

Marta Magriñá Picó

BIOINDICACIÓ COM A CONTROL DE PROCESSOS

TREBALL DE FI DE GRAU

dirigit per la Dra. Rosa Caballol i pel Sr. Josep Lizalde

Grau de Química



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2015

ABSTRACT

The study is conducted in the sewage treatment plant of Clariant. You want to find a number of biomarkers parameters for process control. I found a number of biomarkers parameters that can be associated with different states of the system and as a consequence the quality of debugging.

The micro fauna present in the biological reactor is constantly changing and can predict the tendency of the reactor to more or less favorable conditions for the process, and thus act in time to avoid too drastic changes to the ecosystem.

CONCLUSIONS

Find biomarkers parameters for process control of industrial sewage its complex because the bacterial life is affected by many parameters. It's important to find specific biomarkers and their meanings to use the bio indication as process control tool.

It is possible to make reliable predictions with some biomarkers and less reliable with others.

We can say that from the microscopic observation of the biological reactor can be drawn fairly accurate conclusions status process.

ÍNDEX

0. Objectiu	pàg.5
1. Introducció	pàg.5
2. Fonaments del treball	pàg.6
2.1.El procés de depuració	pàg.6
2.2.Característiques de les aigües residuals	pàg.6
2.3.Paràmetres químics de la qualitat de l'aigua	pàg.8
2.4.Tractament secundari	pàg.9
2.5.Paràmetres de control del reactor biològic.....	pàg.10
2.6.Ecosistema depurador	pàg.11
2.7.Assaig de respirometria	pàg.13
3. Procés experimental	pàg.14
3.1.Introducció	pàg.14
3.2.Esquema i funcionament de la planta	pàg.14
3.3.Anàlisis químiques	pàg.15
3.4.Avaluació de la qualitat del fang biològic	pàg.19
3.5.Estudi de la fauna present	pàg.20
3.6.Assaig de respirometria	pàg.23
4. Resultats i discussions	pàg.25
5. Conclusions	pàg.33
6. Bibliografia	pàg.33
7. Annex	pàg.34
7.1.Fitxes de bioindicació com a control de processos desenvolupades per a l'empresa	

0. OBJECTIU

L'objectiu d'aquest treball és trobar una sèrie de paràmetres bioindicadors per al control de processos d'una depuradora d'aigua residual industrial per tal de poder optimitzar i controlar el procés d'una manera ràpida i eficient.

1. INTRODUCCIÓ

Cada vegada són més els estudis que es duen a terme sobre bioindicació com a control de processos en depuradores urbanes, els quals obtenen cada vegada més bons resultats. Relacionar la fauna existent en el reactor biològic d'una depuradora d'aigües amb el rendiment que s'obtindrà en quant a depuració és cada vegada més utilitzat. A Espanya, el GBS, Grup de bioindicació de Sevilla, ha dut a terme diversos estudis en varies depuradores urbanes i ha publicat recentment un manual pràctic per a dur a terme un estudi d'aquest tipus. A l'empresa ens vam preguntar si seria possible trobar bioindicadors per a la depuradora de la planta per a poder utilitzar la bioindicació com a eina de control del procés.

Ja que el laboratori de la planta disposa de totes les eines necessàries per a poder dur a terme l'estudi, un microscopi, un respiròmetre... es va decidir dur a terme l'estudi i intentar trobar paràmetres bioindicadors que ajudessin a prendre decisions quan apareguessin contratemps o a predir i evitar situacions anòmales en el procés.

No es pretén dur a terme un estudi a fons sobre la microfauna, sinó poder predir més profundament l'estat del sistema ajudant-te de bioindicadors com a eina addicional. El GBS dóna molta importància a l'estudi i caracterització de les bactèries filamentoses, però degut a la complexitat a l'hora de diferenciar-les s'ha optat per fer un estudi de fauna a nivell més general.

L'objectiu d'aquest treball és desenvolupar un manual de bioindicació per a la depuradora d'aigües industrials de l'empresa Clariant, on es pugui treure una idea de l'estat del sistema amb una observació ràpida al microscopi.

2. FONAMENTS DEL TREBALL

2.1.El procés de depuració

En el procés de depuració d'aigües es diferencien dos tractaments, el químic-físic i el biològic.

En el tractament químic-físic o tractament primari les aigües residuals passen per un procés de floculació-coagulació on s'elimina la matèria col·loïdal de la mostra. La floculació es sol dur a terme amb una sal d'algun metall i una base. En la coagulació intervé un bio-polímer que agrupa els flocs. Tot seguit les aigües coagulades i floculades passen al decantador primari on per acció de la gravetat precipiten els coàguls i queda l'aigua com a sobrenedant. Aquest sobrenedant del tractament primari s'ajusta i passa al tractament secundari.

El tractament biològic o secundari elimina la matèria orgànica biodegradable de l'aigua per acció de microorganismes. A la bassa d'aeració o reactor biològic s'hi troba un cultiu de micobacteris que degraden la matèria orgànica. El següent pas és deixar decantar els fangs biològics i com a sobrenedant ja s'obté l'aigua depurada.

Els fangs tant provinents del tractament primari com del secundari es tracten adequadament.

2.2.Característiques de les aigües residuals

El coneixement de la naturalesa de l'aigua residual és fonamental per a poder tractar-la de la manera més adient i fer una bona gestió de la qualitat mediambiental. Les característiques de les aigües residuals es poden classificar segons la seva naturalesa en físiques, químiques i biològiques.

