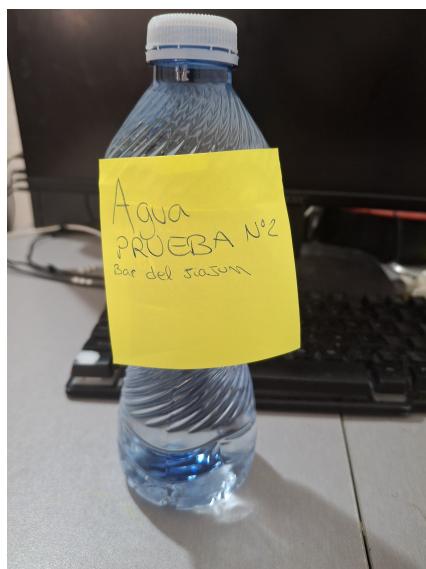


Figura 5.3: Aigua del bar

Aquesta vegada volia extreure les dades d'una manera diferent. Tot i que la diferència en la metodologia no era gaire gran, volia experimentar amb una nova condició per veure si així els resultats de les tires reactives s'aproximaven més als valors originals.

L'única diferència respecte al primer experiment és que, en aquest cas, la tira sense exposició solar tampoc rebrà cap mena de llum: faré l'experiment completament a les fosques. En canvi, la tira amb exposició solar estarà sotmesa a una gran quantitat de llum, utilitzant no només la llum del sol, sinó també la de diverses llanternes, amb l'objectiu d'aconseguir una diferència notable entre les dues tires reactives.

Després de fer totes les proves per extreure les dades, els resultats van ser els següents: Es mostren els resultats obtinguts a la taula 5.5.

Paràmetre	Resultats sense llum en mg/L	Resultats amb llum en mg/L
pH	7.8	7.6
Alcalinitat total(CaCO_3)	40	120
Carbonat	0	80
Duresa (GH)	200	425
Àcid cianúric	0	0
Coure	0.2	0.2
Mercuri	0	0
Clor total	0	0
Clor lliure	0	0
Brom	0	0
Nitrit	0	0
Nitrat (NO_3^-)	0	0
Ferro	0	0
Crom (VI)	0	0
Plom	0	0
Fluorur (F^-)	0	0

Taula 5.5: Resultats del segon experiment

Com podem observar a la taula 5.5, la majoria de paràmetres no es detecten en aquesta mostra d'aigua. Tot i això, els que sí que hi apareixen presenten una gran diferència entre les dues tires: la que ha estat exposada a la llum i la que no.

Els valors que indiquen són força diferents (excepte en els casos dels paràmetres que no són presents a l'aigua). Tots, excepte del pH i el coure, mostren valors inferiors a la tira que no ha estat exposada a cap llum. Pel que fa al pH, sí que hi ha una petita reducció en la mostra amb exposició lumínica.

Aquestes diferències en els resultats feia especialment interessant la comparativa amb les dades oficials, ja que així podria determinar quin dels dos mètodes és el més adequat. Tal com vam veure en l'experiment anterior, les tires reactives no indiquen amb precisió la concentració de cada paràmetre, per això trobar mètodes alternatius més precisos és una nova via interessant per incorporar en el procés d'experimentació.

Després de consultar les dades oficials al portal d'Aigües de Barcelona [12], vaig poder extreure les conclusions següents:

Paràmetre	Valor experimental	Valor oficial	Unitats	Comentari
pH	7.8	7,3-8.3	unitats pH	Dins dels valors minim-màxim..
Alcalinitat total	40	65.3-217	mg CaCO ₃ /L	Valor experimental probablement incorrecte.
Carbonats	0	—	mg /L	Informació no proporcionada.
Duresa total	200	75.3-424	mg GH/L	Millor aproximació al valor real que l'anterior experiment; dins dels valors minim-màxim.
Nitrat	0	<1-10.2	mg NO ₃ ⁻ /L	Dins dels valors oficial.
Nitrit	0	—	mg /L	Informació no proporcionada.
Clor total	0	—	mg/L	Valor típic
Clor lliure	0	—	mg/L	Idèntic al total; valor típic.
Ferro	0	—	mg/L	Adequat; no hauria de tenir.
Fluorur	0	<0,2	mg F ⁻ /L	Coincideix amb el valor esperat.
Crom (VI)	0	—	mg/L	No present.
Plom	0	—	mg/L	No detectat; adequat.
Àcid cianúric	0	—	mg/L	No rellevant; igual que en l'experiment anterior.
Coure	0.2	—	mg/L	Informació no detectada en aquest cas.
Brom	0	—	mg/L	No detectat en aquest cas.
Mercuri	0	—	mg/L	No detectat; correcte.

Taula 5.6: Comparació entre els valors experimentals i els oficials de l'aigua del bar (sense exposició a cap font de llum)

Paràmetre	Valor experimental	Valor oficial	Unitats	Comentari
pH	7.6	7,3-8.3	unitats pH	Dins dels valors minim-màxim; com l'anterior cas.
Alcalinitat total	120	65.3-217	mg CaCO ₃ /L	Valor experimental dins dels límits.
Carbonats	80	—	mg /L	Informació no proporcionada.
Duresa total	425	75.3-424	mg GH/L	Millor aproximació al valor real que abans, però no està dins dels valors minim-màxim; pot ser un petit error de extracció de dades.
Nitrat	0	<1-10.2	mg NO ₃ ⁻ /L	Dins dels valors oficial; com l'anterior cas.
Nitrit	0	—	mg /L	Informació no proporcionada.
Clor total	0	—	mg/L	Valor típic
Clor lliure	0	—	mg/L	Idèntic al total; valor típic.
Ferro	0	—	mg/L	Adequat; no hauria de tenir.
Fluorur	0	<0,2	mg F ⁻ /L	Coincideix amb el valor esperat; com l'anterior cas.
Crom (VI)	0	—	mg/L	No present.
Plom	0	—	mg/L	No detectat; adequat.
Àcid cianúric	0	—	mg/L	No rellevant; igual que en l'experiment anterior.
Coure	0.2	—	mg/L	Informació no detectada en aquest cas.
Brom	0	—	mg/L	No detectat en aquest cas.
Mercuri	0	—	mg/L	No detectat; correcte.

