

A high-speed photograph of a water droplet falling into a pool of water. The droplet is captured mid-fall, creating a vertical column of water that tapers as it descends. The impact has created a series of concentric ripples on the surface of the water. The entire scene is bathed in a deep blue-green light, giving it a serene and clean appearance.

Natura a la defensiva

**Anàlisi de la capacitat d'autodepuració
del riu d'Ondara davant la contaminació
per matèria orgànica**

Portada: *Fotògraf Maheash Nelanka*

Índex

Introducció	1
Objectius	4
Antecedents bibliogràfics	5
1.1 Caracterització hidrològica del riu d'Ondara	5
1.2 Poblacions responsables de l'impacte per abocament d'aigües residuals	7
1.2.1 Estimació de la taxa de generació d'aigües residuals	7
Eines teòriques	9
2.1 Dissolució de gasos en líquids	9
2.1.1 Llei de Henry i variació de la solubilitat de l'oxigen en funció de la temperatura de l'aigua	9
2.1.2 Índex de saturació	10
2.1.3 Cinètica de difusió de l'oxigen atmosfèric cap a l'aigua del riu	10
2.2 Oxidació aeròbica de la matèria orgànica	11
2.2.1 Cinètica de degradació de la matèria orgànica. Concepte de la DBO	11
2.3 Presentació del model de caixa	15
2.4 Estructura del model teòric	18
Treball de camp i dades	19
3.1 Treball de camp	19
3.2 Dades	21
Resultats	22
4.1 Avaluació de l'impacte	22
4.2 Anàlisi del procés d'autodepuració	25
4.2.1 Determinació del punt crític	25
4.2.2 Determinació de la capacitat autodepurativa	29
Conclusions	30
Bibliografia	33
Annexos	35

Índex de figures

Introducció

Taula 1	1
Imatge 1	2
Imatge 2	2
Imatge 3	3

Antecedents bibliogràfics

Imatge 4	5
Taula 2	5
Imatge 5	6
Imatge 6	7
Taula 3	7

Eines teòriques

Imatge 7	10
Gràfic 1.....	12
Gràfic 2.....	14
Gràfic 3.....	14
Imatge 8	15
Gràfic 4.....	16

Treball de camp i dades

Imatge 9	19
Imatge 10	20
Imatge 11	20
Imatge 12	20
Imatge 13	20
Imatge 14	20
Taula 4	21
Taula 5	21

Resultats

Gràfic 5.....	23
Gràfic 6.....	24
Gràfic 7.....	27
Gràfic 8.....	28
Taula 6	29

Conclusions

Taula 7	31
Taula 8	31

INTRODUCCIÓ



Principals impactes ambientals associats a sistemes aquàtics

La ingent quantitat de residus que la humanitat deixa enrere reapareix en forma de contaminants, sobretot, dins dels sistemes aquàtics. Quan els contaminants es troben en estat gasós, provoquen en primer lloc un impacte ambiental en l'atmosfera però també, a partir de processos de deposició o arrossegats per la pluja, arriben inevitablement a cursos d'aigua. Quan el contaminant és sòlid, és emmagatzemat en abocadors on, per solubilització, part d'aquest pot arribar també als sistemes aquàtics. Per últim, quan el contaminant és líquid, s'acostuma a abocar directament a cursos d'aigua. Així doncs, d'una manera o altra, els ecosistemes aquàtics són els que en surten més perjudicats.

CONTAMINANTS	INCIDEIXEN EN
Sediments	Qualitat de l'aigua, eutrofització
Nutrients	Qualitat de l'aigua, eutrofització
Consumidors d'O ₂	Qualitat de l'aigua, vida aquàtica
Patògens	Salut
Metalls	Salut, vida aquàtica
Petroli	Vida aquàtica, estètica
P. Orgànics sintètics	Vida aquàtica, salut
P. Inorgànics i Minerals	Vida aquàtica, salut
Calor	Vida aquàtica
Materials radioactius	Salut
Substàncies amb gust, olor, color	Qualitat de l'aigua, estètica

Taula 1. Classificació dels contaminants potencialment presents als sistemes aquàtics. [Ref.1.3]

Principals impactes ambientals associats al riu d'Ondara

El riu d'Ondara s'alimenta tant de les aigües pluvials com de les surgències de l'aquífer Vicfred-Guissona. A més a més, també és receptor de les aigües residuals de municipis, empreses i conreus. Aquest fet el porta a ser, ja a simple vista, un riu catalogat com a contaminat. En altres paraules, el riu pateix constants variacions en el seus paràmetres naturals a causa de l'addició de substàncies per part dels emissaris esmentats, fent que canviï el seu ecosistema natural i els usos que la població feia de les seves aigües.

Així doncs, el riu d'Ondara rep dos tipus d'impactes ambientals. Per una banda, pateix les variacions estacionals de la qualitat de les seves aigües i cabals derivats de les seves fonts d'alimentació i, per l'altra banda, recull abocaments puntuals, principalment, de matèria orgànica.

El fet que el riu sigui receptor d'una gran quantitat de matèria orgànica suposa un problema quan aquesta es descompon, ja que fa que el nivell d'oxigen dissolt disminueixi i, en conseqüència, els organismes aquícoles que hi habiten se'n ressentixin. Com a conseqüència final del procés, les aigües són tèrboles, d'una profunditat i amb una quantitat d'oxigen molt variable i, tot i que la població d'éssers vius és gran, la seva biodiversitat és pobra. A més, les espècies autòctones són desplaçades per espècies invasores adaptades a l'alt grau de contaminació.

Situació de les Estacions Depuradores d'aigües Residuals a la Ribera d'Ondara

Per un costat, des del seu naixement a Civit fins a Cervera, el riu d'Ondara és receptor de les aigües residuals urbanes de Montfar, Pallerols, Sant Antolí, els Hostalets, Sant Pere dels Arquells i Vergós i, per l'altre costat, pot patir els vessaments de la planta de Pet Food Ingredients.



Imatge 1. Emissari de la planta de Pet Food Ingredients.
[Font pròpia]

El problema és que cap de les poblacions esmentades prèviament, a excepció de Cervera, disposa d'una estació de depuració d'aigües residuals (EDAR) que dugui a terme un procés de sanejament de l'aigua provinent de les llars abans de ser emesa al riu. En el millor dels casos trobem en algun nucli, com ara Sant Antolí, un dipòsit de sedimentació encaminat a reduir la presència de materials en suspensió, però en cap cas sistemes integrals de sanejament de l'aigua que n'eliminin els contaminants en dissolució.



Imatge 2. Estació Depuradora d'aigües Residuals (EDAR) de Cervera i, a l'esquerra, riu d'Ondara.
[Ref. 2.4]

Tot i les nombroses peticions dels alcaldes de la Ribera d'Ondara a l'Agència Catalana de l'aigua (ACA), encara no s'ha instal·lat cap sistema de depuració per aquests municipis que s'adeqüi a la seva densitat de població i a la càrrega contaminant de l'aigua que generen.

Tanmateix, l'aigua de l'Ondara alimenta a una gran quantitat d'horts que s'apleguen al voltant de la seva llera. Hi ha casos en què els regants desconeixen la qualitat de l'aigua que es consumeix i de retruc, la incidència que aquesta pot tenir en el creixement de les hortalisses conreades i els efectes de la seva ingestió. Sovint, es reben queixes dels usuaris d'aquestes minses aigües i dels alcaldes dels municipis afectats que denuncien la seva baixa qualitat, perceptible fins i tot a simple vista.

Procés d'autodepuració

Al riu s'hi desenvolupen un conjunt de mecanismes fisicoquímics i biològics naturals per eliminar els contaminants. Al llarg del procés, els sòlids en suspensió procedents del vessament es van sedimentant, les substàncies solubles es dilueixen i la matèria orgànica és oxidada pels organismes aerobis. Així doncs, amb el temps, si no hi ha més emissors de contaminació durant el seu curs, les aigües tornaran a presentar les característiques que tenien abans del vessament.



Imatge 3. Riu Ondara en el seu pas per St. Antolí.
[Ref. 1.4]

Per tant, la depuració de les aigües residuals és un procés que es produeix de forma espontània a la natura. Ara bé, si els abocaments són abundants, massa intensos, molt freqüents i/o el riu presenta poc cabal, com és el cas de l'Ondara, el procés natural es mostra insuficient per assolir una depuració correcta de l'aigua, i llargs trams del seu curs perden la majoria dels organismes autòctons o bé presenten terbolesa i mala olor. Més que rius, esdevenen clavegueres.

És aquesta raó la que dóna sentit al treball que us presentem. Volem demostrar que els sistemes naturals, en general, presenten un límit en la seva capacitat d'autodepuració i, en particular, ens interessa desenvolupar un model que indiqui quan es supera aquest límit, per a qualsevol curs o reservori hídric i, encara més concretament, quan té lloc aquesta fallida dels mecanismes naturals en el cas de l'Ondara.

OBJECTIUS





Objectius

- 1- Avaluar l'impacte ambiental lligat als cabals d'efluents líquids amb presència de matèria orgànica abocats a la llera de l'Ondara.
- 2- Dur a terme aquesta avaluació en un tram específic de l'Ondara, concretament el delimitat entre l'anomenat pont de Santa Magdalena i la població de Granyanella, amb una distància total d'uns 2 km.
- 3- Quantificar l'impacte mitjançant el seguiment, aigües avall, de la disminució de la concentració d'oxigen dissolt a causa de l'oxidació aeròbica de la matèria orgànica provinent dels abocaments.
- 4- Dissenyar un model ambiental teòric i aproximat, tot i que prou fiable, d'aplicació en qualsevol curs d'aigua o reservori hídric, que permeti avaluar, per una banda, el moment en què fan fallida els mecanismes naturals de depuració de contaminants orgànics biodegradables, i analitzar la variació del grau de contaminació amb el temps i la distància des del punt del vessament, per una altra.
- 5- Definir un espectre d'indicadors que permetin establir i comparar el nivell d'autodepuració d'un reservori hídric.

Hipòtesi del treball

Sempre existeix un abocament de matèria orgànica límit, de concentració específica, per damunt de la qual els mecanismes naturals presents en un medi aquàtic determinat són incapaços de recuperar les condicions prèvies al vessament, sense que tingui lloc, inevitablement, una afectació negativa dels ecosistemes associats a aquest medi.

ANTECEDENTS BIBLIOGRÀFICS



1.1. Caracterització hidrològica del riu d'Ondara

El riu d'Ondara neix al terme segarrenc de Talavera, vora el poble de Civit, més concretament, sota l'ermita de Santa Fe, a 780 m d'altitud. En aquest indret, on rep el nom de *Torrent de Civit*, és on recull les aigües de les fonts del Bordell, d'Ondara i del Bullidor, així com les vessants de les serres de Talavera, Montargull, Bellmut i Montfred. També rep aportacions de les rases dels Hostals, de Brinaçó, dels Monells, dels Argullols, de Montpaó i, sobretot, del Torrent Salat.



imatge 4. Recorregut del riu d'Ondara. [Ref. 2.4]

A partir de Civit, l'Ondara passa per Montfar, Pallerols, Sant Antolí i Vilanova, els Hostalets, Sant Pere dels Arquells, Vergós, Cervera, la Curullada, Fonolleres, la Móra i entra a l'Urgell, on és anomenat *El Reguer*, pel Talladell. Un cop a Tàrrega, el riu rep el seu afluent més important, el Cercavins. Aquest recull les aportacions del torrent de Vilagrasseta, del Fondo de les Planes, de la riera de Montornés i del Fondo de les Vidielles. A continuació, l'Ondara s'endinsa pels termes de Vilagrassa i Anglesola.

	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.	Total
Ap	1,6	1,7	1,9	1,9	2,2	1,5	0,9	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	16,0
Q	0,6	0,7	0,71	0,73	0,82	0,58	0,33	0,3	0,35	0,41	0,46	0,48	0,5

Taula 2. Aportacions (Ap) en hm³ i cabals mitjans mensuals (Q) en m³/s del riu d'Ondara corresponent al període comprès entre l'octubre de 1940 i el setembre de 1986. [Ref. 1.2]

Finalment, durant els mesos d'estiu el cabal del riu davalla a 0,3 m³/s i desapareix sobre el seu con al·luvial a través d'un procés d'evaporació. Per l'altra banda, en el període d'octubre a maig, quan el cabal del riu augmenta fins el 0,82 m³/s, l'aigua pot ser conduïda subterràniament fins als desguassos de Barbens. No obstant, no sempre ha estat així. L'any 1994, l'Administració Hidràulica va emprendre el projecte de canalització del riu fins a Barbens a causa de les riudes causades per les fortes pluges, però, més antigament, el riu es perdia entre els regadius del Canal d'Urgell. Encara abans de la construcció del canal, l'Ondara desapareixia entre els antics aigüamolls de la plana d'Urgell.