2.2.1. Característiques físiques de l'aigua

Les característiques físiques més importants de contaminació d'una aigua residual són sòlids totals, temperatura, olor, densitat, color i terbolesa.

2.2.1.1. Sòlids totals: es defineix el contingut de sòlids totals com la matèria que s'obté després de sotmetre l'aigua a un procés d'evaporació entre 103 i 105°C

2.2.1.2. Temperatura: La temperatura és un paràmetre important en el tractament secundari, donat que és un paràmetre que afecta directament al desenvolupament de la microfauna. Quan la temperatura és elevada, és important controlar que la quantitat d'oxigen dissolt en el reactor biològic no descendeixi excessivament, així com l'activitat dels microorganismes.

- 2.2.1.3.** Olors: Generalment les olors són degudes als gasos alliberats durant el procés de descomposició de la matèria orgànica. Les aigües residuals industrials poden contenir compostos olorosos per sí mateixes, o compostos que poden produir olors durant les diferents parts del procés de depuració. La problemàtica dels olors està considerada com la principal causa de rebuig a la implantació d'instal·lacions de tractament d'aigües residuals.
- 2.2.1.4.** Densitat: Es defineix la densitat com la seva per unitat de volum, expressat en kg/m^3 . És una característica física important de l'aigua residual pel fet que es poden formar corrents de densitat en els tractaments amb fangs de sedimentació. Aquest paràmetre depèn de la temperatura i varia en funció de la concentració de sòlids totals presents en l'aigua.
- 2.2.1.5.** Color: El color de l'aigua residual és un paràmetre que depèn de l'edat d'aquesta. L'aigua residual recent sol tindre un color gris, i es va tornant més fosca a mesura que passa el temps fins a arribar a color negre, normalment perquè l'aigua residual emmagatzemada està molt pròxima a condicions anaeròbiques, es desprèn sulfur i reacciona amb metalls presents a l'aigua residual formant sulfurs metàl·lics.
- 2.2.1.6.** Torbosa: és una mesura de les propietats de transmissió de la llum d'una aigua i és un altre paràmetre que s'empra per a indicar la qualitat de les aigües en relació amb la matèria col·loïdal i residual en suspensió.

2.2.2. Característiques químiques de les aigües

Les característiques químiques que determinen la qualitat de l'aigua residual fan referència a la naturalesa de la matèria, i en quina quantitat està present. Entre les més importants torbem quantitat de matèria orgànica, inorgànica i gasos dissolts.

2.2.2.1. Matèria orgànica: junt amb les proteïnes, hidrats de carboni, greixos i urea, l'aigua residual també pot contenir gran nombre de molècules orgàniques sintètiques, com poden ser tensioactius, pesticides o compostos orgànics volàtils, entre altres. Aquests compostos poden complicar el procés de depuració degut a la impossibilitat o a la extremada lentitud en els processos de descomposició biològica. Els assajos més comuns per a determinar el contingut de matèria orgànica d'una mostra d'aigua residual és el TOC (carboni orgànic total) o DBO_n (demanda biològica d'oxigen en n dies).

2.2.2.2. Matèria inorgànica: Els components inorgànics d'una mostra d'aigua residual solen ser varis, i és important examinar la naturalesa d'alguns d'ells, ja que aquests

poden afectar al ús de l'aigua. Un dels paràmetres més importants és la mesura del pH, donat que l'interval per a la proliferació i desenvolupament de la vida biològica és molt acotat. Passa el mateix amb les concentracions de clorurs, nitrogen (especialment amoniacal) i fòsfor, que s'han de trobar dins d'uns intervals per a variar lo mínim possible la vida especialment a les zones properes als emissaris de les aigües depurades.

2.2.2.3. Gasos: Els gasos més habituals en les aigües residuals són nitrogen (N_2) oxigen (O_2), diòxid de carboni (CO_2), sulfur d'hidrogen (H_2S), amoníac (NH_3) i el metà (CH_4). Els tres primers es troben a l'atmosfera i estan presents en totes les aigües que estiguin en contacte amb l'aire, en canvi la resta de gasos són deguts a la descomposició de la matèria orgànica present en l'aigua residual.

2.2.3. Característiques biològiques

Les característiques biològiques de les aigües residuals fan referència a la presència de microorganismes, sobre tot patògens. En aquest treball no s'estudien les característiques biològiques de les aigües residuals ja que procedeixen de l'indústria i a priori no n'hauria de contenir.

2.3. Paràmetres de la qualitat de l'aigua

Entre els paràmetres químics que determinen la qualitat d'una aigua depurada trobem els que fan referència a quantitat de matèria oxidable i els que en fan a la quantitat de matèria en suspensió.

2.3.1. Demanda química d'oxigen (DQO): l'assaig de DQO s'empra per a mesurar el contingut de matèria orgànica i inorgànica capaç de ser oxidada químicament. En aquest assaig s'utilitza un agent químic fortament oxidant (generalment el dicromat) a temperatura elevada i en presència d'un catalitzador (sulfat de plata).