Taula 5.7: Comparació entre els valors experimentals i els oficials de l'aigua del bar (amb exposició a gran quantitat de llum)

Tal com podeu veure a les taules 5.6 i 5.7, la mesura del pH, que en l'experiment anterior no havia coincidit amb cap de les dues tires, en aquest cas es troba dins dels valors esperats. I no només això, sinó que també altres valors, com la duresa total, es van situar dins dels límits en totes dues tires. Per tant, segons aquesta comparació, puc concloure que és millor exposar la tira a la llum.

És cert que molts paràmetres no els puc comparar per no tenir dades oficials, però, gràcies als que sí que disposo, puc inferir quins dels valors restants podrien ser fiables. Aquesta comparació ajuda a fer-se una idea general de la coherència dels resultats.

Un cop obtingudes les dades de les tires, em faltava verificar el pH amb el mesurador específic i utilitzar el TetraTest de nitrit per confirmar el valor de 0 mg/L indicat a les tires reactives. El valor obtingut amb el mesurador de pH va ser de 7,3 mg/L. Això confirma que la mostra es troba dins dels límits recomanats segons les dades oficials.

Finalment, el TetraTest va donar un valor de 0,1 mg/L. Aquest resultat contradiu lleugerament les tires, que mostraven 0 mg/L. Tot i així, cal tenir en compte que una diferència tan petita pot no ser apreciable visualment en una tira reactiva, especialment si el canvi de color és poc tan apreciable. Per tant, podria tractar-se simplement d'un error causat per la incapacitat de distingir dos colors molts semblants a ull nu.

Com a conclusió, després de comparar una mostra d'aigua d'un domicili amb una d'un establiment públic, puc afirmar que la concentració de substàncies és força diferent en els dos casos. El tractament de l'aigua pot influir notablement en els valors detectats. A més, aquest segon experiment m'ha servit per reforçar la importància de fer més d'una prova i contrastar resultats mitjançant diferents mètodes.

Amb això, finalitzo el segon experiment. Tal com havia previst, ha estat més ràpid que el primer.

5.3 Tercer experiment

Finalment, el tercer i darrer experiment d'aquest treball de recerca vol ampliar l'estudi sobre l'efectivitat de les tires reactives dependent d'un nou paràmetre: el temps. A diferència del cas anterior, ara la llum no serà el factor a estudiar, ara valorarem si el temps en mesurar la reacció afecta als resultats.

En el primer cas, no deixaré gaire temps a la tira per reaccionar: només 5 segons. Tal com he pogut observar en les proves anteriors, a partir de 2 segons la tira ja comença a mostrar els seus colors, per això vull analitzar què passa si gairebé no li dono temps. Òbviament, sé que el temps que trigo a mirar i comparar els colors també influeix, així que, a més de fer-ho tan ràpid com pugui un cop passats els 5 segons, faré una foto de la tira als cinc segons per poder corroborar els resultats.

En canvi, en el segon cas, deixaré que la tira s'assequi durant 2 minuts, és a dir, 120 segons, el doble del temps recomanat habitualment.

Els passos a seguir seran exactament els mateixos que en els experiments anteriors. L'única diferència serà la mostra d'aigua. Aquesta vegada vaig anar a casa d'un amic per recollir una mostra de l'aigua de casa seva, que vaig emmagatzemar en una ampolla de plàstic degudament etiquetada.

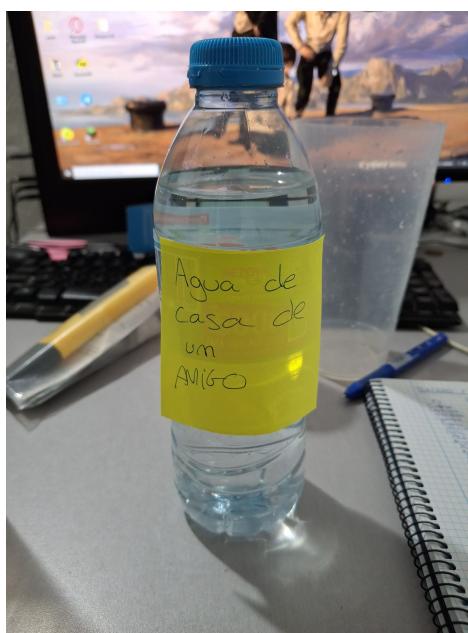


Figura 5.4: Mostra número 3

Els resultats obtinguts es mostren a la taula 5.8.

Paràmetre	Tira (5 segons)	Tira (120 segons)	Unitats	Comentari
pH	8.4	8.4	unitats pH	No hi ha diferència en cap cas.
Alcalinitat total	180	240	mg CaCO ₃ /L	Diferència bastant elevada.
Carbonats	180	240	mg/L	Diferència bastant elevada.
Duresa total	335	425	mg GH/L	Diferència bastant elevada. .
Nitrat	10	25	mg NO ₃ ⁻ /L	Diferència bastant elevada.
Nitrit	0	0	mg /L	Cap diferència.
Clor total	0	0	mg/L	Cap diferència.
Clor lliure	0	0	mg/L	Cap diferència.
Ferro	0	0	mg/L	Cap diferència.
Fluorur	0	0	mg F ⁻ /L	Cap diferència.
Crom (VI)	0	0	mg/L	Cap diferència.
Plom	0	0	mg/L	Cap diferència.
Àcid cianúric	0	0	mg/L	Cap diferència.
Coure	0.2	0.5	mg/L	Diferència de 0,3 mg/L.
Brom	0	0	mg/L	Cap diferència.
Mercuri	0	0	mg/L	Cap diferència..

Taula 5.8: Comparació entre els valors experimentals al tercer experiment

Un cop finalitzada l'extracció de dades amb les tires reactives, el següent pas va ser comparar els resultats obtinguts amb els valors oficials disponibles tal i com mostren les taules 5.9 i 5.10

Paràmetre	Valor experimental	Valor oficial	Unitats	Comentari
pH	8.4	7,3-8.3	unitats pH	Supera per poc al valor màxim.
Alcalinitat total	180	65.3-217	mg CaCO ₃ /L	Valor experimental dins dels límits.
Carbonats	180	—	mg /L	Informació no proporcionada.
Duresa total	335	75.3-424	mg GH/L	Valor experimental dins dels límits.
Nitrat	10	<1-10.2	mg NO ₃ ⁻ /L	Valor experimental dins dels límits.
Nitrit	0	—	mg /L	Informació no proporcionada.
Clor total	0	—	mg/L	Valor típic
Clor lliure	0	—	mg/L	Idèntic al total; valor típic.
Ferro	0	—	mg/L	Adequat; no hauria de tenir.
Fluorur	0	<0,2	mg F ⁻ /L	Coincideix amb el valor esperat.
Crom (VI)	0	—	mg/L	No present.
Plom	0	—	mg/L	No detectat; adequat.
Àcid cianúric	0	—	mg/L	No rellevant; igual que en els experiments anteriors.
Coure	0.2	—	mg/L	Informació no detectada en aquest cas.
Brom	0	—	mg/L	No detectat en aquest cas.
Mercuri	0	—	mg/L	No detectat; correcte.