La conca del riu d'Ondara té una superfície de recull d'aigües d'uns 485 km² entre les seves dues comarques principals, la Segarra i l'Urgell, i té un recorregut total de 67,1 km. Per l'altra banda, si només tenim en compte la Segarra, la superfície es redueix a 190 km² i el curs total a 20 km amb un pendent mitjà de l'1,85%. Com podem observar a la taula 2, les aportacions anuals del riu són de 16 hm³ i el cabal mitjà anual de 0,5 m³/s. Si comparem el cabal mitjà de l'Ondara amb el del Sió, d'1,3 m³/s, i amb el del Llobregós, de 2,12 m³/s, ens adonem que és el més baix dels rius segarrencs. Tot i això, el riu rep les ajudes dels abocaments d'aigua de les depuradores de Cervera i Tàrraga.



A causa del seu cabal intermitent i alt grau de contaminació, el torrent d'Ondara no gaudeix de molta diversitat d'espècies, no obstant, existeixen petites poblacions adaptades a aquestes circumstàncies. En són un exemple l'ortiga gran, *Urtica dioica*, i la cicuta, *Conium maculatum*, que habiten als marges del riu. Totes dues aprofiten la forta nitrogenació de l'Ondara i, sobretot la segona, que prové de territoris més humits, és perillosa per la seva toxicitat. A més a més, el riu també és hàbitat de la canya americana, *Arundo donax*, considerada una de les 100 espècies exòtiques invasores més nocives del món per la Unió Internacional per la Conservació de la Natura pel seu poder a l'hora de desplaçar les espècies autòctones.

Imatge 5. Espècie *Arundo donax* a la dreta del riu d'Ondara. [Font pròpia]

1.2. Poblacions responsables de l'impacte per abocament d'aigües residuals urbanes

La Segarra és una comarca de l'interior de Catalunya caracteritzada per un paisatge i una vida rural poc transformats per la urbanització i la industrialització. El seu nombre total d'habitants és de 22.970, i així mateix, la densitat de població és baixa, assolint un valor de 31,8 habitants per quilòmetre quadrat. [Ref. 2.1] D'altra banda, la base de l'economia de la major part de la zona és l'agricultura, especialment la de secà.



Imatge 6. Paisatge característic de la Segarra [Ref. 2.3]

Partint d'aquestes característiques podem dir que, a grans trets, les localitats de la comarca són nuclis de poca població envoltats d'un paisatge on predominen els camps de cereals.

El baix grau de població i l'escassa industrialització són les causes que la nostra comarca només disposi de dues Estacions Depuradores d'Aigües Residuals (EDAR), situades a Guissona i a Cervera. En conseqüència, alguns dels municipis que són propers al curs del d'Ondara, utilitzen el riu per abocar directament les seves aigües residuals a la seva llera, provocant un impacte ambiental.

1.2.1. Estimació de la taxa de generació d'aigües residuals

En la taula mostrada a continuació s'hi presenta el cens de les poblacions del tram entre Civit i Vergós responsables d'aquest impacte:

Població	Habitants (any 2012)
Civit	45
Montfar	3
Pallerols	61
Sant Antolí i Vilanova	136
Els Hostalets	79
Sant Pere dels Arquells	60
Vergós	55
TOTAL	439

Taula 3. Cens de les poblacions responsables per abocament d'aigües residuals al riu d'Ondara. [Ref. 2.1]



Es calcula que cada habitant genera una mitjana de 140 m³ d'aigües residuals per any que contenen un grau de contaminació orgànica de 227 mg/ l (DBO). [Ref. 1.4]

Estimant que les aigües residuals d'un nombre total de 439 habitants són abocades al riu, obtenim que:

$$\frac{140 \text{ m}^3}{\text{any} \cdot \text{hab}} \cdot 439 \text{ hab} = 61460 \text{ m}^3/\text{any}$$

En definitiva, el riu d'Ondara podria ser receptor de 61.460 m³ d'aigües residuals a l'any.

Tot i que el nombre de població de la zona és baix, el grau de contaminació que rep l'Ondara és suficient per provocar un greu impacte sobre els ecosistemes aquàtics que suporta.

EINES TEÒRIQUES

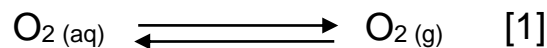


En aquest capítol exposarem progressivament, d'una banda, les equacions que governen els processos de dissolució de l'oxigen atmosfèric en l'aigua dels sistemes naturals i, de l'altra, les expressions relacionades amb la degradació aeròbica de la matèria orgànica. Finalment, acoblarem ambdues per trobar el model final amb el qual podrem analitzar la capacitat autodepurativa de qualsevol curs d'aigua o reservori hídic.

2.1. Dissolució de gasos en líquids

2.1.1. Llei de Henry i variació de la solubilitat de l'oxigen en funció de la temperatura de l'aigua

El procés de dissolució-alliberament de l'oxigen en la interfase entre l'atmosfera i l'aigua ve representat per l'expressió:



La llei de Henry estableix una relació d'equilibri entre la concentració d'oxigen a l'atmosfera i la corresponent a l'aigua en funció de la temperatura, expressada de la forma següent:

$$H \equiv \frac{[\text{O}_2]_{(g)}}{[\text{O}_2]_{(aq)}} \quad [2]$$

A partir del valor de la constant de Henry H , podem conèixer la concentració màxima que pot assolir un gas, en el nostre cas l'oxigen, dins d'un medi aquós en funció de la temperatura. També podem anomenar aquest tipus de concentració com a concentració d'equilibri i/o de saturació, que ve donada per:

$$[\text{O}_2]_{eq}(T) = [\text{O}_2]_{(273)} \cdot \exp\left[\frac{-\Delta H_{diss}}{R} \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{273}\right)\right] \quad [3]$$

on:

- T : temperatura (K)
- $[\text{O}_2]$: concentració d'oxigen a la temperatura T (mg/l)
- ΔH_{diss} : variació d'entalpia molar del procés de dissolució de l'oxigen en aigua = $-14.191 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$
- R : constant dels gasos ideals = $8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$



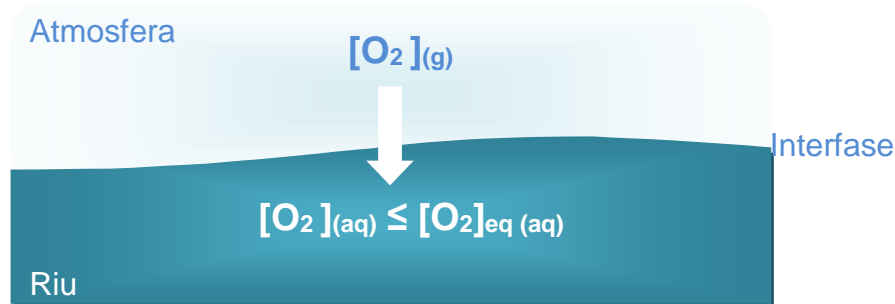
2.1.2. Índex de saturació

L'índex de saturació indica la concentració d'oxigen present al medi aquós respecte el valor de la concentració en equilibri. Com més elevat és el seu valor, més ben oxigenades són les aigües. És expressat en percentatge:

$$I \text{ sat.} = \frac{[O_2]}{[O_2]_{eq}} \cdot 100 \quad [4]$$

2.1.3. Cinètica de difusió de l'oxigen atmosfèric cap a l'aigua del riu

L'atmosfera és la major font d'aportació d'oxigen dissolt al riu. El procés de dissolució de l'oxigen en el medi aquàtic es pot considerar com la transferència d'oxigen a través d'una interfase entre gas i líquid:



Imatge 7. Dissolució de l'oxigen en l'aigua. [Font pròpia]

Aquest procés tendeix a equilibrar la concentració d'oxigen dissolt amb el seu valor de saturació.

La cinètica del procés ve governada pel flux de difusió:

$$j_{difusió} = k ([O_2]_{eq} - [O_2]) \quad (mg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}) \quad [5]$$

On k és el coeficient de transferència de massa (m/s)

La velocitat de difusió de l'oxigen de l'aire cap a l'aigua serà directament proporcional a la desviació de la concentració aquosa del gas respecte la concentració en equilibri. El flux de difusió serà nul quan la concentració d'oxigen s'iguali amb el seu valor de saturació.



En absència de matèria orgànica, la velocitat amb què un reservori hídric bescanvia oxigen amb l'atmosfera segueix una cinètica del tipus:

$$V \cdot \frac{d[O_2]_{(aq)}}{dt} = A \cdot j_{difusió} \quad [6]$$

on:

- $[O_2]_{(aq)}$: Concentració d'oxigen en dissolució aquosa (mg/L)
- t : Temps (s)
- A : Àrea de la interfase de contacte reservori - atmosfera (m^2)
- V : Volum d'aigua al reservori (L)
- $j_{difusió}$: Flux de difusió de l'oxigen ($mg / m^2 \cdot s$)

Partint de l'expressió anterior, i per substitució del flux de difusió [5], s'obté una llei cinètica de primer ordre, en la qual l'aportació d'oxigen per unitat de temps és proporcional al dèficit d'oxigen respecte al valor de saturació:

$$\frac{d[O_2]_{(aq)}}{dt} = \theta \cdot ([O_2]_{eq} - [O_2]_o) \quad [7]$$

On θ és la constant d'oxigenació del riu en absència de matèria orgànica, definida segons l'expressió:

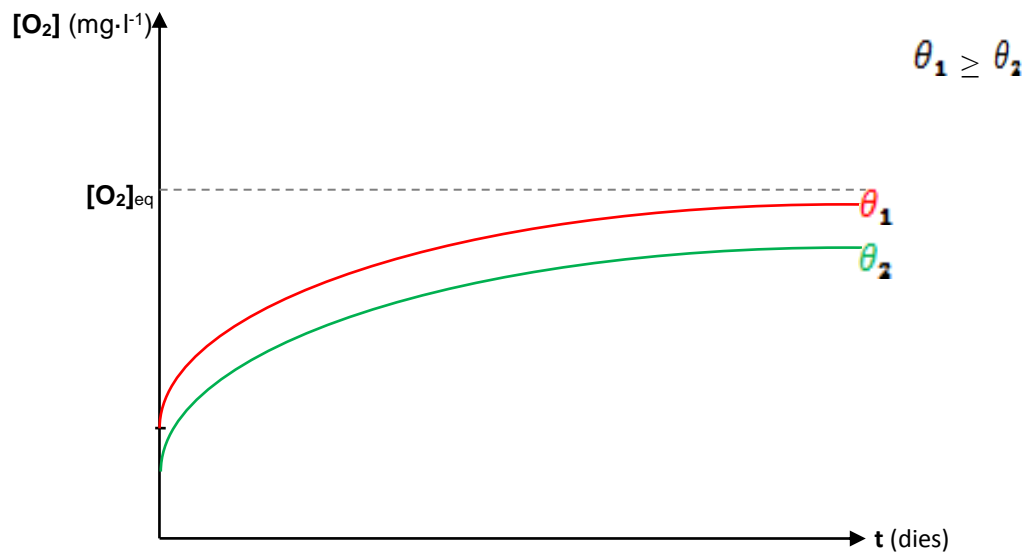
$$\theta \equiv \frac{K}{h} \quad (dies^{-1})$$

La integració de l'expressió [7] ens permetrà estimar la variació de la concentració d'oxigen dissolt en medi aquós en funció del temps :

$$[O_2]_{(aq)}(t) = ([O_2]_o - [O_2]_{eq}) \cdot e^{-\theta t} + [O_2]_{eq} \quad [8]$$



El perfil de la qual s'observa al gràfic mostrat a continuació:



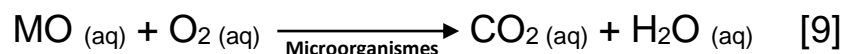
Gràfic 1. Gràfica de la variació de concentració d'oxigen dissolt en medi aquós en funció del temps. [Font pròpia]

Tal com es pot observar al gràfic, el valor de la constant θ determinarà la velocitat de reoxigenació fins que s'assoleixi la concentració de saturació.