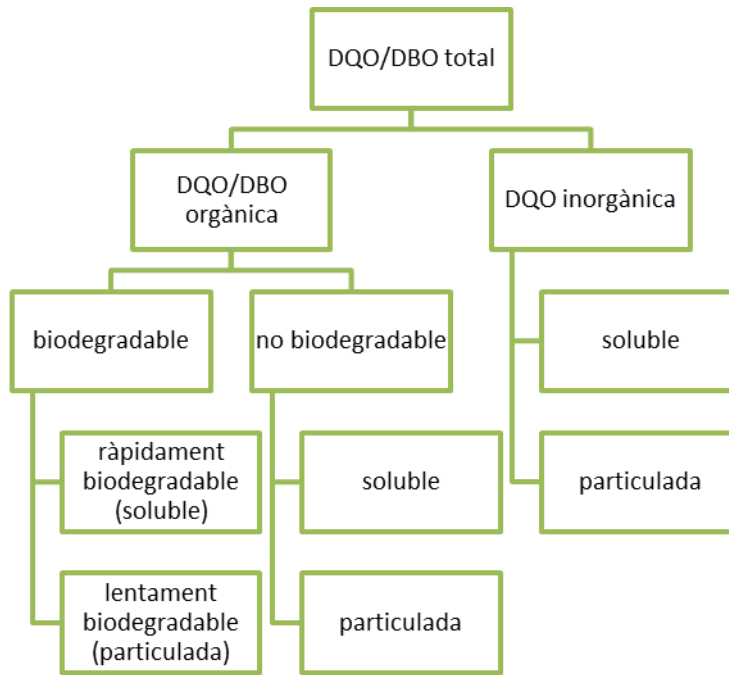


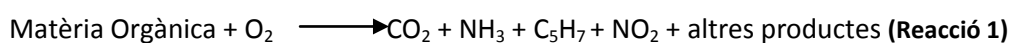
Figura 1: Classificació de la BQO/DBO segons les seves característiques

- 2.3.2.** Demanda biològica d'oxigen en 5 dies (DBO₅): aquest assaig mesura la quantitat d'oxigen consumit per l'acció dels microorganismes al oxidar la matèria orgànica present en la mostra en 5 dies.
- 2.3.3.** Carboni orgànic total (TOC): aquest assaig mesura la quantitat de matèria orgànica hi ha present en la mostra.
- 2.3.4.** Matèria en suspensió (MES): quantitat de matèria en col·loidal present en la mostra. El resultat ve expressat en mg/l.

2.4. Tractament secundari o biològic

El tractament secundari o biològic és l'encarregat d'eliminar la matèria orgànica present en l'aigua residual procedent del tractament primari. L'estudi d'aquesta part del procés i la seva optimització pot donar bons resultats en el rendiment de la depuració.

Ja que l'eliminació de la matèria orgànica es duu a terme mitjançant l'acció microbiològica, és important conèixer les condicions òptimes de vida i activitat d'aquests.



També es important que la relació de nutrients es trobi en unes proporcions adequades. La relació de nutrients per a l'activitat òptima dels microorganismes és de 43 g N/Kg DBO₅ eliminat i 6 g P/Kg DBO₅ eliminat.

També és important que la concentració d'oxigen dissolt al reactor es mantingui a un bon nivell ja que és lo que utilitzen els microorganismes per oxidar la matèria orgànica. El pH és un altre a controlar, ja que l'activitat òptima es troba quan el pH del reactor està sobre 7.

Altres factors que afecten a l'activitat són la temperatura, la qual per sobre de 37°C es degraden les proteïnes del protoplasma cel·lular, la salinitat de l'aigua a tractar, que ha d'estar comprès entre 3 i 5 g/l i la presència de tòxics que inhibeixen o impedeixen els processos biològics.

2.5. Paràmetres de control del reactor biològic

El reactor biològic com a part d'un procés té una sèrie de paràmetres operacionals. L'estudi d'aquests paràmetres juntament amb l'estat de la fauna del reactor és una bona eina per al control del procés i a la predicció de fenòmens.

Els paràmetres d'estudi del procés secundari com a sistema

- Edat del fang (Θ_c): Relació entre els sòlids en suspensió del reactor biològic (MLSS) i els sòlids extrets mitjançant els fangs en excés.

$$\Theta_c = \frac{X \cdot V}{Q_e \cdot X_e + Q_w \cdot X_r} \quad \text{(Equació 1)}$$

- Càrrega massica (C.M.): Kg de DBO₅ d'entrada al reactor biològic en funció del MLSS (aliment / microorganismes).

$$C.M. = \frac{Q \cdot S_o}{V \cdot X} \quad \text{(Equació 2)}$$

- Temps de retenció hidràulica(Θ): rel·lació entre el volum del reactor i el caudal d'entrada (temps que passa l'aigua a tractar dins del reactor).

$$\theta = \frac{V}{Q} \quad \text{(Equació 3)}$$

- Relació de recirculació (α) : Rel·lació entre el caudal de recirculació i el caudal de purga.

$$\alpha = \frac{Q_r}{Q_d} \cdot 100 \quad \text{(Equació 4)}$$

Q_i = Cabal
 V = Volum del reactor
 X_i = Concentració de sòlids en suspensió
 S_i = Concentració de substrat

2.6. Estructura de l'ecosistema depurador

L'ecosistema depurador d'un reactor biològic de fangs activats és variat i es troba en constant canvi de poblacions relatives dels seus microorganismes, però es classifiquen segons el diagrama següent.