Taula 5.9: Comparació entre els valors experimentals i els oficials, tira amb durada 5 segons

Paràmetre	Valor experimental	Valor oficial	Unitats	Comentari
pH	8.4	7,3-8.3	unitats pH	Supera per poc al valor màxim; com abans.
Alcalinitat total	240	65.3-217	mg CaCO ₃ /L	Valor experimental lluny dels limits.
Carbonats	240	—	mg /L	Informació no proporcionada.
Duresa total	425	75.3-424	mg GH/L	Valor experimental fora dels limits per 1 mg/L; pot ser un error visual de part meva.
Nitrat	25	<1-10.2	mg NO ₃ ⁻ /L	Valor experimental lluny dels limits.
Nitrit	0	—	mg /L	Informació no proporcionada.
Clor total	0	—	mg/L	Valor típic
Clor lliure	0	—	mg/L	Idèntic al total; valor típic.
Ferro	0	—	mg/L	Adequat; no hauria de tenir.
Fluorur	0	<0,2	mg F ⁻ /L	Coincideix amb el valor esperat.
Crom (VI)	0	—	mg/L	No present.
Plom	0	—	mg/L	No detectat; adequat.
Àcid cianúric	0	—	mg/L	No rellevant; igual que en els experiments anteriors.
Coure	0.5	—	mg/L	Informació no detectada en aquest cas.
Brom	0	—	mg/L	No detectat en aquest cas.
Mercuri	0	—	mg/L	No detectat; correcte.

Taula 5.10: Comparació entre els valors experimentals i els oficials, tira amb durada 120 segons

Amb aquests resultats i la comparativa realitzada, he arribat a la conclusió que la tira amb una durada de només 5 segons proporciona valors més propers als valors oficials. Per tant, aquesta opció sembla ser més fiable que deixar assecar la tira durant 120 segons.

Un cop arribat aquesta conclusió sobre les tires reactives, només em quedava completar el procés amb dues últimes mesures: determinar el pH amb el mesurador de pH i verificar el valor del nitrit amb el TetraTest de nitrit.

Paràmetre/instrument	Valor en mg/L
Mesurador de pH	7.4
TetraTest de nitrit	0.1

Taula 5.11: Valors experimentals amb mesurador de pH i TetraTest de nitrit

Com es pot observar a la taula 5.11, el valor del pH mesurat amb el mesurador es troba dins dels límits establerts, a diferència del que indiquen les tires reactives. Pel que fa al TetraTest de nitrit, com en els casos anteriors, el resultat ha estat de 0,1 mg/L.

La meva hipòtesi és que el valor real del nitrit és, efectivament, 0,1 mg/L, però que aquesta petita variació no és suficient per provocar un canvi en el color de les tires reactives, i per això aquestes mostren un valor de 0 mg/L.

Aquí finalitza la meva part pràctica en la que no només he pogut reproduir els resultats que ofereix Aigües de Barcelona, sinó que he pogut estudiar un parell de paràmetres que poden millorar la fiabilitat de les tires reactives.

5.4 Resultats de la part pràctica

Després de realitzar els tres experiments amb diferents mostres d'aigua i condicions de mesura, puc afirmar que l'ús de tires reactives presenta certes limitacions, però també ofereix informació rellevant quan es fa servir correctament.

En el primer experiment vaig comprovar que les tires, tot i donar una idea aproximada dels valors, no sempre coincidien amb les dades oficials. Això em va portar a pensar que factors externs podien influir en els resultats. En el segon experiment, introduint la variable de la llum, vaig poder veure que l'exposició a la llum millorava notablement la coincidència amb els valors oficials, especialment pel que fa a la duresa i l'alcalinitat. Finalment, en el tercer experiment vaig analitzar l'efecte del temps d'espera, i vaig observar que un temps massa

llarg provocava desviacions considerables en diversos paràmetres, mentre que una lectura ràpida (als 5 segons) era més fidel a les dades reals.

Amb tot això, puc concloure que les tires reactives poden ser una eina útil per a una primera aproximació de la qualitat de l'aigua, però cal tenir en compte certes condicions per tal que els resultats siguin més fiables. A més, comparar els valors amb altres mètodes (mesurador de pH i TetraTest) m'ha permès validar que algunes diferències no són degudes a errors de la mostra, sinó a la pròpia limitació visual i tècnica de les tires.

A partir d'aquests experiments, he elaborat una guia pràctica perquè altres usuaris puguin utilitzar les tires d'una manera més correcta i treure'n conclusions més ajustades a la realitat.

5.4.1 Guia per utilitzar tires reactives

Com a usuari de les tires he trobat informacions contradictòries sobre el seu ús, i per descomptat, cap d'elles en català. Per tant, a continuació trobareu un manual per a fer servir aquest material i obtenir resultats tan fiables com sigui possible.

1. Preparació de la mostra

Recollir l'aigua en un recipient net i preferiblement de plàstic o vidre. Evitar l'exposició a contaminants externs abans de fer la prova.

2. Temps d'espera

El temps recomanat pels fabricants sol ser d'uns 60 segons, però segons les meves proves, una lectura ràpida als **5-10 segons** pot oferir valors més propers als reals en alguns paràmetres sensibles (com nitrats i alcalinitat). Evitar temps massa llargs (més de 120 segons), ja que els resultats tendeixen a desviar-se.

3. Condicions de llum

La llum és un factor important. És recomanable fer la lectura en un lloc ben il·luminat, i fins i tot reforçar amb llum artificial si cal. Evitar llegir les tires en condicions de foscor o amb poca llum, ja que això pot fer perdre matisos en els colors.

4. Comparació de colors

Comparar immediatament els colors amb l'escala de la tira, però si hi ha dubtes, fer una fotografia de la tira per revisar-la amb més calma. Cal tenir en compte que algunes diferències mínimes poden ser difícils de distingir a simple vista.