2.2. Oxidació aeròbica de la matèria orgànica

Dins els sistemes aquàtics hi ha presents éssers vius que requereixen l'oxigen pels processos metabòlics de respiració (aerobis). Alhora, també és necessària la presència de diverses substàncies que constitueixen nutrients per aquests éssers vius. Destaquen entre aquests últims, els compostos orgànics.

Globalment, és conegut que la matèria orgànica present al medi aquàtic és oxidada mitjançant reaccions metabolitzades pels microorganismes. Els productes resultants d'aquest procés de degradació són el diòxid de carboni i l'aigua:



2.2.1. Cinètica de degradació de la matèria orgànica. Concepte de DBO

La demanda bioquímica d'oxigen (DBO) és un paràmetre que mesura, de manera indirecta, la quantitat de matèria orgànica susceptible de ser consumida o oxidada per mitjans biològics que conté una mostra líquida. S'utilitza per a determinar el seu grau de contaminació, i es defineix i correlaciona amb l'oxigen i la matèria orgànica, respectivament:

$$\text{DBO}_t = [\text{O}_2]_0 - [\text{O}_2]_t \equiv [\text{MO}]_0 - [\text{MO}]_t \quad [10]$$

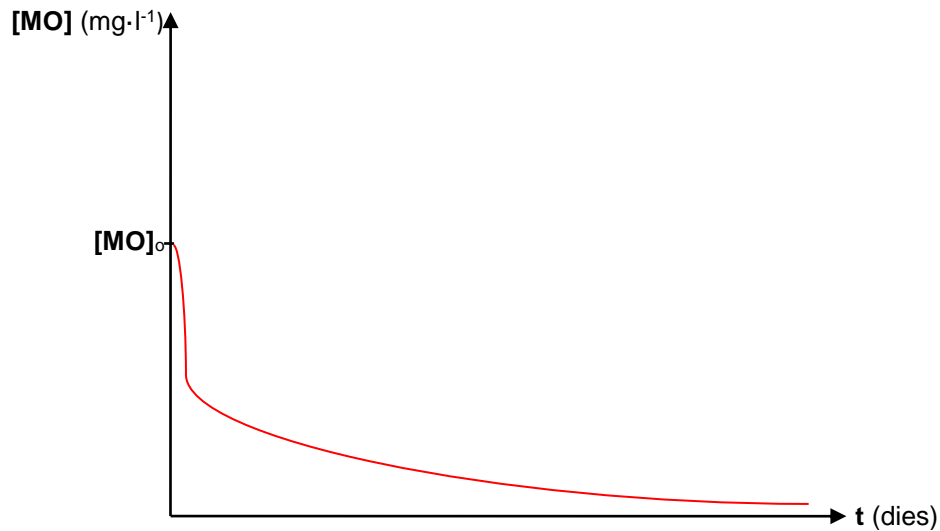
Així doncs, la DBO és la diferència de concentració d'oxigen consumit en un període de temps determinat com a resultat de la degradació de la matèria orgànica present a la mostra. És habitual, com a conveni, determinar-ne el seu valor durant un temps de 5 dies (DBO₅).

La matèria orgànica reacciona amb l'oxigen del sistema aquàtic amb una velocitat de reacció que ve donada per una equació de cinètica de primer ordre:

$$[\text{MO}](t) = [\text{MO}]_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad [11]$$

On λ és la constant de degradació de la matèria orgànica = **0,185 dies⁻¹** [Ref. 1.4]

De forma que la concentració de matèria orgànica disminuirà progressivament al llarg del temps segons el perfil:

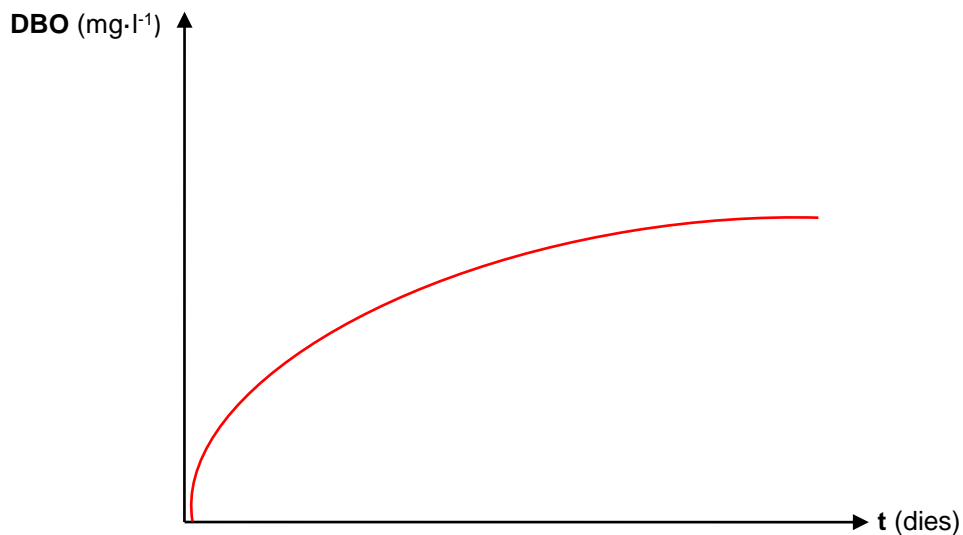


Gràfic 2. Gràfica de la degradació de matèria orgànica en funció del temps. [Font pròpia]

Mentre que, la relació entre la DBO i la matèria orgànica es pot expressar en l'equació mostrada a continuació:

$$DBO(t) = [MO]_0 \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t}) \quad [12]$$

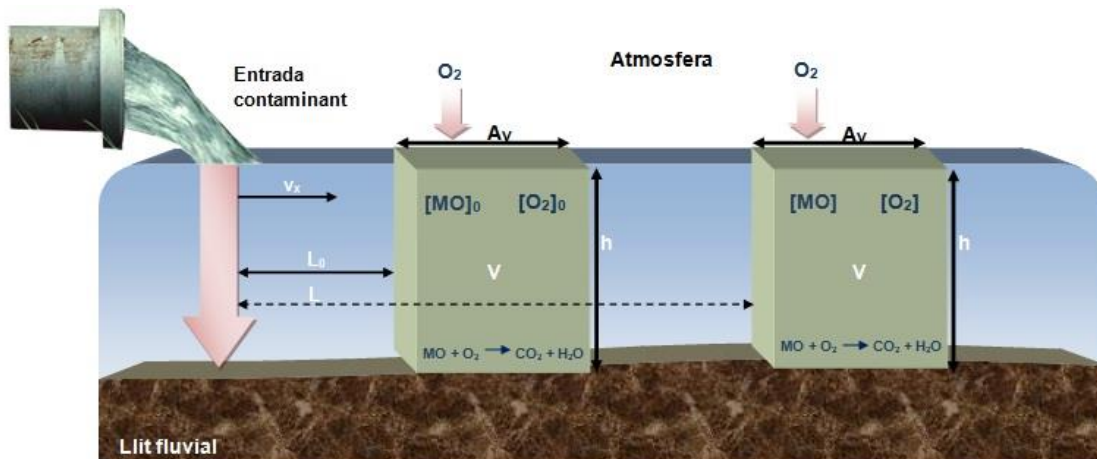
i així, en canvi, el valor de la DBO s'incrementarà en el transcurs del temps, segons el perfil gràfic que es representa:



Gràfic 3. Gràfica de la variació de la DBO en funció del temps. [Font pròpia]

2.3. Presentació del model de caixa

El model de caixa és un dels models matemàtics utilitzats per estudiar el progrés de contaminants tant en medis aquàtics com en l'atmosfera. El seu objectiu és predir la variació de concentració del contaminant dins d'un volum determinat a mida que es va allunyant de la font emissora. En aquest cas, l'utilitzem per representar l'evolució de la matèria orgànica, que és el contaminant en aquest cas, i l'oxigen dissolt en un curs d'aigua.



Imatge 8. Model de caixa per l'estudi de la variació de la [MO]. [Font pròpia]

La matèria orgànica entra dins la hipotètica caixa de volum V , per a una velocitat v_x del riu específica, i a una distància L_0 de la font emissora. L'oxigen entra a la caixa travessant la interfase A_v entre l'atmosfera i el riu i es dissol en l'aigua, tal i com s'indica en l'equació [1].

Un cop l'oxigen entra en contacte amb la matèria orgànica comença la reacció de degradació, que fa que ambdues concentracions, la de matèria orgànica inicial, $[MO]_0$, i la d'oxigen dissolt inicial, $[O_2]_0$, es vagin reduint, de manera similar a l'expressada en l'equació [9], però ara en presència del contaminant orgànic.

Acoblant els dos processos anteriors, obtenim el balanç de la $[O_2]$ dins el volum de control de la caixa:

$$V \cdot \frac{d[O_2]}{dt} = A \cdot j_{dif} - V \cdot r_{MO} \quad [13]$$

On r_{MO} = Velocitat reacció química (m/s)

A partir de la integració de l'equació [13] des de $t=0$ fins a un temps t , podem obtenir la concentració d'oxigen dissolt $[O_2]$ en funció del temps:

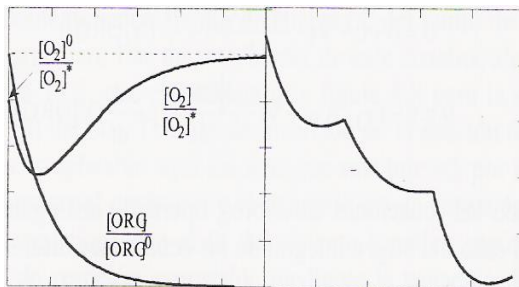
$$[O_2] = ([O_2]_0 - [O_2]_{eq.}) \cdot e^{-\theta \cdot t} + \frac{\lambda \cdot [MO]_0}{\theta - \lambda} \cdot (e^{-\theta \cdot t} - e^{-\lambda \cdot t}) + [O_2]_{eq.} \quad [14]$$



No obstant, abans caldrà determinar un nou valor per a la constant d'oxigenació θ , atès que prèviament estava calculada en absència de matèria orgànica. Això s'ha fet emprant el teorema de Bolzano, el qual enuncia que per tota funció contínua en un interval tancat que pren valors de signe contrari en els extrems existeix, com a mínim, un punt en el qual s'anul·la.

D'aquesta manera, deixarem l'expressió [14] en funció de θ i li anirem donant valors fins que en trobem un en el qual la funció sigui igual a 0.

Com es veurà més endavant, al capítol de resultats, l'anàlisi de l'expressió anterior permet fer les valoracions següents, que avancem tot seguit:



Gràfic 4. [Ref. 1.3]

a) Variació de les concentracions de O_2 i MO. b) Variació de les concentracions de O_2 i MO amb abocaments consecutius.

a) Si les condicions de l'abocament $[MO]_0$ són tals que les característiques hidrològiques del curs d'aigua (θ , λ , cabal, velocitat i profunditat) no permeten als seus mecanismes naturals d'autodepuració assolir novament la concentració d'oxigen dissolt previ a l'abocament sense generar impacte, llavors l'expressió prediu la presència d'un mínim d'aquest paràmetre, que físicament es tradueix en un punt d'anòxia per al medi. Així doncs, podem afirmar que el riu ha ultrapassat la seva capacitat autodepurativa o que el contaminat l'ha esgotat, com es prefereixi. Aquest és el cas representat a la gràfica 4a.

b) Si quan, en el pitjor escenari possible, el riu rep l'impacte continuat d'abocaments quan encara no ha tingut temps d'autodepurar-se, tal i com es representa a la gràfica 4b, aquesta situació el porta a un estat d'excés de matèria orgànica i de dèficit d'oxigen en dissolució permanents, condicions que dificulten, si no impossibiliten, la vida aquàtica en el seu si.