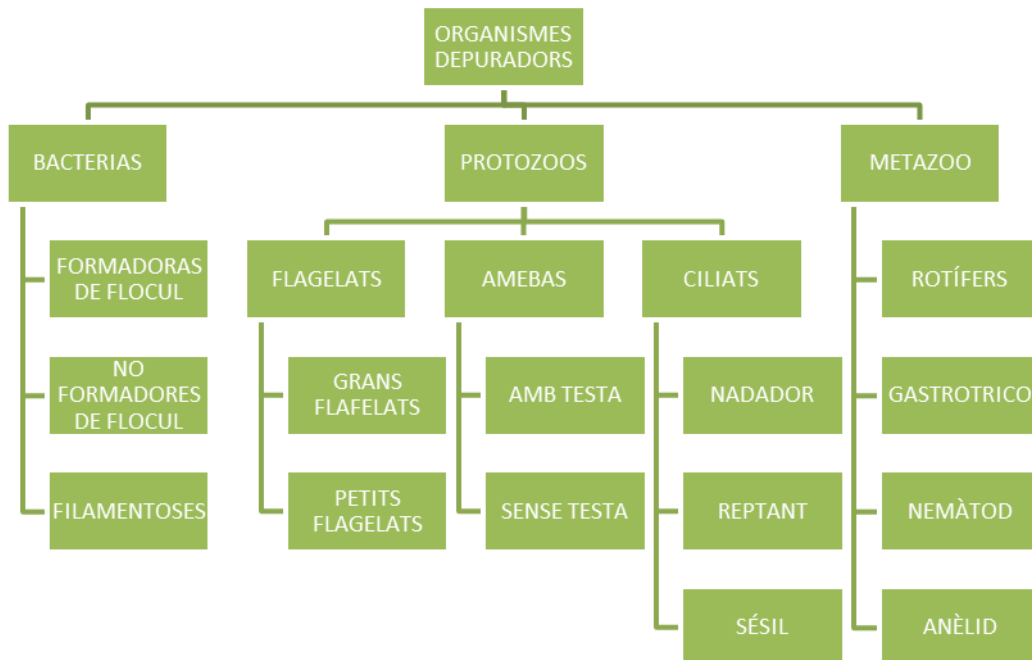


Figura 2: diversitat microbiològica en fangs activats

En el sistema de fangs activats la fauna del reactor biològic juga un paper molt important en la depuració i clarificació de les aigües residuals. L'estudi del seu estat pot ser una bona eina per al control del procés.

- 2.6.1.** Bacteris: Consten el 95% de la biomassa del reactor, són els encarregats de depurar l'aigua. S'alimenten de la matèria orgànica biodegradable present en l'aigua. Els bacteris es poden trobar de forma lliure o bé les filamentoses que ajuden a formar el flocul. En qualsevol dels casos desenvolupen una funció depuradora de les aigües residuals.
- 2.6.2.** Protozous: consten aproximadament el 5% de la biomassa del ecosistema. Són organismes de vida molt curta i metabolisme molt ràpid, alliberant nutrients assimilables pels bacteris. Aquests microorganismes tenen un paper molt important en els sistemes de depuració d'aigües residuals ja que són predadors de bacteris i ajuden a mantenir en equilibri les fases de creixement actiu i eliminant bacteris de l'aigua residual. Aquests es classifiquen generalment en dos grans grups: protozous associats al flocul i protozous lliures nedadors.
- 2.6.3.** Metazous: són organismes pluricel·lulars, s'alimenten de bacteris, matèria orgànica i petits microorganismes. Dins d'aquests podem distingir entre nematodes i rotatòries.

Aquesta sèrie d'organismes reaccionen, junt amb la matèria orgànica del medi, formant estructures ecològiques de menor mida, amb capacitat tant depuradora com diferenciadora de fases, anomenades floculs. L'estat d'aquests floculs repercuteix en l'ecosistema depurador i per tant al procés de depuració i al de decantació. Hi ha diversos fenòmens que cal evitar en aquest tipus de procés: la nitrificació/desnitrificació i el bulking. El procés de nitrificació/desnitrificació es dona per l'acció de certs microorganismes els quals aprofiten els nitrats com a font d'oxigen per oxidar la matèria orgànica alliberant N₂, el qual impedeix que decantin els fangs. El bulking té el mateix efecte però la causa és diferent, en aquest cas els fangs no decanten perquè hi ha filamentoses fent ponts entre els diferents floculs i aquests no compacten bé.

2.7. Assaig de respirometria:

En aquest estudi s'ha emprat com a tècnica de mesura de la qualitat actiu de fang activat i d'activitat microbiològica la respirometria. És una eina utilitzada com a suport en l'estudi de bio-indicació.

La respirometria és una tècnica que mesura el consum d'oxigen de les bactèries contingudes en un fang actiu d'una manera ràpida i senzilla. El mode de treball és un batch automàtic amb circuit hidràulic tancat. El fluid circula de forma repetitiva pel mateix circuit, passant en cada un dels cicles per un mateix sistema d'anàlisi, on es duu a terme la mesura que donarà lloc als corresponents càlculs. Aquest equip ens permet mesurar la DBO (demanda biològica d'oxigen) a curt període, la taxa de respiració del fang activat, assaig de biodegradabilitat d'una mostra, presència d'un tòxic, etc.

L'equip utilitza un sistema batch de circuit tancat entre els següents components: dipòsit batch airejat (anada), cubeta de flux amb sensor d'oxigen, cambra de reacció no airejada, sistema de commutació i el dipòsit batch airejat (tornada).