5. Contrast amb altres mètodes

Sempre que sigui possible, contrastar els resultats de les tires amb altres instruments (mesuradors de pH, TetraTest, etc.). Això ajuda a validar la fiabilitat i a descartar possibles errors visuals.

6. Interpretació dels resultats

Les tires reactives són útils com a **indicador general**, però no substitueixen les dades oficials ni els mètodes de laboratori. S'han d'interpretar com una aproximació, especialment en els paràmetres que no mostren una correspondència directa amb les dades oficials.

Per tal de validar aquesta guia i comprovar que les recomanacions proposades realment funcionen, he dut a terme un total de cinc experiments amb diferents mostres d'aigua i condicions diverses. Els resultats obtinguts en aquests experiments, que es poden consultar detalladament a l'*Apèndix B*. Així doncs, la guia no només té una base teòrica, sinó també experimental, i ofereix un recurs pràctic per a futurs usuaris.

6. Conclusions

Aquest treball en l'àmbit de les ciències experimentals m'ha permès extreure diverses conclusions. No només he obtingut conclusions sobre els resultats dels experiments, sinó que també he tret conclusions de la part de la metodologia i de la recerca prèvia.

6.1 Conclusions de la metodologia

Durant aquesta etapa, hem après a buscar i seleccionar informació científica de manera crítica, així com a organitzar-la de forma estructurada. L'ús d'eines com Linux, GitHub i LaTeX ens ha permès treballar en un entorn col·laboratiu eficient, i la supervisió del tutor ha estat clau per orientar la recerca i assegurar la qualitat del contingut. En resum, la metodologia no només ha aportat coneixements tècnics, sinó que també ha reforçat les habilitats de treball en equip, planificació i organització.

6.2 Conclusions de la recerca prèvia

La recerca prèvia ha estat fonamental per establir les bases teòriques del treball. M'ha permès comprendre millor els conceptes clau relacionats amb la qualitat de l'aigua i identificar els paràmetres més rellevants per a la seva mesura. Aquest procés ha facilitat la presa de decisions en la fase pràctica, assegurant que els experiments estiguessin ben fonamentats i alineats amb els objectius del treball.

6.3 Conclusions de la part pràctica

La part pràctica ha permès aplicar els coneixements teòrics adquirits i desenvolupar competències experimentals. Hem pogut mesurar la qualitat de l'aigua amb tires reactives, interpretar les dades i extreure conclusions fiables. Els assajos diferenciats ens han ajudat a comprovar la variabilitat dels resultats i a formular recomanacions per obtenir mesures més consistentes.

Aquest capítol ha evidenciat la importància de treballar en un entorn col·laboratiu, on la coordinació amb el tutor ha facilitat la resolució de dubtes i la correcta execució dels

experiments. A més, l'experiència pràctica ha reforçat la capacitat de documentar processos, organitzar dades i comunicar els resultats de manera clara.

En resum, la part pràctica ha completat el procés d'aprenentatge: ha combinat rigor científic, aplicació de coneixements i desenvolupament d'habilitats personals i tècniques. Aquest aprenentatge ha preparat el camí per a futurs projectes científics, aportant experiència tant en recerca com en treball en equip, planificació i gestió de recursos limitats.

Els resultats de la part pràctica es podran observar millor a la secció de Resultats de la part pràctica, en el capítol 5 Part pràctica

6.4 Conclusió final

Amb aquest capítol dono per finalitzat el meu TR. Al llarg del projecte he combinat recerca teòrica, experiments pràctics i l'ús d'eines professionals per aprofundir en la qualitat de l'aigua, tot treballant amb la supervisió i l'ajuda del meu tutor.

Aquest procés m'ha permès desenvolupar habilitats de recerca, organització de dades, interpretació de resultats i comunicació científica, alhora que he après a gestionar recursos limitats i aplicar mètodes experimentals de manera rigorosa.

A. Ampliació metodologia

En aquest annex s’aprofundeix en alguns dels aspectes teòrics i tècnics en la part informàtica de la metodologia. Tot i que en el capítol 3: Metodologia s’ha presentat una visió general, a continuació presentarem de manera més detallada les eines, sistemes i tecnologies utilitzades, amb l’objectiu de documentar de manera completa l’entorn de treball i les decisions tècniques adoptades.

A.1 Control de versions i treball col·laboratiu amb Git i GitHub

El sistema de control de versions Git [10] és una eina essencial en la recerca científica moderna, ja que permet mantenir un registre complet de l’evolució d’un projecte. En un entorn col·laboratiu, com el dels grups de recerca, Git garanteix que tots els participants puguin treballar de manera paral·lela sense perdre informació ni sobrescriure canvis.

A.1.1 Principis bàsics de Git

Git es basa en la idea de tenir un *repositori* que conté tot l’historial del projecte. Cada vegada que es realitza un canvi significatiu, l’usuari pot fer un *commit*, que equival a una instantània del projecte en aquell moment. Aquestes instantànies es poden recuperar, fusionar o revertir en qualsevol moment.

Els elements principals d’un flux de treball amb Git són:

- **Repositori local:** ubicat a l’ordinador de cada usuari, on es fan els canvis inicialment.
- **Repositori remot:** allotjat en un servidor (en aquest cas GitHub), on es centralitzen tots els canvis.
- **Branques (branches):** permeten treballar en característiques o seccions concretes del projecte sense interferir en la branca principal.
- **Fusions (merges):** integren els canvis realitzats en branques separades.

A.1.2 Ús de GitHub

GitHub [24] ofereix una interfície gràfica i serveis complementaris per gestionar repositoris Git. A més del control de versions, incorpora funcionalitats específiques molt útils per a la recerca:

1. **Issues:** permeten gestionar incidències, propostes de millora o preguntes de manera transparent i col·laborativa.
2. **Pull requests:** faciliten la revisió per parells (*peer review*) de codi o documents abans d'incorporar-los a la branca principal.
3. **Wiki i documentació:** cada projecte pot incloure una wiki per documentar processos, metodologies o protocols experimentals.
4. **Accés obert:** els repositoris públics fomenten la ciència oberta i la transferència de coneixement.

Aquest tipus de sistemes s'estan convertint en un estàndard en la recerca científica, ja que permeten garantir la **traçabilitat**, la **reproduïbilitat** i la **transparència** de la feina feta.