El model també ens permet deduir el punt d'anòxia del sistema, en altres paraules, l'instant de temps τ en el qual la concentració d'oxigen dissolt presentarà un mínim. Per fer-ho, derivem l'equació [14] i l'igualem a 0 per a trobar-ne el valor.

$$\frac{d[O_2]}{dt} = -\theta \cdot ([O_2]_0 - [O_2]_{eq.}) \cdot e^{-\theta \cdot t} + \frac{\lambda \cdot [MO]_0}{\theta - \lambda} \cdot (-\theta \cdot e^{-\theta \cdot t} + \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t}) \quad [15]$$

$$\frac{d[O_2]}{dt} = 0$$

A continuació aïllem τ :

$$\tau = \frac{1}{\theta - \lambda} \cdot \ln \left[\frac{\theta \cdot \left(([O_2]_0 - [O_2]_{eq.}) + \frac{\lambda \cdot [MO]_0}{\theta - \lambda} \right)}{\frac{\lambda^2 \cdot [MO]_0}{\theta - \lambda}} \right] \quad [16]$$

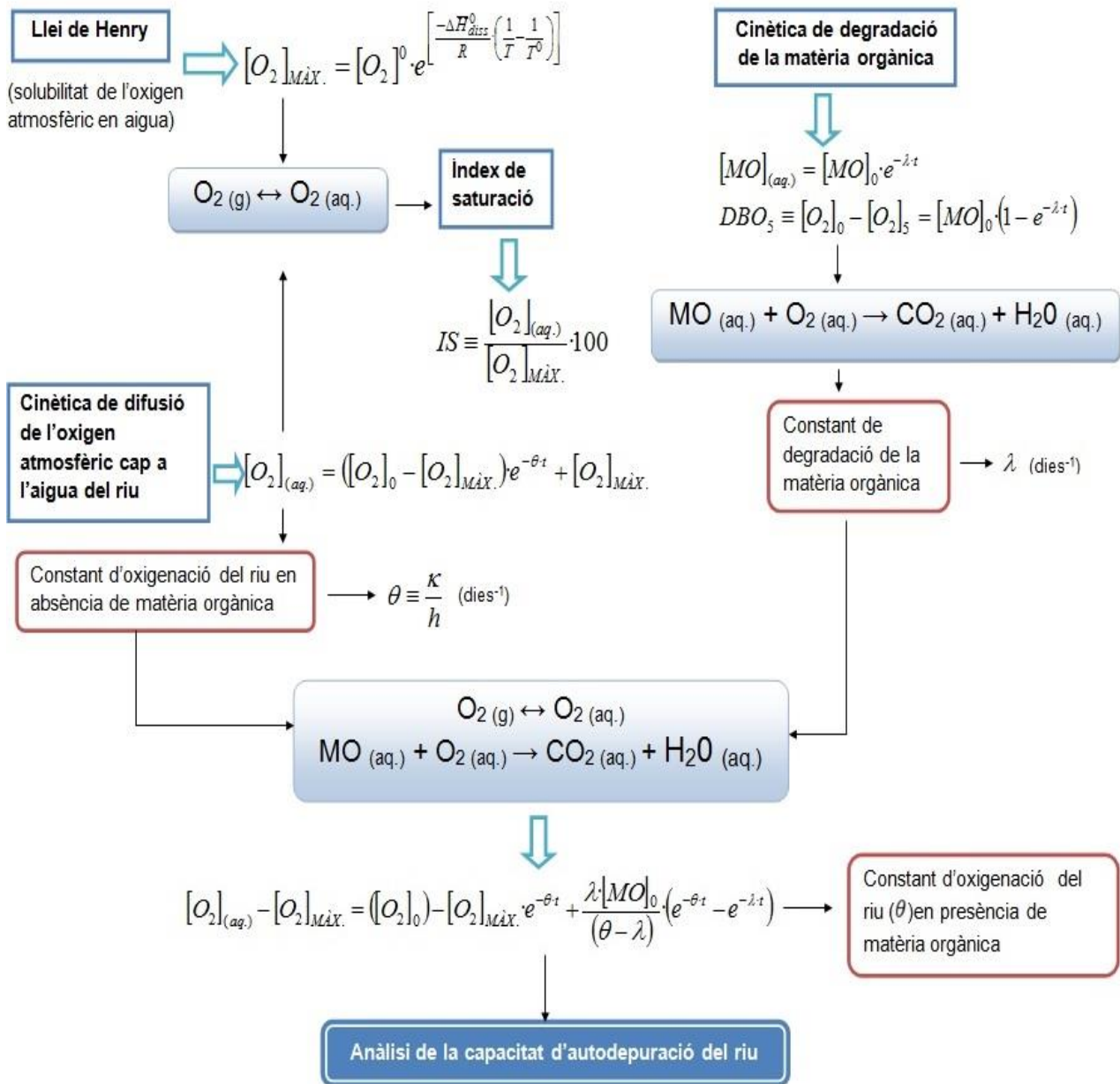
No obstant, per tal de tenir un resultat coherent, cal que el numerador de l'expressió [16] sigui positiu, ja que el denominador sempre ho serà. D'aquesta manera, serà possible estimar el valor mínim de l'abocament de matèria orgànica que porti el riu a condicions d'anòxia, punt a partir del qual els mecanismes d'autodepuració es mostren insuficients per a retornar el riu a les seves condicions inicials d'oxigen dissolt sense produir-se danys ambientals. Aquest valor crític o llindar val, per al cas del tram de l'Ondara considerat:

$$[MO]_0 \geq \frac{\theta - \lambda}{\lambda} \cdot ([O_2]_{eq.} - [O_2]_0) \quad [17]$$

Tot seguit, a partir del coneixement de τ i de la velocitat del riu, és senzill estimar tant a quina distància de l'abocament inicial s'ha produït l'anòxia i quin és el valor de la concentració mínima d'oxigen dissolt en aquest tram del riu.



2.4. Estructura del model teòric



TREBALL DE CAMP I DADES



L'objectiu d'aquest apartat és, per un costat, descriure detalladament la metodologia que s'ha seguit per dur a terme el treball de camp, i per l'altre, exposar les dades obtingudes que ens permetran aplicar el model que hem dissenyat pel riu d'Ondara.

3.1. Treball de camp

El desenvolupament i aplicació posterior del nostre model teòric ha implicat fer una extracció experimental prèvia de dades.

El treball de camp ha consistit en la presa de dues mostres d'aigua als dos extrems d'un tram específic del riu d'Ondara. Posteriorment, les mostres han estat enviades al laboratori d'anàlisi i investigació J. Pujol Balcells, on s'han analitzat els paràmetres necessaris per avaluar l'impacte de la matèria orgànica sobre el curs d'aigua.

El mostreig va dur-se a terme el 28 de juliol a les 8.45h del matí, la primera mostra, i a les 9.04h del matí, la segona.

Paràmetres a analitzar

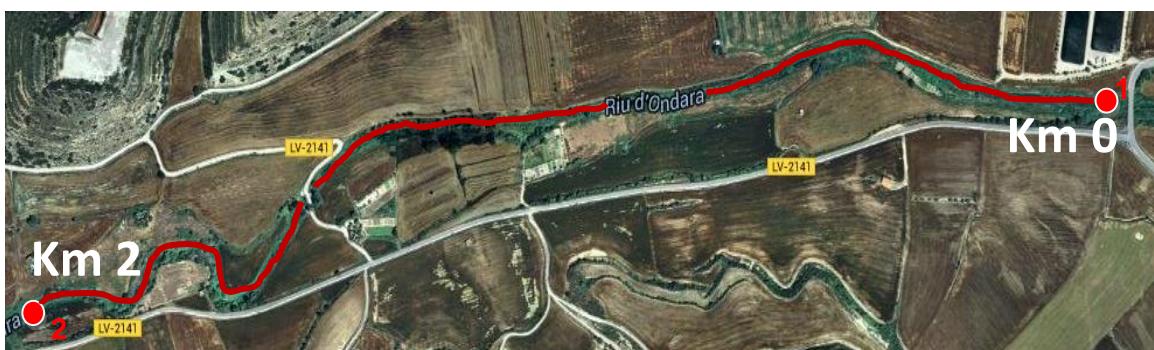
- Demanda Bioquímica d'Oxigen a 5 dies d'incubació (DBO_5) en mg/l.
- Oxigen dissolt ($[O_2]_{(aq)}$) en mg/l.

Simultàniament, també es van mesurar, "in situ":

- Temperatura de l'aire en °C.
- Temperatura de l'aigua en °C.

Selecció dels punts de mostreig

En primer lloc, es va seleccionar una part del trajecte del riu d'una longitud aproximada de 2 quilòmetres. Aquest tram és delimitat entre el pont de Santa Magdalena i la població de Granyanella:



Imatge 9. Situació del tram de riu seleccionat. [Ref. 2.4]



El punt de mostreig 1, es troba situat al quilòmetre zero del tram seleccionat, just passat el pont de Santa Magdalena.



Imatge 10. Punt de mostreig 1. Pont de Santa Magdalena. [Font pròpia]



Imatge 11. Indicis d'abocament de matèria orgànica. [Font pròpia]

Tal i com s'observa a la imatge 11, van trobar-se indicis de clars abocaments al riu amb contingut de matèria orgànica.

El segon punt de mostreig, es troba localitzat a l'altura del quilòmetre dos de la carretera LV-2141 direcció Granyanella.

Per tal de facilitar l'extracció, es va recollir la mostra d'una boca de reg propera a la llera del riu tal i com es pot observar a les imatges 13 i 14.



Imatge 12. Situació punt de mostreig 2: carretera de Granyanella km 2. [Font pròpia]



Imatge 13. Punt de mostreig 2: boca de reg. [Font pròpia]



Imatge 14. Punt de mostreig 2: boca de reg. [Font pròpia]



3.2. Dades

A continuació, es presenta una recopilació de les dades obtingudes que, posteriorment, seran utilitzades en el capítol de resultats.

Per una banda, els resultats de l'anàlisi de les mostres recollides al treball de camp han estat els següents (*vegeu annexos*):

	DBO ₅ (mg/l)	Oxigen dissolt (mg/l)	T aigua (°C)	T aire (°C)
Pont de Santa Magdalena	14,0	7,76	21,5	17
Granyanella	5,0	8,68	24	18

Taula 4. Resultats dels anàlisis. [Font pròpia]

Per l'altra banda, s'ha fet una mitjana dels paràmetres físics quantificables del riu a partir de les dades facilitades pel *Projecte rius* i l'*ApS Water Watchers* desenvolupats a l'institut Antoni Torroja (*vegeu annexos*):

	Mitjana
Amplada (m)	2,5
Fondària (m)	0,18
Secció (m²)	0,45
Velocitat (m/s)	0,535
Cabal (m³/s)	0,24

Taula 5. Mitjana dels paràmetres físics quantificables del riu d'Ondara. [Font pròpia]

RESULTATS



4.1. Avaluació de l'impacte

A partir de les dades bibliogràfiques, en condicions normals, és a dir, a 0°C i a 1 atm, i sabent que el percentatge d'oxigen a l'aire és del 21% , la llei de Henry ens permet trobar la concentració d'oxigen en equilibri (la màxima possible) en dissolució aquosa, que resulta ser de 14,7 mg/l. [Ref. 1.1]

Aquesta dada de referència serà útil per conèixer la concentració d'oxigen en equilibri en dissolució a qualsevol altra temperatura, i en particular a la temperatura en què es van prendre les mostres d'aigua del riu Ondara, segons l'expressió [3]:

$$[O_2]_{eq}(290,5) = 14,7 \cdot \exp \left[\frac{-14.191}{8,314} \cdot \left(\frac{1}{290,5} - \frac{1}{273} \right) \right] = 10,087 \text{ mg/l}$$

Una vegada coneguda quina és la concentració de l'oxigen en equilibri, ja és possible calcular l'índex de saturació segons l'expressió [4] en els dos punts d'obtenció de les mostres.

Per una banda, sota el Pont de Santa Magdalena:

$$I \text{ sat.} = \frac{7,76}{10,087} \cdot 100 = 76,9\%$$

Per l'altra banda, en el quilòmetre 2, aigües avall, de la carretera LV-2141 direcció Granyanella:

$$I \text{ sat.} = \frac{8,68}{10,087} \cdot 100 = 86,1\%$$

Aquest paràmetre ja ens permet fer-nos una primera idea de la capacitat autodepuradora del riu d'Ondara, ja que ha pogut recuperar en un 9,2% la concentració d'oxigen en dos quilòmetres de recorregut.