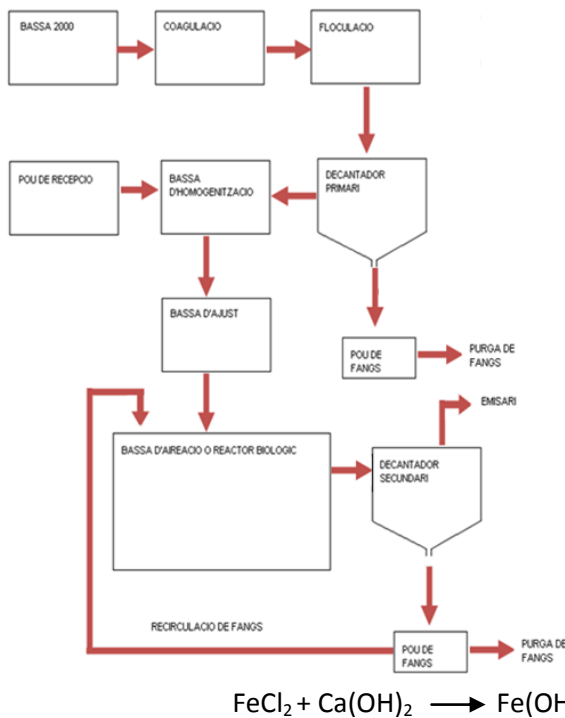
El funcionament d'aquest equip està basat en la mesura automàtica e ininterrompuda de la taxa de respiració (expressat en $\text{mg O}_2/\text{l}\cdot\text{h}$). Es duu a terme de forma seqüencial les mesures de OD1 (oxigen en la entrada de la cambra de reacció) i OD2 (oxigen a la sortida de la cambra de reacció) a través d'un sistema de commutació per bombeig. Una vegada efectuades aquestes mesures s'aplica la fórmula corresponent del càlcul de la taxa de respiració (cada minut).

3. PROCÉS EXPERIMENTAL

3.1.Introducció

El treball es desenvolupa a la planta de biologia de l'empresa Clariant Ibèrica, la qual és l'encarregada de depurar les aigües procedents dels processos industrials de les diferents plantes de l'empresa i d'empreses externes.

3.2.Esquema i funcionament de la planta de biologia



Les aigües residuals industrials procedents de diverses empreses es recullen a la bassa 2000, on es barregen amb part dels fangs procedents de la purga del tractament biològic.

Aquestes aigües passen a la bassa de coagulació per tal d'eliminar la matèria col·loïdal amb un tractament físic-químic. Aquest tractament es duu a terme amb clorur ferrós i hidròxid de cal, la barreja dels quals formen coàguls i atrapen la matèria en suspensió segons la reacció:

Aquests coàguls són petits i poc densos per tal de que precipitin per gravetat, per aquest motiu s'envia l'aigua amb el coagulant a la bassa de floculació, amb l'ajuda d'un electròlit, el *nalcolite*, es floculen els coàguls per tal de que augmentin el seu pes i puguin precipitar. En aquest punt es mesura la terbolesa de l'aigua decantada de la floculació i si aquesta és inferior a 100 s'envia al decantador primari, on es deix precipitar els flocs per gravetat. Els fangs del tractament primari s'envien al pou de fangs per tal de poder tractar-los. Aquí acaba el tractament primari o químic-físic. L'aigua decantada del tractament primari passa a la bassa d'homogeneïtzació.

El tractament secundari o biològic està format per una bassa d'homogeneïtzació, una d'ajust, un reactor biològic i un decantador de fangs.

A la bassa d'homogeneïtzació (homo) es barregen les aigües procedents de la planta d'energies, fecals i les del tractament primari. Amb agitació forta es barregen bé i passen a la bassa d'ajust.

A la bassa d'ajust es controla el pH ja que és un paràmetre important per als microorganismes ja que aquests no viuen si el pH està fora per sota de 5 o és superior a 9, tot i que la bassa d'ajust regula el pH d'entrada entre 6.9 i 7.4, que és un pH bastant òptim per a la vida microbiològica.

Tot seguit entren en el reactor biològic on es barregen amb la fauna present i aquesta elimina la matèria orgànica present. En aquest punt es controla la proporció de fòsfor i amoníac en funció de la BDO₅, ja que són els nutrients i s'han de trobar en unes proporcions adequades per a poder depurar l'aigua. També es controla mitjançant un sensor l'oxigen dissolt en el reactor, el qual sol estar sobre 2 ppm O₂. És un paràmetre a controlar ja que si aquest disminueix molt els microorganismes no poden degradar la matèria orgànica i el reactor pot morir.

3.3. Anàlisis químiques

Per a dur a terme el treball i el control del procés de la planta es realitzen diferents anàlisis químiques per a diverses mostres o punts del procés i amb freqüències variables. A continuació es detallen les anàlisis dutes a terme, la periodicitat i sobre quines mostres es realitzen.

DQO: demanda química d'oxigen. Aquest paràmetre ens indica la quantitat d'oxigen necessari per tal d'oxidar químicament la matèria present en la mostra. S'ha de portar un registre obligatori diari d'aquesta analítica.

DBO₅: demanda biològica d'oxigen en 5 dies. Aquest paràmetre ens indica la quantitat d'oxigen necessari per tal d'oxidar la matèria orgànica biodegradable present en la mostra per l'acció dels microorganismes en un període de 5 dies.

MES: matèria en suspensió. És un dels paràmetres controlats en les aigües ja depurades com a paràmetre de qualitat, té caràcter obligatori tindre un registre diari d'aquesta anàlisis.

BIOINDICACIÓ COM A CONTROL DE PROCESSOS

MLSS i RASS: sòlids en suspensió del reactor biològic i de la recirculació, respectivament. Aquest paràmetre dóna una idea de la quantitat de microorganismes presents en cada una de les mostres, i quina proporció de fangs es recirculen cap a la bassa d'aeració i quina quantitat es purga per tal de mantindre el més estable possible la fauna del reactor.