Fonts: [21] i [5]

A.2 Sistema operatiu: Linux i la distribució Xubuntu

En el treball s'ha optat per utilitzar un sistema operatiu basat en Linux, concretament la distribució **Xubuntu**. Aquesta elecció no és casual, sinó que respon a diversos motius de caràcter tècnic i pràctic.

A.2.1 Motivacions per escollir Linux

Linux és un sistema de codi obert, desenvolupat col·laborativament per milers de persones i organitzacions d'arreu del món. El seu codi és auditabile, modificable i gratuït, cosa que el converteix en una eina ideal per a la recerca.

A diferència de Windows o macOS, Linux permet adaptar completament el sistema a les necessitats específiques del projecte, optimitzant els recursos i eliminant components inne-

cessaris. Això és especialment rellevant quan es treballa amb equips amb recursos limitats o quan cal maximitzar el rendiment del processament de dades.

A.2.2 Característiques de Xubuntu

Xubuntu és una distribució lleugera d'Ubuntu. Les seves principals característiques són:

- **Eficiència:** requereix pocs recursos de maquinari, fet que la fa ideal per a ordinadors antics o de baixa potència.
- **Estabilitat:** basada en Ubuntu i Debian, ofereix un sistema fiable i robust.
- **Compatibilitat:** disposa d'una àmplia compatibilitat amb programari científic i eines de desenvolupament.
- **Facilitat d'ús:** malgrat la seva potència, és una distribució intuïtiva i fàcil d'aprendre.

Aquesta combinació d'eficiència i estabilitat ha permès treballar amb fluïdesa en totes les fases del projecte, des de la redacció fins a la gestió de dades i l'ús d'eines de codi obert.

Font: [8]

A.3 Eines de processament de text: LaTeX i Kile

A.3.1 Per què utilitzar LaTeX?

El sistema LaTeX és un llenguatge de composició de documents científics basat en el processador TeX. A diferència dels processadors de text convencionals (com Microsoft Word), LaTeX separa clarament el contingut de la forma, cosa que permet mantenir un estil coherent i professional al llarg de tot el document.

Els seus avantatges principals són:

1. **Precisió tipogràfica:** ofereix una qualitat d'impressió molt superior, especialment per a fórmules matemàtiques.
2. **Automatització de referències:** genera índexs, figures, taules i bibliografia de manera automàtica.

3. **Compatibilitat:** és un estàndard en la publicació científica i acadèmica.
4. **Eina multiplataforma:** funciona en tots els sistemes operatius (Linux, macOS, Windows).

Fonts: [37] i [27]

A.3.2 L'editor Kile

Per a l'edició i compilació de documents LaTeX s'ha utilitzat l'editor **Kile**, desenvolupat per la comunitat KDE. Aquest entorn integrat permet una experiència completa: edició, compilació, vista prèvia i gestió de projectes en un sol lloc.

Entre les seves característiques més rellevants:

- Compilació automàtica amb un sol clic i vista prèvia immediata del document.
- Eina d'autocompletat i inserció de símbols matemàtics.
- Gestió avançada de cites i referències bibliogràfiques.
- Possibilitat d'organitzar el treball en projectes amb múltiples fitxers.
- Navegació ràpida entre capítols i seccions.

L'ús de Kile ha facilitat enormement la tasca de redacció, permetent mantenir una estructura clara i professional, així com un control rigorós sobre la presentació del treball.

Fonts: [7] i [26]

A.4 Reflexió final

El conjunt d'eines utilitzades (GitHub, Xubuntu, LaTeX i Kile) forma un entorn completament lliure i obert, que reproduceix l'estructura de treball d'un veritable grup de recerca científic. Aquesta metodologia fomenta la responsabilitat individual, la transparència i la capacitat d'aprenentatge autònom, tres valors essencials en la formació d'un futur investigador.

En conclusió, la metodologia informàtica no només ha servit com a mitjà per elaborar aquest treball, sinó també com a eina d'aprenentatge sobre la manera com es fa recerca científica real.

B. Experiments amb la guia manual

Per tal de comprovar la fiabilitat i la utilitat de la guia que he elaborat sobre l'ús de les tires reactives, vaig decidir realitzar un conjunt de cinc experiments addicionals. En cadascun d'ells vaig aplicar de manera estricta les recomanacions i passos descrits a la guia, amb l'objectiu de veure si realment els resultats experimentals es mantenien dins dels marges oficials o, almenys, si mostraven una coherència clara.

Els experiments es van dur a terme en condicions diverses: lectures ràpides (5 segons), lectures amb temps més prolongat (fins a 2 minuts), i també modificant factors com la il·luminació (llum natural, llum artificial intensa i condicions òptimes). Gràcies a això, vaig poder avaluar la sensibilitat dels resultats a aquestes variables i contrastar fins a quin punt la guia ajuda a reduir errors en la presa de mesures.

A continuació es presenten les cinc taules comparatives corresponents a aquests experiments. En cadascuna d'elles es mostren, per a cada paràmetre, el valor experimental obtingut, el valor oficial de referència i un comentari interpretatiu. D'aquesta manera, les taules donen suport a la validesa de la guia com a eina per obtenir mesures més consistentes i fiables amb tires reactives.

Paràmetre	Valor experimental	Valor oficial	Unitats	Comentari
pH	7.8	7,3-8.3	unitats pH	Lleugerament superior però dins dels marges oficials.
Alcalinitat total	140	65.3-217	mg CaCO ₃ /L	Valor adequat i ben dins del rang.
Carbonats	95	—	mg/L	Informació no proporcionada.
Duresa total	390	75.3-424	mg GH/L	Aproximació correcta; dins del límit superior.
Nitrat	3	<1-10.2	mg NO ₃ ⁻ /L	Dins del rang oficial.
Nitrit	0	—	mg/L	Informació no proporcionada.
Clor total	0.1	—	mg/L	Valor típic, baixa concentració.
Clor lliure	0.1	—	mg/L	Idèntic al total.
Ferro	0	—	mg/L	No detectat.
Fluorur	0	<0,2	mg F ⁻ /L	Coincideix amb el límit.
Crom (VI)	0	—	mg/L	No present.
Plom	0	—	mg/L	Correcte.
Àcid cianúric	0	—	mg/L	No rellevant.
Coure	0.1	—	mg/L	Detectat en quantitat mínima.
Brom	0	—	mg/L	No detectat.
Mercuri	0	—	mg/L	Correcte.