Si, a continuació, aïllem la constant d'oxigenació θ de l'expressió [8] se n'obté un primer valor aproximat, θ_1 , calculada de forma ideal en absència de matèria orgànica dissolta a l'aigua i fent ús dels valors de l'oxigen dissolt mesurats experimentalment en els punts més alts i més baix del tram:

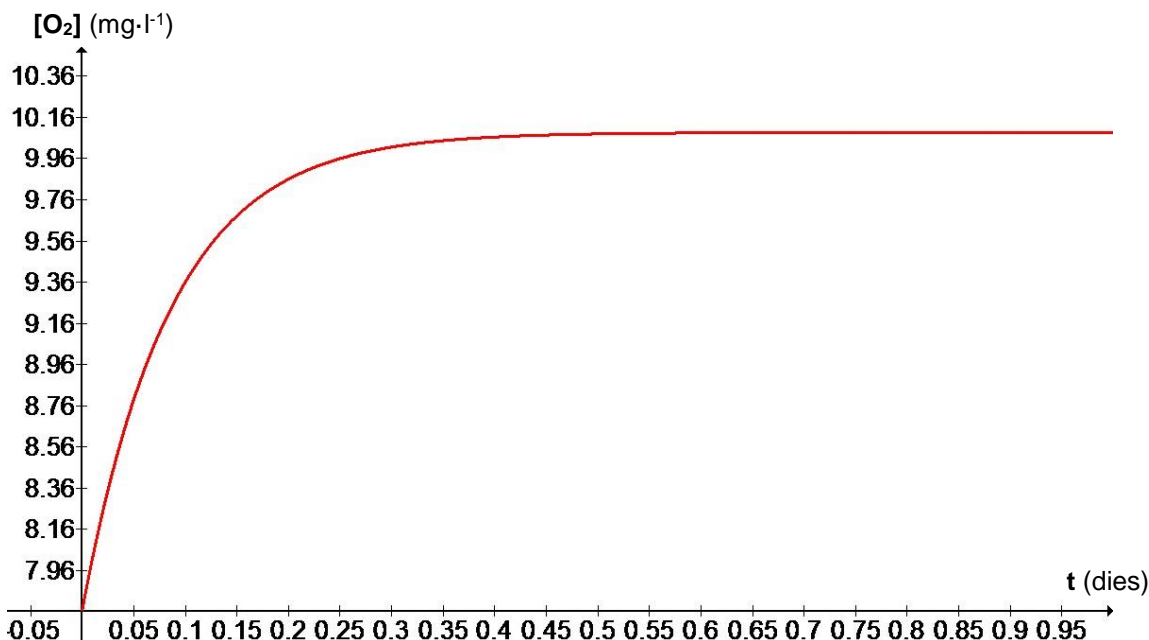
$$\theta_1 = -\frac{1}{3738,6} \cdot \ln \left(\frac{8,68 - 10,087}{7,76 - 10,087} \right) = 1,346 \text{ s}^{-1} = 11,6 \text{ dies}^{-1}$$

Així com l'expressió [3] ens permetia saber la concentració d'oxigen en funció de la temperatura, l'expressió [8] ens l'indicarà en funció del temps. Per tal de fer-ne un seguiment temporal precís, doncs, des del pont de Santa Magdalena fins a dos quilòmetres aigües avall, emprem l'equació:

$$[O_2]_{(aq)}(t) = (7,76 - 10,087) \cdot e^{-1,346 \cdot 10^{-4} \cdot t} + 10,087$$



Aquesta expressió ens permetrà trobar el perfil gràfic i concloure que la concentració d'oxigen en dissolució va augmentat progressivament fins que, al menys teòricament, assoliria el valor d'equilibri de 10,087 mg/l a temps infinit, o bé els 8,68 mg/l finals en un temps finit. Tot plegat, repetim-ho, suposant el cas ideal d'absència de matèria orgànica.



Gràfic 5. Variació de la [O₂] fins al punt d'equilibri. [Font pròpia]
Software: Graph.

Per tant, sabem que si la concentració d'oxigen dissolt al riu d'Ondara disminueix, per altres motius que no siguin els abocament de matèria orgànica, en el tram establert, tendirà a autodepurar-se de forma natural.

D'altra banda, incorporem ara la matèria orgànica i provem de descriure com es reduirà la seva presència, també en funció del temps.

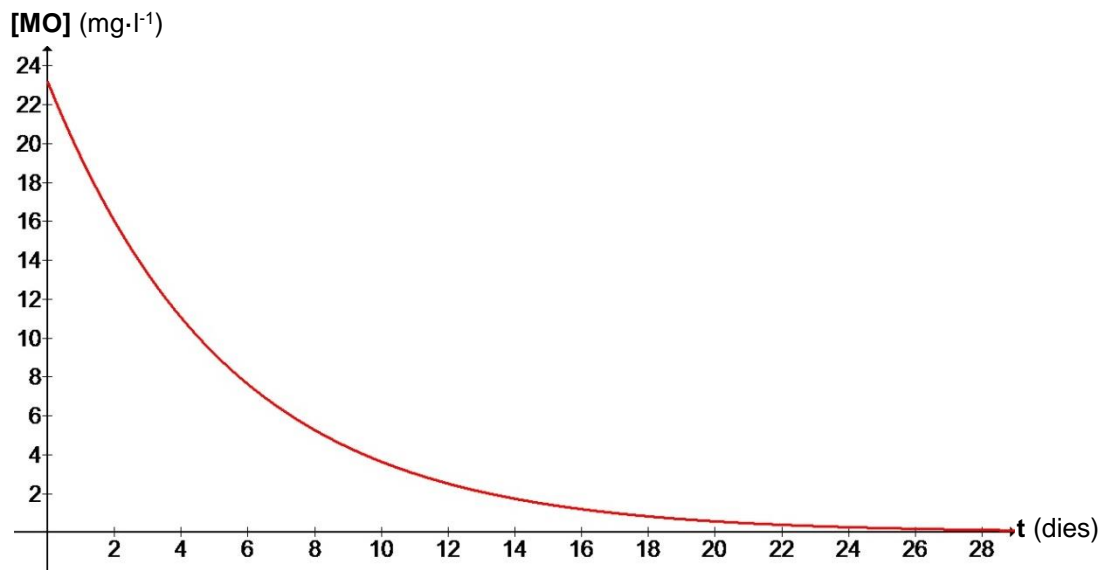
Per a concretar-ho, aïllem la concentració de matèria orgànica inicial $[MO]_0$ de l'expressió [12], per substitució de les dades obtingudes de la DBO₅ relatives a l'anàlisi de la mostra del pont de Santa Magdalena, a més d'emprar la constant λ que en controla la degradació, obtinguda de la bibliografia [Ref. 1.4]:

$$[MO]_0 = \frac{14}{1 - e^{-0,185 \cdot 5}} = 23,2 \text{ mg/l}$$

A continuació, reintroduïm aquesta dada a l'expressió [11] i permetem que el temps actuï de variable independent:

$$[MO](t) = 23,2 \cdot e^{-0,185 \cdot t}$$

Tal i com s'ha fet abans amb la concentració d'oxigen en dissolució, representem gràficament el perfil de la concentració de matèria orgànica en funció del temps:



Gràfic 6. Autodepuració del riu d'Ondara d'una $[MO]_0$ de 23,2 mg/l. [Font pròpia]
Software: Graph.

4.2. Anàlisi del procés d'autodepuració

4.2.1. Determinació del punt crític

El model que dissenyarem ens permetrà, a part del coneixement sobre com evoluciona espacialment i temporal la concentració del contaminant en el medi aquós, determinar la presència o no de punts crítics així com la seva situació en el tram estudiat. Definim, a aquests efectes, el **punt crític** com una condició de no retorn, és a dir, es tracta de la concentració de matèria orgànica mínima a partir de la qual el riu perdrà la capacitat d'autodepurar-se i retornar a la condicions anteriors al vessament. Aquest punt es caracteritzarà per presentar un mínim de concentració d'oxigen dissolt (**anòxia**), en un temps i a una distància del punt d'abocament determinada, ja que els microorganismes l'hauran utilitzat per oxidar majoritàriament la matèria orgànica.

Així doncs, acoblem la difusió de l'oxigen amb la degradació anaeròbica microbiana de la matèria orgànica, i bastim el model de caixa, que ens mena a l'expressió final [14].

A continuació, s'obté un nou valor, millorat, per a la constant d'oxigenació θ_2 en presència de matèria orgànica, aplicant el Teorema de Bolzano fins a la convergència de la funció definida com:

$$f(\theta) = (7,76 - 10,087) \cdot e^{-\theta_2 \cdot 0,044} + \frac{0,185 \cdot 23,2}{\theta_2 - 0,185} \cdot (e^{-\theta_2 \cdot 0,044} - e^{-0,185 \cdot 0,044}) + 8,68 - 10,087 = 0$$

Amb això, el nou valor per la constant d'oxigenació θ_2 és de 14 dies⁻¹.

Aquest nou valor de la constant d'oxigenació es substitueix a l'expressió [17] i es determina el valor mínim de la concentració de matèria orgànica present en un abocament hipotètic d'aquest contaminant necessària per a assolir el **punt crític** ($[MO]_{mínima}$ anòxia màxima).

$$[MO]_0 \geq \frac{14 - 0,185}{0,185} \cdot (10,087 - 7,76)$$

$$[MO]_0 \geq 176,6 \text{ mg/l}$$

A continuació, cal substituir el valor anterior de 176,6 mg/l i la constant d'oxigenació θ_2 a l'expressió [16] per trobar la posició temporal (τ) i espacial ($L = v \cdot t$) d'aquest punt en el tram estudiat.

$$\tau = \frac{1}{14 - 0,185} \cdot \ln \left[\frac{14 \cdot \left((7,76 - 10,087) + \frac{0,185 \cdot 176,6}{14 - 0,185} \right)}{\frac{0,185^2 \cdot 176,6}{14 - 0,185}} \right] = 0,014 \text{ dies}$$

Passant el resultat de τ a segons i coneixent la velocitat del riu, podem calcular L pel cas de l'abocament de 176,6 mg/l.