Nitrogen total (N_{tb}): Paràmetre de control, s'analitza el contingut de nitrogen total de la mostra del secundari, si aquesta donés elevada (per sobre de 80 ppm) es duu a terme l'anàlisi de nitrogen amoniacal, que és el paràmetre controlat per llei per tal d'evitar eutrofització deguda al basament de les aigües.

Nitrogen amoniacal ($N-NH_4^+$): Aquest anàlisi es fa sobre la mostra d'ajust, s'analitza el contingut de nitrogen amoniacal present en la mostra per tal de poder calcular la quantitat d'urea que s'ha d'afegir al reactor per tal de que no hi hagi descompensació de nutrients.

Fosfats ($P-PO_4^-$): Es duu a terme l'anàlisi sobre les mostres d'ajust i secundari, un cop obtinguts els valors es calcula la quantitat de fosfats que s'ha d'afegir al reactor per tal de que tingui les proporcions de nutrients adients.

ISS i VSS: sòlids en suspensió inorgànics i orgànics, respectivament. És un anàlisi que es fa sobre el reactor biològic. Un cop tenim el valor del MLSS amb aquest anàlisi sabem quina quantitat, expressada en tant per cent, pertany a matèria orgànica i quina quantitat a matèria inorgànica.

Taula 1: mostres i periodicitat sobre les que es fan les anàlisis químiques

ASSAIG	MOSTRA	PERIODICITAT
DQO	Ajust Secundari	Diari
MES	Ajust Secundari	Diari
MLSS	Reactor biològic	5 dies a la setmana (de dilluns a divendres)
RASS	Recirculació	5 dies a la setmana (de dilluns a divendres)
DBO₅	Ajust	4 dies a la setmana
Respirometria	Ajust	5 dies a la setmana (de dilluns a divendres)

Nitrogen total	Secundari	Dilluns i divendres
Fòsfor (fosfats)	Ajust Secundari	Dilluns i divendres
Nitrogen (amoniacal)	Ajust	Dilluns i divendres
VSS i ISS	MLSS	Cada 15 dies

3.3.1. Procés experimental de les anàlisis químiques

Les analítiques de la demanda química d'oxigen (**DQO**), nitrogen total (**N_{tb}**), nitrogen amoniacal (**N-NH₄⁺**) i fosfats (**P-PO₄³⁻**) es duen a terme amb les cubetes d'anàlisi HACH LANGE LCK, s'introdueix l'aliquota adient de mostra, es segueixen els passos pertinents i es mesura l'absorbància de la dissolució resultant amb un fotòmetre.

3.3.1.1. Anàlisis de la DBO₅: Aquest anàlisis mesura la quantitat d'oxigen és necessària per oxidar la matèria orgànica de la mostra. El resultat s'expressa en ppm O₂. Es preparen els quatre reactius necessaris (nutrients) per a dur a terme l'anàlisi.

3.3.1.1.1. Preparació dels reactius

Es preparen quatre ampolles d'un litre amb les següents solucions:

Reactiu I: 8.5 g KH₂PO₄ anhidre, 21.8 g K₂HPO₄ anhidre, 33.4 g Na₂HPO₄·2H₂O, 1.7 g NH₄Cl en 1000 ml aigua.

Reactiu II: 22.5 g MgSO₄·7H₂O en 1000 ml d'aigua.

Reactiu III: 36.5 g CaCl₂·2H₂O en 1000 ml d'aigua.

Reactiu IV: 0.25 g FeCl₃·6H₂O en 1000 ml d'aigua.

3.3.1.1.2. Mètode operatiu

S'introdueix la mostra d'aigua, havent fet la dilució pertinent, en el flascó opac de 500 ml.

Es dota a cada un d'ells amb un agitador magnètic.

S'afegeix a cada flascó 5 ml de fang decantat de la bassa d'aeració i 1 ml de cada un dels reactius mencionats anteriorment.

Es col·loca a cada ampolla una caperutxa de goma de tancament i s'afegeixen unes pastilles de KOH.

Es deixen les mostres en agitació dins de la cambra termostada a 20 °C durant 30 min per tal de que s'adapti a la temperatura.

Es col·loca el tap i es tanca hermèticament. Es posa el comptador a zero i es deix a 20 °C i en agitació durant 5 dies.

Passats cinc dies s'anota el resultat i tenint en compte les dilucions efectuades i s'obté el valor de la demanda biològica d'oxigen en 5 dies (DBO₅).

Taula 2: Dilucions i factors a aplicar per a l'anàlisi de la DBO depenent de la mostra a analitzar

Mostra	Dilució	Alíquota	Factor	Factor de dilució
Ajust	1:5	97 ml	20	6
Secundari	No	250 ml	5	1
B2000	1:9	97 ml	20	10

3.3.1.2. Matèria en suspensió (MES): Aquesta anàlisi determina la quantitat de matèria en suspensió que hi ha a la mostra d'aigua. Es fa aquest anàlisi a l'entrada i sortida del reactor biològic.

3.3.1.2.1. Mètode operatiu:

Es tara un vidre de rellotge amb un paper de filtre de microfibra de vidre, es filtren al buit 100 ml de mostra i s'asseca a l'estufa a 105 °C durant 2.5 hores. Es pesa i per diferència de pesades es calcula la quantitat de matèria en suspensió present en la mostra. El resultat s'expressa en ppm.