Taula B.1: Experiment 1 seguint la guia manual

Paràmetre	Valor experimental	Valor oficial	Unitats	Comentari
pH	7.4	7,3-8.3	unitats pH	Dins del rang i força ajustat al valor real.
Alcalinitat total	110	65.3-217	mg CaCO ₃ /L	Correcte; dins dels límits.
Carbonats	70	—	mg/L	No proporcionat.
Duresa total	405	75.3-424	mg GH/L	Molt proper al valor màxim oficial.
Nitrat	6	<1-10.2	mg NO ₃ ⁻ /L	Correcte, dins del rang.
Nitrit	0	—	mg/L	Informació no proporcionada.
Clor total	0.2	—	mg/L	Liger augment respecte altres proves.
Clor lliure	0.2	—	mg/L	Idèntic al total.
Ferro	0	—	mg/L	No detectat.
Fluorur	0.1	<0,2	mg F ⁻ /L	Coincideix amb el valor oficial.
Crom (VI)	0	—	mg/L	No present.
Plom	0	—	mg/L	Correcte.
Àcid cianúric	0	—	mg/L	No rellevant.
Coure	0.3	—	mg/L	Valor lleugerament superior; no crític.
Brom	0	—	mg/L	No detectat.
Mercuri	0	—	mg/L	Correcte.

Taula B.2: Experiment 2 seguint la guia manual

Paràmetre	Valor experimental	Valor oficial	Unitats	Comentari
pH	8.1	7,3-8.3	unitats pH	Força proper al límit superior, però dins del rang.
Alcalinitat total	150	65.3-217	mg CaCO ₃ /L	Valor adequat.
Carbonats	100	—	mg/L	Informació no proporcionada.
Duresa total	360	75.3-424	mg GH/L	Dins del rang, valor mitjà.
Nitrat	8	<1-10.2	mg NO ₃ ⁻ /L	Correcte, prop del límit superior.
Nitrit	0	—	mg/L	Informació no proporcionada.
Clor total	0	—	mg/L	No detectat.
Clor lliure	0	—	mg/L	Idèntic al total.
Ferro	0.1	—	mg/L	Lleugera presència, no preocupant.
Fluorur	0	<0,2	mg F ⁻ /L	Correcte.
Crom (VI)	0	—	mg/L	No present.
Plom	0	—	mg/L	Correcte.
Àcid cianúric	0	—	mg/L	No rellevant.
Coure	0.2	—	mg/L	Present en mínima quantitat.
Brom	0	—	mg/L	No detectat.
Mercuri	0	—	mg/L	Correcte.

Taula B.3: Experiment 3 seguint la guia manual

Paràmetre	Valor experimental	Valor oficial	Unitats	Comentari
pH	7.2	7,3-8.3	unitats pH	Lleugerament inferior al mínim oficial.
Alcalinitat total	90	65.3-217	mg CaCO ₃ /L	Correcte, dins del rang.
Carbonats	65	—	mg/L	Informació no proporcionada.
Duresa total	410	75.3-424	mg GH/L	Força proper al màxim.
Nitrat	2	<1-10.2	mg NO ₃ ⁻ /L	Dins dels marges oficials.
Nitrit	0	—	mg/L	Informació no proporcionada.
Clor total	0.3	—	mg/L	Valor una mica més alt que la resta.
Clor lliure	0.3	—	mg/L	Idèntic al total.
Ferro	0	—	mg/L	Correcte.
Fluorur	0.1	<0,2	mg F ⁻ /L	Correcte.
Crom (VI)	0	—	mg/L	No detectat.
Plom	0	—	mg/L	Correcte.
Àcid cianúric	0	—	mg/L	No rellevant.
Coure	0.4	—	mg/L	Una mica elevat en comparació amb altres proves.
Brom	0	—	mg/L	No detectat.
Mercuri	0	—	mg/L	Correcte.

Taula B.4: Experiment 4 seguint la guia manual

Paràmetre	Valor experimental	Valor oficial	Unitats	Comentari
pH	7.5	7,3-8.3	unitats pH	Correcte, dins dels marges oficials.
Alcalinitat total	135	65.3-217	mg CaCO ₃ /L	Correcte, dins del rang.
Carbonats	85	—	mg/L	Informació no proporcionada.
Duresa total	370	75.3-424	mg GH/L	Valor mitjà, correcte.
Nitrat	5	<1-10.2	mg NO ₃ ⁻ /L	Correcte, dins del rang.
Nitrit	0	—	mg/L	Informació no proporcionada.
Clor total	0	—	mg/L	No detectat.
Clor lliure	0	—	mg/L	Idèntic al total.
Ferro	0	—	mg/L	Correcte.
Fluorur	0.05	<0,2	mg F ⁻ /L	Molt proper al valor esperat.
Crom (VI)	0	—	mg/L	No present.
Plom	0	—	mg/L	Correcte.
Àcid cianúric	0	—	mg/L	No rellevant.
Coure	0.2	—	mg/L	Present en petita quantitat.
Brom	0	—	mg/L	No detectat.
Mercuri	0	—	mg/L	Correcte.

Taula B.5: Experiment 5 seguint la guia manual

C. GNU Free Documentation License

Version 1.3, 3 November 2008

Copyright © 2000, 2001, 2002, 2007, 2008 Free Software Foundation, Inc.

<<http://fsf.org/>>

Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies of this license document, but changing it is not allowed.

Preamble

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document “free” in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or noncommercially. Secondarily, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.

This License is a kind of “copyleft”, which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It complements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License in order to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The “**Document**”, below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as “**you**”. You

accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.

A “**Modified Version**” of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A “**Secondary Section**” is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document’s overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The “**Invariant Sections**” are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.

The “**Cover Texts**” are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.

A “**Transparent**” copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not “Transparent” is called “**Opaque**”.

Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD,

and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only.

The “**Title Page**” means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, “Title Page” means the text near the most prominent appearance of the work’s title, preceding the beginning of the body of the text.

The “**publisher**” means any person or entity that distributes copies of the Document to the public.

A section “**Entitled XYZ**” means a named subunit of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as “**Acknowledgements**”, “**Dedications**”, “**Endorsements**”, or “**History**”.) To “**Preserve the Title**” of such a section when you modify the Document means that it remains a section “Entitled XYZ” according to this definition.