$$L = 0,535 \cdot 1209,6 = 647,12 \text{ m}$$

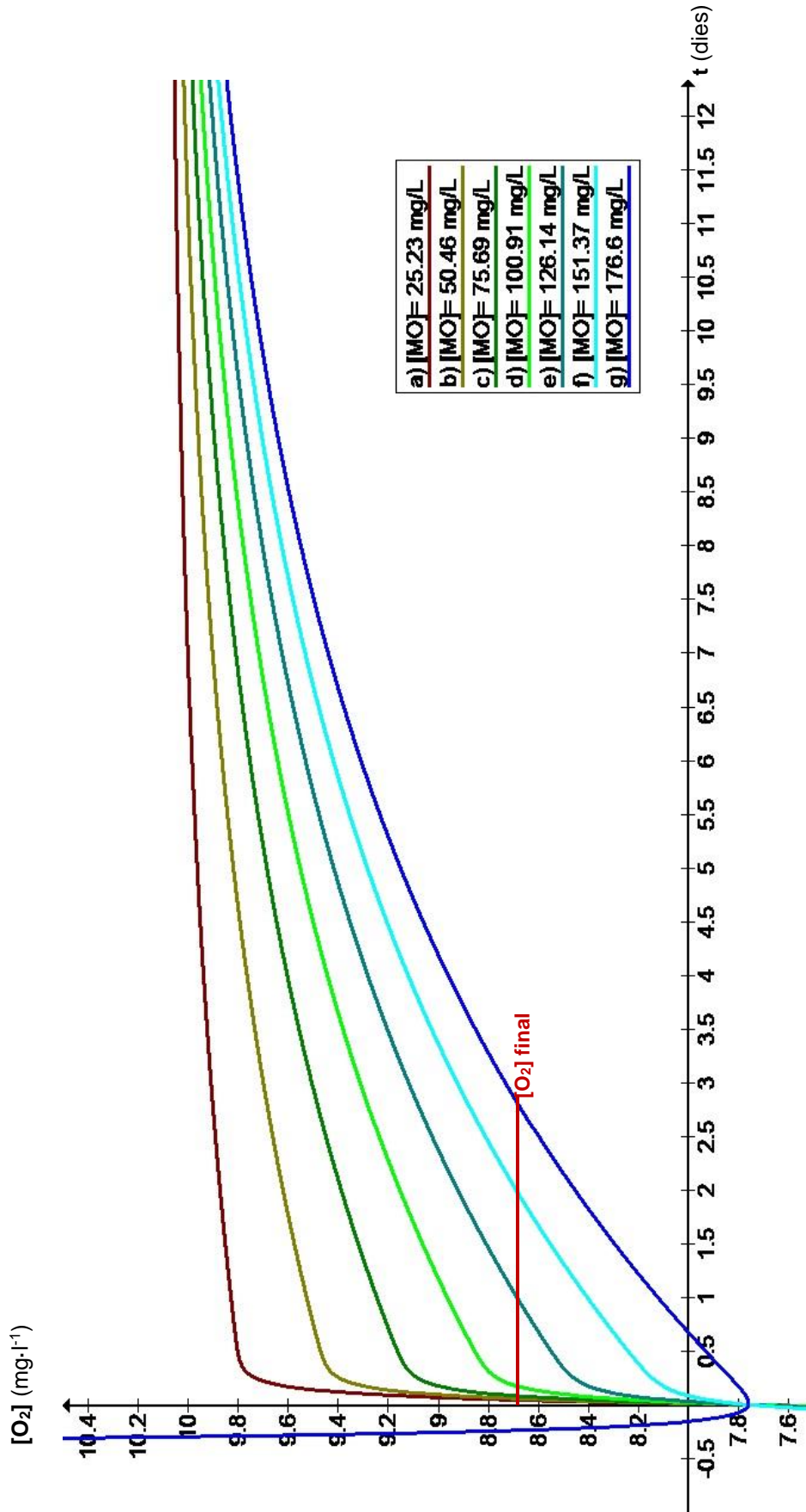
Augmentant la concentració de matèria orgànica inicial associada a l'abocament, podem comprovar que el riu tarda més temps en fer aparèixer el mínim, en altres paraules, tarda més temps en començar el procés de recuperació de la concentració l'oxigen que presentava en les condicions anteriors al vessament. Per exemple, per a una concentració de matèria orgànica inicial de 252,18 mg/l:

$$\tau = \frac{1}{14-0,185} \cdot \ln \left[\frac{14 \cdot \left((7,76-10,087) + \frac{0,185 \cdot 252,18}{14-0,185} \right)}{\frac{0,185^2 \cdot 252,18}{14-0,185}} \right] = 0,229 \text{ dies}$$

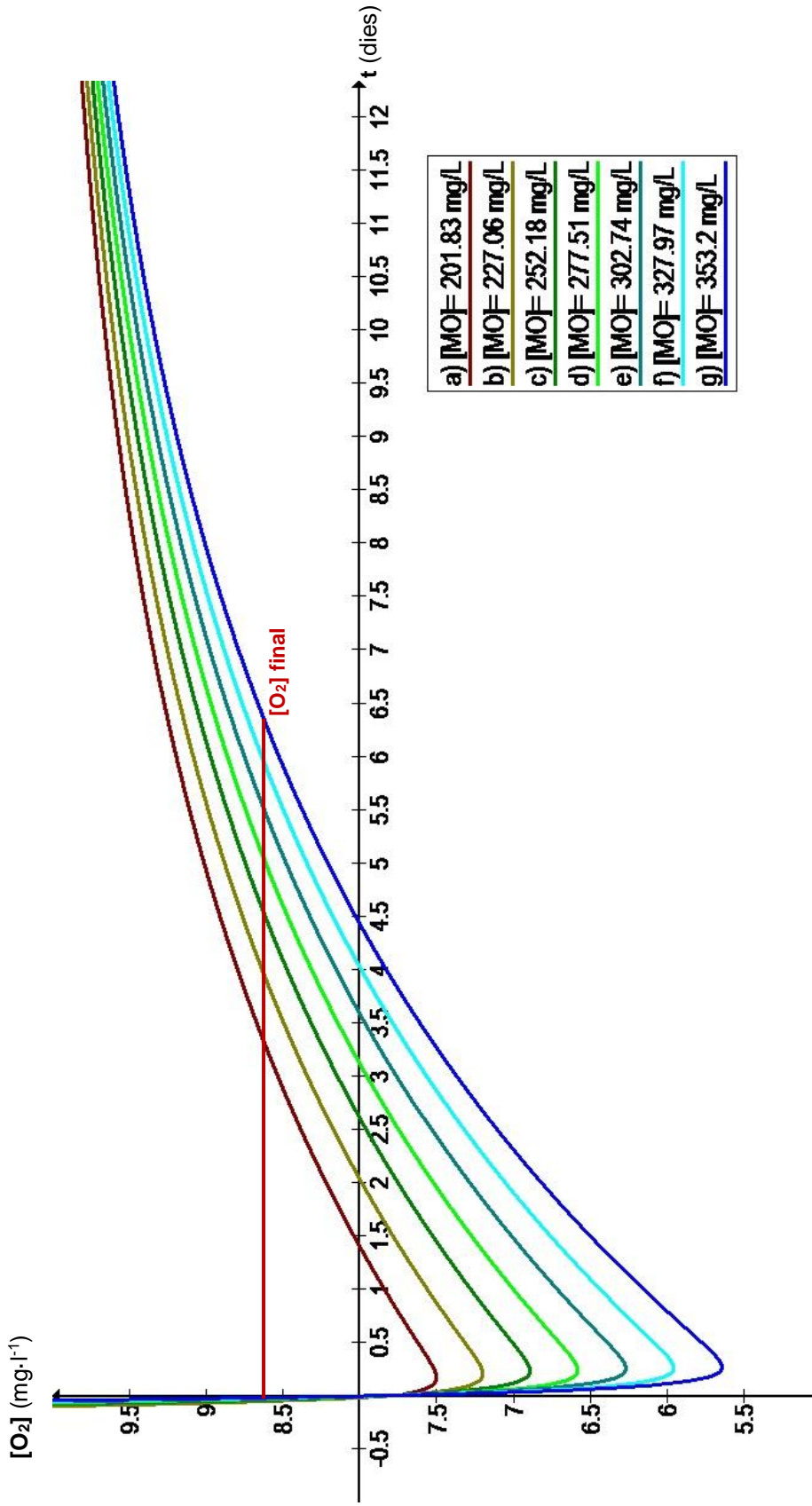
També en aquest cas, calculem la longitud en la qual s'assolirà el punt d'anòxia i comprovem que és major per més quantitat de matèria orgànica:

$$L = 0,535 \cdot 19.785,6 = 10.585,3 \text{ m}$$

Per obtenir més informació, s'han variat les concentracions de matèria orgànica inicial del vessament a l'expressió [14] i s'ha comprovat que, efectivament, no apareix un punt crític fins que no hi ha un abocament de matèria orgànica igual o superior als 176,6 mg/l i que, a mesura que se n'augmenta la concentració, el riu passa més temps en situació d'anòxia tal i com es pot observar a les gràfiques 7 i 8.



Gràfic 7. Variació de la $[MO]_0$ fins a l'aparició d'un punt crític. [Font pròpia]
Software: Graph.



Gràfic 8. Variació dels punts crítics amb la variació de la $[MO]_0$. [Font pròpia]
Software: Graph.



4.2.2. Determinació de la capacitat autodepuradora

Quan es substitueix la concentració inicial de matèria orgànica que simula l'abocament $[MO]_0$ de la primera mostra d'aigua del pont de Santa Magdalena a la funció [14], i en fem la representació gràfica, es comprova que no presenta mínim i, per tant, no tindrà punt crític. Això significa que el riu podrà autodepurar un abocament de 23,2 mg/l de matèria orgànica sense entrar en fase anòxica. Serà quan s'aboquin 176,6 mg/l de matèria orgànica quan l'Ondara ja no tornarà a les seves condicions anteriors sense passar abans per un tram important d'anòxia (impacte), concretament la concentració d'oxigen dissolt no es començarà a recuperar fins passada una distància d'aproximadament 647 m aigües avall, tal i com es mostra a la taula annexa:

θ_1 (dies ⁻¹)	$[MO]_0$ (mg/l)	θ_2 (dies ⁻¹)	$[MO]_{mínima}$ (mg/l)	τ (dies)	L (m)
11,6	23,2	14	176,6	0,014	647,12

Taula 6. Recull dels resultats numèrics obtinguts. [Font pròpia]

CONCLUSIONS



1- El valor de l'índex de saturació IS del riu Ondara, que no és més que un indicador primari i bàsic del nivell d'oxigenació de les aigües, és d'un 76,9% en el primer punt de mostreig, i d'un 86,1%, en el segon punt. Això significa que el riu ha recuperat la seva concentració aquosa d'oxigen en un 9,2% durant un tram de 2 quilòmetres de longitud. Partint d'aquests valors, podem concloure que el riu té una capacitat d'autodepuració d'un 4,6% d'oxigen en dissolució per quilòmetre.

2- La constant d'oxigenació θ és el coeficient que governa el procés de recuperació d'oxigen del riu. Sabent que $\theta = \frac{k}{h}$, podem dir que la profunditat del reservori hídic determinarà el valor de la constant, atès que són en relació de proporcionalitat inversa. En particular, la fondària del riu d'Ondara és d'una mitjana anual de 0,18 m, valor de poca magnitud. En conseqüència, la constant d'oxigenació serà elevada, factor que implica que les aigües del riu s'oxigenen més ràpidament que d'altres cursos d'aigua més profunds.

3- A més a més, segons la font bibliogràfica 1.3, la reoxigenació dels sistemes aquàtics és afavorida, també, a baixos cabals i velocitats del curs d'aigua lents. Així doncs, ja que el riu d'Ondara s'ajusta a aquest perfil – vegeu les dades del *Projecte Rius* i de *l'ApS Water Watchers* dels annexos -, podem afirmar que, a priori, el seu procés de recuperació d'oxigen dissolt seria ràpid, tal i com ho confirma el valor estimat de la primera constant d'oxigenació d'11,6 dies⁻¹. No cal oblidar, no obstant, que aquest valor correspon al cas ideal d'absència de matèria orgànica.

4- Pel que fa a la matèria orgànica, l'anàlisi de la mostra d'aigua recollida al pont de Santa Magdalena indicava un nivell de DBO₅ de 14,0 mg/l. Segons la font bibliogràfica 1.3, podem concloure que aquest valor correspon a l'abocament d'aigües residuals municipals. Per una altra banda, segons la font bibliogràfica 1.4, la constant de degradació aeròbica de la matèria orgànica en el tram analitzat val $\lambda = 0,185$ dies⁻¹. Aquesta constant determinarà la velocitat a la qual la matèria orgànica serà degradada pels microorganismes aerobis presents al riu, de manera que valors més alts d'aquest paràmetre conduiran a degradacions més ràpides.

5- La primera constant d'oxigenació θ_1 , d'11,6 dies⁻¹, s'ha calculat per un cas ideal d'absència de matèria orgànica. No obstant, quan tenim en compte la presència de matèria orgànica dissolta a l'aigua, obtenim una segona constant d'oxigenació θ_2 millorada i més realista de 14 dies⁻¹.

El fet de que θ_1 sigui més petita que θ_2 és a causa que en la segona tenim en compte el procés pel qual els microorganismes aerobis utilitzen l'oxigen dissolt per degradar la matèria orgànica present en el sistema, és a dir, a mesura que l'oxigen aquós es consumeix per reacció amb la matèria orgànica, el flux d'oxigen atmosfèric necessari per a aquest procés a l'aigua del riu, forçosament, també s'incrementa.

6- La capacitat d'autodepuració del riu d'Ondara variarà en funció de la càrrega inicial de matèria orgànica, de forma que si la concentració d'aquest contaminant no és massa important, no es produiran punts d'anòxia al tram analitzat i, per tant, les aigües es recuperaran progressivament des de l'instant que es produeixi l'abocament.