3.3.1.3. MLSS i RASS: Es determinen els sòlids en suspensió de la bassa d'aeració i de la recirculació.

3.3.1.3.1. Mètode operatiu:

Es tara un paper de filtra baix en cendres amb una mida de porus de 7 a 9 µm i es filtren al buit 100 ml de mostra. S'asseca a l'estufa a 105 °C durant 2.5 hores. Es pesa i per diferència de pesades es calcula la quantitat de matèria en suspensió present en la mostra. El resultat s'expressa en g/l. Lo adient és que el valor del MLSS es trobi al voltant de 3 g/l i que el valor del RASS sigui el doble del MLSS.

3.3.1.4. VSS i ISS: sòlids totals orgànics i inorgànics respectivament. Un cop tenim el valor de MLSS es tara un bol de ceràmica amb el paper de filtre del MLSS tret de l'estufa

i s'introdueix en un forn a 550°C. Es deix carbonitzar la matèria orgànica i queda la inorgànica. Per diferència de pesades s'obté el tant per cent de matèria orgànica i inorgànica del reactor biològic.

3.4. Avaluació de la qualitat del fang biològic

La qualitat del fang biològic depèn de diversos paràmetres que s'han d'avaluar conjuntament per a poder saber la seva qualitat. Aquesta depèn tant del les característiques del flocul com de la fauna present, que són els encarregats de formar el flocul. S'han de dur a terme una sèrie d'assajos per a poder treure una resposta.

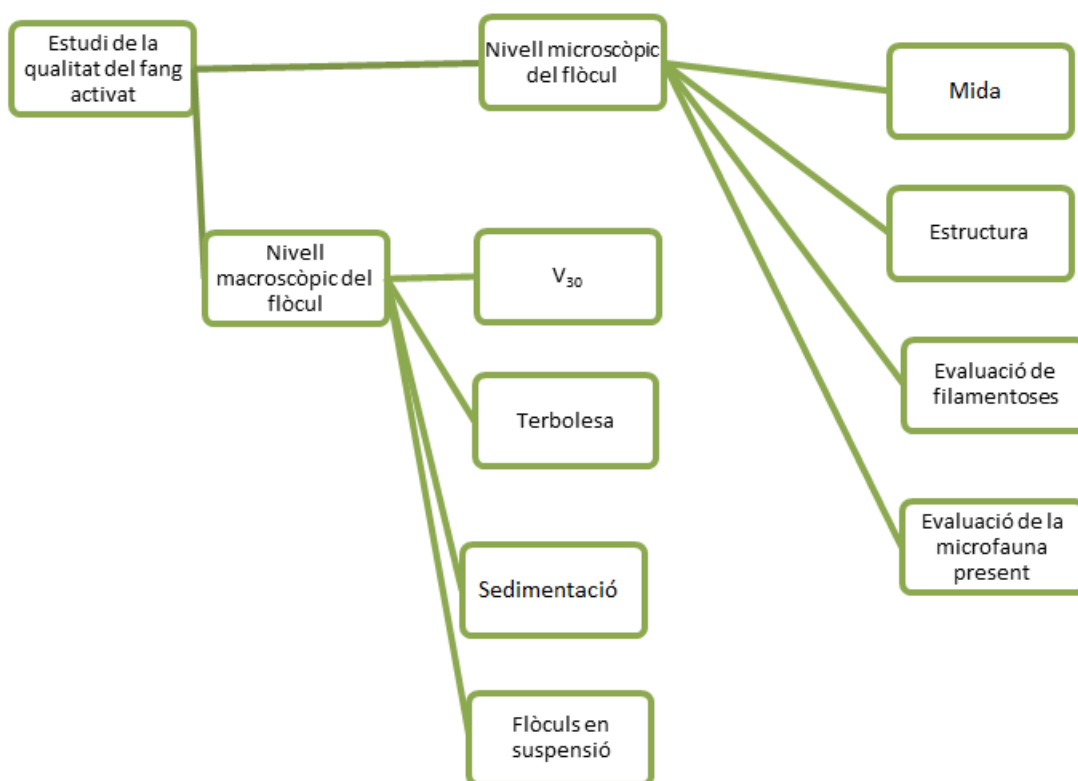


Figura 3: Paràmetres rellevants per a l'estudi de la qualitat del fang biològic

La valoració de les característiques macroscòpiques del fang es realitzen a través de l'assaig de la V_{30} , que determina la quantitat de fang que decanta en una proveta d'un litre després de 30 minuts. L'anàlisi consisteix en deixar que la mostra de fang sedimenti durant 30 minuts i s'anota el volum de fang decantat. Un cop decantat el fang s'avalua la terbolesa del sobrenedant i la presència de floculs petits no decantats. Es puntuen els paràmetres:

Taula 3: assignació numèrica del valor de la terbolesa i els flòculs del sobrenedant depenent de lo que s'observa

Valor numèric	Terbolesa	Flòculs en suspensió
1 (Alta)	Visibilitat molt baixa a través de la proveta	Abundància de micro-flòcul
2 (Mitjana)	Visibilitat mitjana a través de la proveta	Presència de micro-flòcul
3 (Baixa)	Visibilitat alta a través de la proveta	Pràcticament absència de micro-flòcul

A nivell microscòpic s'avalua la qualitat del flòcul. Es posa una petita mostra de líquid del reactor biològic a sobre d'un portaobjectes i es cobreix amb un cobreobjectes. S'observa al microscopi i es valora la mida del flòcul i l'estructura, així com la quantitat de filamentoses presents tant en els flòculs com entre els flòculs. Per últim es duu a terme un estudi de la fauna present en el reactor.