The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties: any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

2. VERBATIM COPYING

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or non-commercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute.

However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.

You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

3. COPYING IN QUANTITY

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

- A. Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.
- B. List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.
- C. State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
- D. Preserve all the copyright notices of the Document.
- E. Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
- F. Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.
- G. Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.
- H. Include an unaltered copy of this License.
- I. Preserve the section Entitled "History", Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given

on the Title Page. If there is no section Entitled “History” in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.

- J. Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the “History” section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.
- K. For any section Entitled “Acknowledgements” or “Dedications”, Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.
- L. Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.
- M. Delete any section Entitled “Endorsements”. Such a section may not be included in the Modified Version.
- N. Do not retitle any existing section to be Entitled “Endorsements” or to conflict in title with any Invariant Section.
- O. Preserve any Warranty Disclaimers.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version’s license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section Entitled “Endorsements”, provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties—for example, statements of peer review

or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.

The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections Entitled “History” in the various original documents, forming one section Entitled “History”; likewise combine any sections Entitled “Acknowledgements”, and any sections Entitled “Dedications”. You must delete all sections Entitled “Endorsements”.

6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an “aggregate” if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation’s users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate, the Document’s Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version

of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.

If a section in the Document is Entitled “Acknowledgements”, “Dedications”, or “History”, the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided under this License. Any attempt otherwise to copy, modify, sublicense, or distribute it is void, and will automatically terminate your rights under this License.

However, if you cease all violation of this License, then your license from a particular copyright holder is reinstated (a) provisionally, unless and until the copyright holder explicitly and finally terminates your license, and (b) permanently, if the copyright holder fails to notify you of the violation by some reasonable means prior to 60 days after the cessation.

Moreover, your license from a particular copyright holder is reinstated permanently if the copyright holder notifies you of the violation by some reasonable means, this is the first time you have received notice of violation of this License (for any work) from that copyright holder, and you cure the violation prior to 30 days after your receipt of the notice.

Termination of your rights under this section does not terminate the licenses of parties who have received copies or rights from you under this License. If your rights have been terminated and not permanently reinstated, receipt of a copy of some or all of the same material does not give you any rights to use it.

10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See <http://www.gnu.org/copyleft/>.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License “or any later version” applies

to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document specifies that a proxy can decide which future versions of this License can be used, that proxy's public statement of acceptance of a version permanently authorizes you to choose that version for the Document.

11. RELICENSING

“Massive Multiauthor Collaboration Site” (or “MMC Site”) means any World Wide Web server that publishes copyrightable works and also provides prominent facilities for anybody to edit those works. A public wiki that anybody can edit is an example of such a server. A “Massive Multiauthor Collaboration” (or “MMC”) contained in the site means any set of copyrightable works thus published on the MMC site.

“CC-BY-SA” means the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 license published by Creative Commons Corporation, a not-for-profit corporation with a principal place of business in San Francisco, California, as well as future copyleft versions of that license published by that same organization.

“Incorporate” means to publish or republish a Document, in whole or in part, as part of another Document.

An MMC is “eligible for relicensing” if it is licensed under this License, and if all works that were first published under this License somewhere other than this MMC, and subsequently incorporated in whole or in part into the MMC, (1) had no cover texts or invariant sections, and (2) were thus incorporated prior to November 1, 2008.

The operator of an MMC Site may republish an MMC contained in the site under CC-BY-SA on the same site at any time before August 1, 2009, provided the MMC is eligible for relicensing.

ADDENDUM: How to use this License for your documents

To use this License in a document you have written, include a copy of the License in the document and put the following copyright and license notices just after the title page:

Copyright © YEAR YOUR NAME. Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.3 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts. A copy of the license is included in the section entitled “GNU Free Documentation License”.

If you have Invariant Sections, Front-Cover Texts and Back-Cover Texts, replace the “with ... Texts.” line with this:

with the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST.

If you have Invariant Sections without Cover Texts, or some other combination of the three, merge those two alternatives to suit the situation.

If your document contains nontrivial examples of program code, we recommend releasing these examples in parallel under your choice of free software license, such as the GNU General Public License, to permit their use in free software.

Bibliografia

- [1] Amazon. Tiras reactivas 16 en 1. [https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/color-del-agua-parametro-indicador-de-calidad](https://www.amazon.es/-/en/Drinking-Parameters-Hardness-Analysis-Alkalinity/dp/B0F66LKXK2/ref=sr_1_15_mod_primary_new?crid=24H6T628S6VAV&dib=eyJ2IjoiMSJ9.YIL51FosfVkcFhAxhR0EL314F8omMhiEdlmr3hI3-9JV8dUTJsk9hnnVT8oFdQuRE5sKKpqCdStCafmuJ43rZ-BHSxn3_xU49CL49chpuEm5BsoRssydzGKfjXQ0jH163SeWiKUNEsZQUBFZ7pbKhvYgv-thbTi6hcm82qpAo.g0VcDG8066g9Va4s1Ld1ipP-Jsa6-1IPmXXact1i8m8&dib_tag=se&keywords=tiras+reactivas+agua+potable&qid=1754523170&sbo=RZvfv%2F%2FHxDF%2B05021pAnSA%3D%3D&sprefix=tiras+reactivas+agua+potable%2Caps%2C104&sr=8-15. [Online; consultada el 3/07/2025].</p><p>[2] Higiene Ambiental. Color del agua, parámetro indicador de calidad. <a href=). [Online; consultada el 4/07/2025].
- [3] Fundación AQUAE. Qué hacemos. <https://www.fundacionaquaee.org/que-hacemos-aquaee/>. [Online; consultada el 4/08/2025].
- [4] AslenovaTec. Ventajas y desventajas del sistema operativo Windows. <https://aslenovatec.com/reviews/ventajas-y-desventajas-del-sistema-operativo-windows/>. [Online; consultada el 6/07/2025].
- [5] Gustavo B. Qué es GitHub y cómo empezar a usarlo. <https://www.hostinger.com/es/tutoriales/que-es-github>. [Online; consultada el 6/10/2025].
- [6] Paola Andrea Truque B. Armonización de los estandares de agua potable en las Americas. <https://www.oas.org/dsd/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>. [Online; consultada el 4/07/2025].
- [7] KDE Blog. Editor de LaTeX para KDE: Kile. <https://www.kdeblog.com/editor-de-latex-para-kde-kile.html>. [Online; consultada el 6/10/2025].