7- Lligant amb la conclusió anterior, podem afirmar que tant el temps (Δt) com la distància (L) de recuperació dels nivells d'oxigen dissolt a baixes concentracions de matèria orgànica serà més gran en funció de la quantitat de càrrega de l'abocament:

DBO ₅ (mg/l)	[MO] ₀ (mg/l)	[O ₂] ₀ (mg/l)	[O ₂] _{final} (mg/l)	(Δt) (h)	L (km)
60,9	100,91	7,76	8,68	3,96	7,6
74,12	126,14			23,70	45,7
91,34	151,37			47,35	91,1

Taula 7. Comparació de la variació de Δt i L en funció de la [MO]₀ definida per la corresponent DBO₅.
[Font pròpia]

8- En canvi, s'ha descobert l'existència del que hem anomenat un **punt crític**, és a dir, un temps (τ) i una distància (L), mesurats des del punt d'abocament, en què la concentració d'oxigen dissolt al riu d'Ondara esdevé mínima. Concretament, s'ha estimat que es produirà aquest punt crític quan la concentració de matèria orgànica associada a l'abocament sigui igual o superior als 176,6 mg/l. A aquestes concentracions, els mecanismes naturals de depuració del riu faran fallida, tot provocant episodis d'anòxia.

9- Per contrast amb les dades exposades a la setena conclusió, els abocaments de matèria orgànica de concentració igual o superior als 176,6 mg/l, provocaran l'aparició d'un punt crític en què la concentració d'oxigen dissolt serà mínima. Com més elevada sigui la quantitat de matèria orgànica de l'abocament, tant més temps restarà el riu Ondara en situació d'anòxia, i les seves aigües hauran de recórrer distàncies majors abans de l'inici de la recuperació/autodepuració (vegeu els valors de L de la taula 8). Tot això pot ser reproduït, tant de manera gràfica com teòrica, pel model que s'ha dissenyat en aquest treball. Els resultats, per a diverses concentracions comparatives de matèria orgànica abocades al riu Ondara, es reflecteixen a la taula següent:

DBO ₅ (mg/l)	[MO] ₀ (mg/l)	τ (s)	[O ₂] _{(aq) mínima} (mg/l)	L (m)
14	23,2	-	-	-
106,6	176,6	1209,6	7,76	647,14
152,2	252,18	19785,6	6,89	10585,3

Taula 8. Comparació de τ , [O₂]_{mínima} i L per diferents [MO]₀ definides per la corresponent DBO₅.
[Font pròpia]

10- Segons els informes de l'Empresa municipal d'aigües de Cervera, S.L. (vegeu *annexos*) la DBO₅ de les aigües residuals que van entrar a la EDAR de Cervera el dia 5 de juny del 2014 va ser de 320 mg/l i, per tant, fent servir l'expressió [11], estimem que la concentració de matèria orgànica dels abocaments era de 530 mg/l. Després del procés de depuració artificial, la nova DBO₅ de l'anàlisi de la mostra d'aigua era inferior als 5 mg/l. Així doncs, altra vegada fent servir l'expressió [11], sabem que la concentració de matèria orgànica final havia de ser menor de 8,29 mg/l.

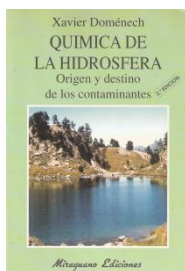
La diferència entre la concentració de matèria orgànica inicial de 530 mg/l i la final, menor a 8,29 mg/l, juntament amb els resultats de la nostra anàlisi, ens fa concloure que la EDAR de Cervera és indispensable per al manteniment del riu. Però aquesta condició, tot i ser necessària, no és suficient, atès que els abocaments de matèria orgànica associats als diferents nuclis de població situats al llarg del curs del riu Ondara aporten una DBO₅ de 227 mg/l directament a la llera. Aquest valor és equivalent a una concentració de matèria orgànica inicial de 376,16 mg/l, càrrega que provocarà que els mecanismes naturals de depuració del riu facin fallida, tal i com s'ha demostrat.

BIBLIOGRAFIA





Bibliografia



1.1 DOMÈNECH, XAVIER. *Química de la hidrosfera. Origen y destino de los contaminantes.* Ed. Miraguano Ediciones. 1998



1.2 BALASCH SOLANES, J. CARLES i PASCUAL DÍAZ, MANEL. *Història natural de la Segarra. Les aigües superficials.* 2006



1.3 FIGUERUELO, JUAN E. i DÁVILA, MARTÍN M. *Química y Física del medio ambiente.* Ed. Reverté,SA. 2001



1.4 DUNYÓ COLOM, MÍRIAM i CARBONELL TRILLA, MATEU *Impacte de les aigües residuals urbanes sobre els torrents de la Segarra. El cas de la Ribera d'Ondara.* IES ANTONI TORROJA. 2009



Webgrafia



2.1 Institut d'Estadística de Catalunya - www.idescat.cat



2.2 Agència Catalana de l'Aigua - <https://aca-web.gencat.cat>



2.3 Consell Comarcal de la Segarra - www.ccsegarra.cat



2.4 Google maps - <https://maps.google.es>

ANNEXOS

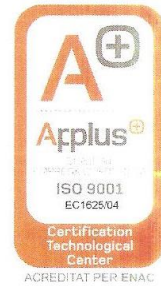




1. Resultats dels anàlisis del treball de camp



LABORATORI D'ANÀLISIS I INVESTIGACIÓ
J. PUJOL BALCELLS
 Autorització n°: R1-102-97
 Fluvià, 16 - Telèfon: 973550666
 25210 GUISSONA (Lleida)
 NIF: 40862402G



Guissona, 11/08/2014

Referència: 6256

Sol·licitant : Institut Antoni Torroja

Punt de mostreig: Pont de Santa Magdalena.

Data i hora recollida: 28/07/2014 a les 8:45

Data i hora d'arribada: 28/07/2014 a les 10:00

Observacions: T^a aire: 21,5 °C - T^a aigua: 17 °C

ANÀLISI FÍSICO-QUÍMICA D'AIGUA

Data i hora d'inici de l'anàlisi: 28/07/2014 a les 10:30

D.B.O.5: PNT-aq-E1-DBO5..... **14,0** mg/l

Oxigen dissolt..... **7,760** mg/l

Dictamen: .

Responsable del laboratori : Josep Pujol

Pagina 1 de 1

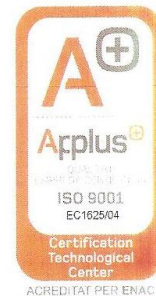
Nota: Els resultats només deixen constància de la mostra analitzada



LABORATORI D'ANÀLISIS I INVESTIGACIÓ

J. PUJOL BALCELLS

Autorització n°: R1-102-97
Fluviá, 16 - Telèfon 973550666
25210 GUISSONA (Lleida)
NIF: 40862402G



Guissona, 11/08/2014

Referència: 6257

Sol.licitant : Institut Antoni Torroja

Punt de mostreig: **Granyanella Km2.**

Data i hora recollida: **28/07/2014** a les 9:04

Data i hora d'arribada: 28/07/2014 a les 10:00

Observacions: Tª aire: 24 °C - Tª aigua: 18 °C

ANÀLISI FÍSICO-QUÍMICA D'AIGUA

Data i hora d'inici de l'anàlisi: 28/07/2014 a les 10:30

D.B.O.5: PNT-aq-E1-DBO5..... **5,0** mg/l

Oxigen dissolt..... **8,680** mg/l

Dictamen: .

Responsable del laboratori : Josep Pujol

Pagina 1 de 1

Nota: Els resultats només deixen constància de la mostra analitzada

2. Informes de l'empresa municipal d'aigües de Cervera



* Los ensayos marcados no están amparados por la acreditación de ENAC.

DATOS GENERALES
INFORME Nº: 1416079
ANÁLISIS Nº: 2226581
MUESTRA REMITIDA POR: EMPRESA MUNICIPAL D'AIGUES DE CERVERA, S.L.
DOMICILIO: PLAZA MAJOR, 1
POBLACION: 25200-CERVERA (LLEIDA)
DENOMINACIÓN MUESTRA: Entrada EDAR Cervera
DESCRIPCIÓN MUESTRA: Envase de plástico de 2 L(1), conteniendo agua residual
FECHA RECEPCIÓN: 5/06/2014
FECHA FINALIZACIÓN Y EMISIÓN: 25/06/2014

Análisis realizado por LABAQUA Rubí, ENAC nº 109/LE983, C/ Apel·les Mestres 9, Local 1 - 08191 RUBÍ - Tel. 93 699 54 45 - Fax 93 699 59 70:

Fecha inicio análisis 5/06/2014.

PARÁMETROS	MÉTODOS	RESULTADOS	UNIDADES
Caracteres Físico-Químicos			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Método manométrico Ca-R-PE-0001	320	mg/L
Demanda Química de Oxígeno	Reflujo abierto Ca-R-PE-0022	438	mg/L
Sólidos en suspensión	Gravimetría Ca-R-PE-0005	291	mg/L
Metales			
* Fósforo	Espectrofotometría UV-VIS Ca-R-PE-0021	11.3	mgP/L

INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL CLIENTE
FECHA DE TOMA: 3/06/2014
APB/030614/02/E
A84728

Este informe sólo afecta a la muestra analizada. Sólo podrá reproducirse parcialmente con la autorización por escrito del laboratorio. El laboratorio dispone de la incertidumbre de sus medidas a disposición del cliente.

Aprobado en Labaqua Catalunya por Técnico Superior: Núria Campo Mombiola, Director Técnico: Marta Gil Farriol.

Documento firmado electrónicamente. Autenticidad verificable mediante código seguro 5b7cb2d88c568113da3d6e31aece9755f0665059 en www.fnmt.es.

Emitido en Rubí, 25 de Junio de 2014



* Los ensayos marcados no están amparados por la acreditación de ENAC.

DATOS GENERALES
INFORME N°: 1416080
ANÁLISIS N°: 2102835
MUESTRA REMITIDA POR: EMPRESA MUNICIPAL D'AIGUES DE CERVERA, S.L.
DOMICILIO: PLAZA MAJOR, 1
POBLACION: 25200-CERVERA (LLEIDA)
DENOMINACIÓN MUESTRA: Salida Integrada
DESCRIPCIÓN MUESTRA: Envase de plástico de 2 L(1), conteniendo agua residual
FECHA RECEPCIÓN: 5/06/2014
FECHA FINALIZACIÓN Y EMISIÓN: 25/06/2014

Análisis realizado por LABAQUA Rubí, ENAC n° 109/LE983, C/ Apel·les Mestres 9, Local 1 - 08191 RUBÍ - Tel. 93 699 54 45 - Fax 93 699 59 70:

Fecha inicio análisis 5/06/2014.

PARÁMETROS	MÉTODOS	RESULTADOS	UNIDADES
Caracteres Físico-Químicos			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Método manométrico Ca-R-PE-0001	< 5	mg/L
Demanda Química de Oxígeno	Reflujo abierto Ca-R-PE-0022	< 30	mg/L
Sólidos en suspensión	Gravimetría Ca-R-PE-0005	5	mg/L
Metales			
* Fósforo	Espectrofotometría UV-VIS Ca-R-PE-0021	1.4	mgP/L

INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL CLIENTE
FECHA DE TOMA: 3/06/2014
APB/030614/02/S
A84732

Este informe sólo afecta a la muestra analizada. Sólo podrá reproducirse parcialmente con la autorización por escrito del laboratorio. El laboratorio dispone de la incertidumbre de sus medidas a disposición del cliente.

Aprobado en Labaqua Catalunya por Técnico Superior: Núria Campo Mombiola, Director Técnico: Marta Gil Farriol.