- [8] Diego Boada. ¿qué es Ubuntu? Una guía rápida para principiantes. <https://www.hostinger.com/es/tutoriales/que-es-ubuntu>. [Online; consultada el 6/10/2025].
- [9] Carbotecnia. Metales pesados en el agua. <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/los-metales-pesados-en-el-agua/#:~:text=Regresar%20arriba-,%C2%BFC%C3%B3mo%20se%20contamina%20el%20agua%20por%20metales%20pesados?,estos%20metales%20en%20su%20composici%C3%B3n>. [Online; consultada el 4/08/2025].
- [10] Git community. Pàgina web dels creadors del Git. <https://git-scm.com/>. [Online; consultada el 02/09/2025].
- [11] ComputerHoy. ¿qué es LaTeX y cómo funciona esta útil herramienta para crear documentos? <https://computerhoy.20minutos.es/tecnologia/latex-como-funciona-util-herramienta-crear-documentos-1165366#3-1670263544507>. [Online; consultada el 6/07/2025].
- [12] Aigües de Barcelona. Qualitat de l'aigua. <https://www.aiguesdebarcelona.cat/el-teu-servi-daigua/qualitat-de-laigua>. [Online; consultada el 6/07/2025].
- [13] Generalitat de Catalunya. Programari lliure. https://jovecat.gencat.cat/ca/temes/tecnologia/programari_lliure/index.html#que-es-el-programari-lliure. [Online; consultada el 01/10/2025].
- [14] Enciclopedia de ejemplos. 20 ejemplos de sistemas operativos. [https://www.ejemplos.co/20-ejemplos-de-sistemas-operativos/#:~:text=Un%20Sistema%20operativo%20\(SO\)%20es,%2C%20MacOS%2C%20Windows%2C%20Haiku](https://www.ejemplos.co/20-ejemplos-de-sistemas-operativos/#:~:text=Un%20Sistema%20operativo%20(SO)%20es,%2C%20MacOS%2C%20Windows%2C%20Haiku). [Online; consultada el 6/07/2025].
- [15] Organización Mundial de la Salud. Agua para consumo humano. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>. [Online; consultada el 3/09/2025].
- [16] Editorial Etecé. pH. <https://concepto.de/ph/>. [Online; consultada el 12/07/2025].
- [17] Facsa. La dureza del agua. <https://www.facsacom/la-dureza-del-agua/>. [Online; consultada el 4/07/2025].

- [18] GitHub. What is version control? <https://github.com/resources/articles/software-development/what-is-version-control?> [Online; consultada el 6/07/2025].
- [19] GoDaddy. ¿Qué es Ubuntu y para qué se usa este sistema operativo gratuito? <https://www.godaddy.com/resources/es/crearweb/que-es-ubuntu-y-para-que-sirve>. [Online; consultada el 6/07/2025].
- [20] Hematología Clínica @hematologiaclinica4459YouTube. ¿conoces la función de la tira reactiva para ego? <https://youtube.com/shorts/IwNHb4AYg8E?si=knGUsyAn8cXRYRg8>. [Online; consultada el 20/07/2025].
- [21] Microsoft Ignite. ¿qué es Git? <https://learn.microsoft.com/es-es/devops/develop/git/what-is-git>. [Online; consultada el 6/10/2025].
- [22] Imatge. Beckman model g ph meter. <https://digital.sciencehistory.org/works/3f462557r/viewer/7m01bk901>. [Online; consultada el 26/7/2025].
- [23] Imatge. Imatge ph-metro actual. https://pidiscat.cat/11147-large_default/ph-metro-portatil-milwaukee-mw-101-escala-ph-simple.jpg. [Online; consultada el 26/7/2025].
- [24] GitHub Inc. Pàgina web de GitHub. <https://github.com/>. [Online; consultada el 02/09/2025].
- [25] KDE. Kile. <https://apps.kde.org/ca/kile>. [Online; consultada el 6/07/2025].
- [26] Kile. Pàgina web del projecte de Kile a Sourceforge. <http://kile.sourceforge.net/>. [Online; consultada el 04/07/2025].
- [27] LaTeX. Pagina web del projecte de LaTeX. <https://www.latex-project.org/>. [Online; consultada el 4/07/2025].
- [28] M^a José López. Contenido en nitratos de aguas de consumo público españolas. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-91112015000300011. [Online; consultada el 4/07/2025].

- [29] Kashi Muhammad. Repositori web treball de recerca. <https://github.com/Muhammad-Kashi07/TR-KM-2025>. [Online; consultada el 08/10/2025].
- [30] Rain of Life. ¿Por qué se utiliza cloro en las aguas y cómo afecta a la salud? <https://rainoflife.com/cloro-agua-potable/>. [Online; consultada el 4/07/2025].
- [31] OMS. Pagina web de l'Organització Mundial de la Salut . <https://www.who.int/es>. [Online; consultada el 9/08/2025].
- [32] RedHat. El sistema operativo Linux. <https://www.redhat.com/es/topics/linux>. [Online; consultada el 6/07/2025].
- [33] Flipr Shop. Cómo usar tiras reactivas para medir el pH. https://flipr.shop/es/blogs/flipr-blog-piscinas/como-usar-tiras-reactivas-para-medir-el-ph?srsltid=AfmB0oqKHib4c0CDaP-Eq9W37zbznN4ft15VX_FsmdKpx7ELb2GD2LeQ. [Online; consultada el 20/07/2025].
- [34] UCM. Pdf sobre la descripció d'indicadors. <https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-Macroinv%20f.pdf>. [Online; consultada el 4/07/2025].
- [35] UNICEF i OMS. Instrumento de mejora del agua, el saneamiento y la higiene en los establecimientos de salud "WASH FIT". <https://www.who.int/es/publications/item/9789241511698>. [Online; consultada el 3/09/2025].
- [36] UNICEF i OMS. Wash Fit. <https://www.washinhcf.org/wash-fit-espanol/>. [Online; consultada el 3/09/2025].
- [37] La web de Física. Latex. <https://www.lawebdefisica.com/latex/>. [Online; consultada el 6/10/2025].
- [38] Wikipedia. Calidad del agua. https://es.wikipedia.org/wiki/Calidad_del_agua. [Online; consultada el 4/08/2025].
- [39] Wikipedia. Metal pesado. https://es.wikipedia.org/wiki/Metal_pesado. [Online; consultada el 4/08/2025].