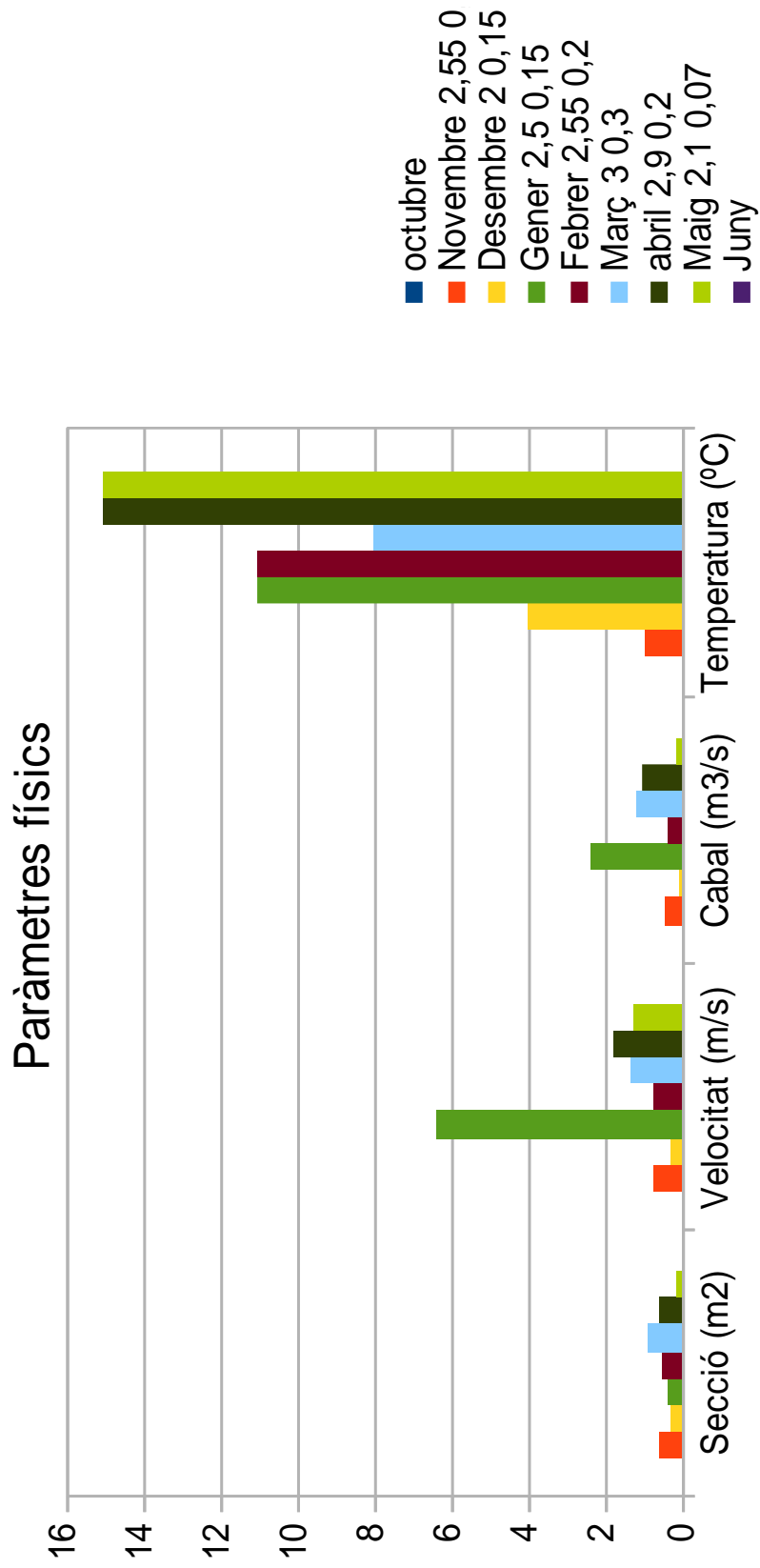
Documento firmado electrónicamente. Autenticidad verificable mediante código seguro 5b7cb2d88c568113da3d6e31aece9755f0665059 en www.fnmt.es.

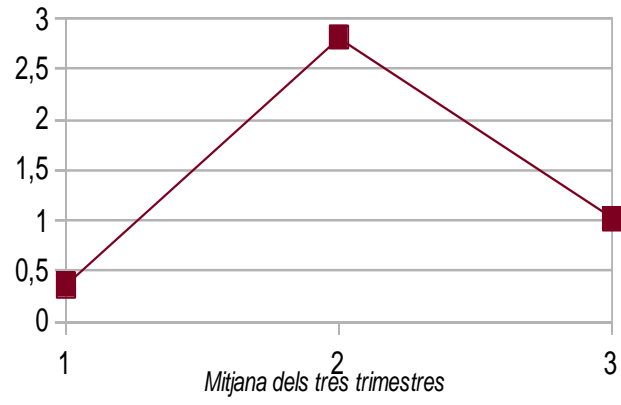
Emitido en Rubí, 25 de Junio de 2014

4. Dades del *Projecte rius* i l'*ApS Water Watchers*

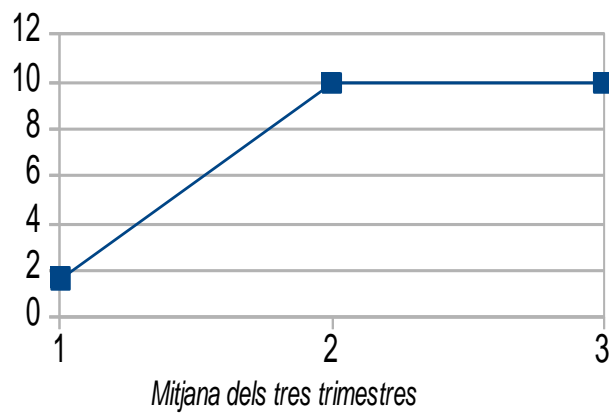
PARÀMETRES FÍSICS QUANTIFICABLES

	Octubre	Novembre	Desembre	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny
Amplada (m)		2,55	2	2,5	2,55	3	2,9	2,1	
Fondària (m)		0,22	0,15	0,15	0,2	0,3	0,2	0,066	
Secció (m²)	0	0,561	0,3	0,375	0,51	0,9	0,58	0,1386	0
Velocitat (m/s)		0,77	0,3	6,38	0,75	1,3	1,8	1,25	
Cabal (m³/s)	0	0,43197	0,09	2,3925	0,3825	1,17	1,044	0,17325	0
Temperatura (°C)		1	4	11	11	8	15	15	

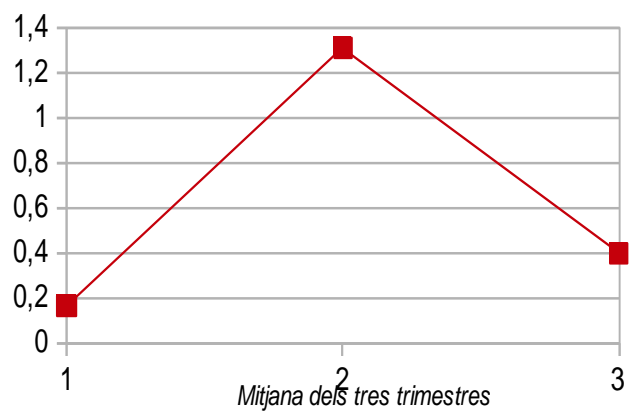




Evolució mitjana de la velocitat



Evolució mitjana de la temperatura



Evolució mitjana del cabal



4. Anàlisis utilitzats per a la deducció de la constant λ

aqualia LAB
Lleida

INFORME D'ASSAIGS

aqualiaLAB-Lleida
Crtra. D'Osca, km. 5'5
25198 LLEIDA
Tel.- Fax: 973 220 664

Nº informe: E1-08-3026

Laboratori autoritzat per la Direcció General de Salut Pública del
Departament de Salut de la Generalitat de Catalunya amb el nº R1-083-96

IDENTIFICACIÓ DEL CLIENT

Nom:	I.E.S. Antoni Torroja	Telèfon:	973 53 14 50
Població:	CERVERA	Fax:	973 53 17 15
Domicili/Codi Postal:	Edifici universitat, s/n/25200	Província:	Lleida

IDENTIFICACIÓ DE LA MOSTRA (PEL CLIENT)

Tipus de mostra:	Aigua Residual
Municipi:	
Punt de mostreig:	Hostalets (riu)
Codi SINAC PM:	
Data de mostreig:	15/09/2008
Recollida per:	Client

DADES DE CONTROL

Data de recepció:	16/09/2008
Data inici anàlisi:	16/09/2008
Data final anàlisi:	06/10/2008
Codi mostra:	E1-08-3026
Tipus d'anàlisi:	Control particular

DADES ANALÍTIQUES APORTADES PEL CLIENT

RESULTATS DE L'INFORME D'ASSAIG

Paràmetres físico-químics			Incertesa exp. (k=2)
Paràmetres	Mètode	Resultat Unitats	Interval
D.B.O.3	PNT-aq-E1-DBO	2 mg/l	
D.B.O.4	PNT-aq-E1-DBO	3 mg/l	
D.B.O.5	PNT-aq-E1-DBO	3 mg/l	
D.B.O.6	PNT-aq-E1-DBO	5 mg/l	
D.B.O.7	PNT-aq-E1-DBO	6 mg/l	
Oxígen dissolt	PNT-aq-E1-OXIG/X	7,33 mg/l	

INFORME D'ASSAIGS

aqualiaLAB-Lleida
 Crtra. D'Ozca, km. 5'5
 25198 LLEIDA
 Tel.- Fax: 973 220 664

N° informe: E1-08-3025

Laboratori autoritzat per la Direcció General de Salut Pública del
 Departament de Salut de la Generalitat de Catalunya amb el n° R1-083-96

IDENTIFICACIÓ DEL CLIENT			
Nom:	I.E.S. Antoni Torroja	Telèfon:	973 53 14 50
Població:	CERVERA	Fax:	973 53 17 15
Domicili/Codi Postal:	Edifici universitat, s/n/25200	Província:	Lleida

IDENTIFICACIÓ DE LA MOSTRA (PEL CLIENT)		DADES DE CONTROL	
Tipus de mostra:	Aigua Residual	Data de recepció:	16/09/2008
Municipi:		Data inici anàlisi:	16/09/2008
Punt de mostreig:	Sant Antolí (poble)	Data final anàlisi:	06/10/2008
Codi SINAC PM:		Codi mostra:	E1-08-3025
Data de mostreig:	15/09/2008	Tipus d'anàlisi:	Control particular
Recollida per:	Client		

DADES ANALÍTIQUES APORTADES PEL CLIENT	

RESULTATS DE L'INFORME D'ASSAIG				
Paràmetres físico-químics				Incertesa exp. (k=2)
Paràmetres	Mètode	Resultat	Unitats	Interval
D.B.O.3	PNT-aq-E1-DBO	2	mg/l	
D.B.O.4	PNT-aq-E1-DBO	3	mg/l	
D.B.O.5	PNT-aq-E1-DBO	3	mg/l	
D.B.O.6	PNT-aq-E1-DBO	4	mg/l	
D.B.O.7	PNT-aq-E1-DBO	5	mg/l	
Oxigen dissolt	PNT-aq-E1-OXIG/X	5,39	mg/l	

**aqualia LAB**
Lleida**INFORME D'ASSAIGS****aqualiaLAB-Lleida**
Crtra. D'Ozca, km. 5'5
25198 LLEIDA
Tel.- Fax: 973 220 664

Nº informe: E1-08-3027

Laboratori autoritzat per la Direcció General de Salut Pública del
Departament de Salut de la Generalitat de Catalunya amb el nº R1-083-96**IDENTIFICACIÓ DEL CLIENT**

Nom:	I.E.S. Antoni Torroja	Telèfon:	973 53 14 50
Població:	CERVERA	Fax:	973 53 17 15
Domicili/Codi Postal:	Edifici universitat, s/n/25200	Província:	Lleida

IDENTIFICACIÓ DE LA MOSTRA (PEL CLIENT)

Tipus de mostra:	Aigua Residual
Municipi:	
Punt de mostreig:	EDAR Cervera
Codi SINAC PM:	
Data de mostreig:	15/09/2008
Recollida per:	Client

DADES DE CONTROL

Data de recepció:	16/09/2008
Data inici anàlisi:	16/09/2008
Data final anàlisi:	06/10/2008
Codi mostra:	E1-08-3027
Tipus d'anàlisi:	Control particular

DADES ANALÍTIQUES APORTADES PEL CLIENT**RESULTATS DE L'INFORME D'ASSAIG**

Paràmetres físico-químics			Incertesa exp. (k=2)
Paràmetres	Mètode	Resultat Unitats	Interval
D.B.0.3	PNT-aq-E1-DBO	2 mg/l	
D.B.0.4	PNT-aq-E1-DBO	2 mg/l	
D.B.0.5	PNT-aq-E1-DBO	2 mg/l	
D.B.0.6	PNT-aq-E1-DBO	2 mg/l	
D.B.0.7	PNT-aq-E1-DBO	2 mg/l	
Oxígen dissolt	PNT-aq-E1-OXIG/X	8,27 mg/l	