3.5. Estudi de la fauna present en el reactor biològic

L'anàlisi es realitza sobre la mostra en viu del fang activat del reactor biològic. Es recullen i estudien dos mostres al dia, una al matí i una a la tarda. La mostra es pren de la meitat del reactor biològic i del primer mig metre de profunditat.

S'identifiquen i es compten els diferents microorganismes (bacteris lliures i filamentosos, metazous i protozous) presents en el reactor biològic. Es dona una puntuació a cada un segons la seva abundància relativa.

3.5.1. Bacteris lliures: s'observen al microscopi a 400x i amb contrast de fases. Segons la seva abundància s'assigna un valor numèric del 1 al 5, on 1 és població molt baixa i 5 és població abundant.

3.5.2. Filamentoses: l'estudi de filamentoses és més complex. S'ha de diferenciar entre filamentoses dins d'un flòcul i entre flòculs. Les filamentoses intrafloculars constitueixen l'esquelet del flòcul, com major sigui la població més dens serà aquest i decantarà amb més facilitat. En canvi, les filamentoses interfloculars

formen ponts rígids entre floculs i desfavoreixen la seva decantació. S'observen a 100x amb contrast de fases. Es puntua del 1 al 5 segons la seva abundància, tant per les filamentoses formadores de flocul com les filamentoses que formen ponts.

3.5.3. Protozous i metazous: s'identifiquen els diferents microorganismes i es puntuen del 1 al 5 segons la seva abundància relativa. Hi ha un nombre bastant limitat de possibles espècies presents en el reactor biològic.

La classificació d'aquests s'indica a la taula següent, tot i que només apareixen els microorganismes que poden aparèixer al reactor d'estudi. El nombre de possibles microorganismes en altres reactors pot variar molt.

Taula 4: Microorganismes presents en el reactor biològic d'estudi ordenats taxonòmicament

Protozous	Flagelats	Petits	
		Grans	
	Amebes	Ameboide	
		Amb testa	
	Ciliats	Porodon	
		Suctors	Radiolari
			Acineta
		Nadador	Aspidisca
			Euplotes
			Litonotus
			Colpoda
			Paramecium
	Sèssil	Chillidonella	
Sèssil	Vorticella		
Metazous	Rotaria	Rotífer	
	Nematode		

Segons la seva abundància relativa es puntuen les diferents espècies i es fa una valoració de les espècies predominants i s'avalua el canvi de poblacions respecte als dies anteriors.

Taula 5: Assignació numèrica de la població relativa de microorganismes segons l'observació microscòpica

Valor	Abundància	Explicació
0	Gens	No s'observa
1	Pocs	S'observa en un flòcul ocasionalment
2	Alguns	Comuns però no presents en tots els flòculs
3	Comú	Presentes en tots els flòculs amb una densitat de 1-5 per flòcul
4	Molt comú	Presentes en tots els flòculs amb una densitat de 5-20 per flòcul
5	Abundant	Presentes en tots els flòculs amb una densitat major de 20 per flòcul

Es tenen tant en conte tant les abundàncies relatives de poblacions individuals com l'abundància relativa de famílies de microorganismes.

3.6. Qualitat de la depuració i clarificació

Per tal d'avaluar la quantitat de matèria que s'ha eliminat d'una mostra es fa la diferència de les DQO d'entrada (ajust) i sortida (secundari) tenint en conte el temps de retenció hidràulic, és a dir, el temps que passa l'aigua al reactor mentre es depura. Al ser un procés continu, les aigües que entren al reactor amb una determinada contaminació afecten a l'estat de la fauna i la modifiquen. És important que l'entrada d'aigua sigui el més constant possible pel que fa a composició, pH, DQO i MES per tal d'alterar lo mínim possible la fauna establerta. Aquest paràmetre es pot relacionar amb l'activitat biològica del reactor, i està molt lligat a la quantitat de bacteris lliures presents.

La clarificació de l'aigua està relacionada amb la quantitat de metazous i protozous ja que són predadors de bacteries i matèria orgànica en descomposició.

3.7. Paràmetres operacionals

La carga massica, la relació de recirculació, el temps de retenció hidràulic i l'edat del fang són paràmetres operacionals del reactor biològic, són una eina que proporciona informació sobre l'estat del procés. Es poden relacionar aquests paràmetres amb la fauna present en el reactor biològic, és a dir, explicar part de la fauna present a través d'aquests paràmetres operacionals.

També és una bona eina per a controlar la variació de paràmetres com l'entrada d'aliment al reactor o l'edat dels fangs biològics, on el primer ha de ser el més constant possible i el segon ha d'estar dins d'uns intervals determinats, no ha de ser ni molt jove ni molt vell. El paràmetre

de temps de retenció hidràulic ens indica el temps de residència de l'aigua a tractar dins del reactor, i és un dels paràmetres a modificar si la DQO de sortida és molt baixa o elevada, disminuint o augmentant el temps del procés de depuració. La relació de recirculació s'expressa en tant per cent i indica la proporció de fangs biològics que es recirculen cap a dins al reactor. Aquest paràmetre va en funció del MLSS i el RASS, és a dir, si la població a dins del reactor és baixa caldrà augmentar la relació de recirculació i si és alta s'haurà de disminuir. Passa el mateix amb la pura, si el RASS és elevat s'haurà d'augmentar la purga (disminuir la relació de recirculació) o disminuir-la si el RASS és baix.

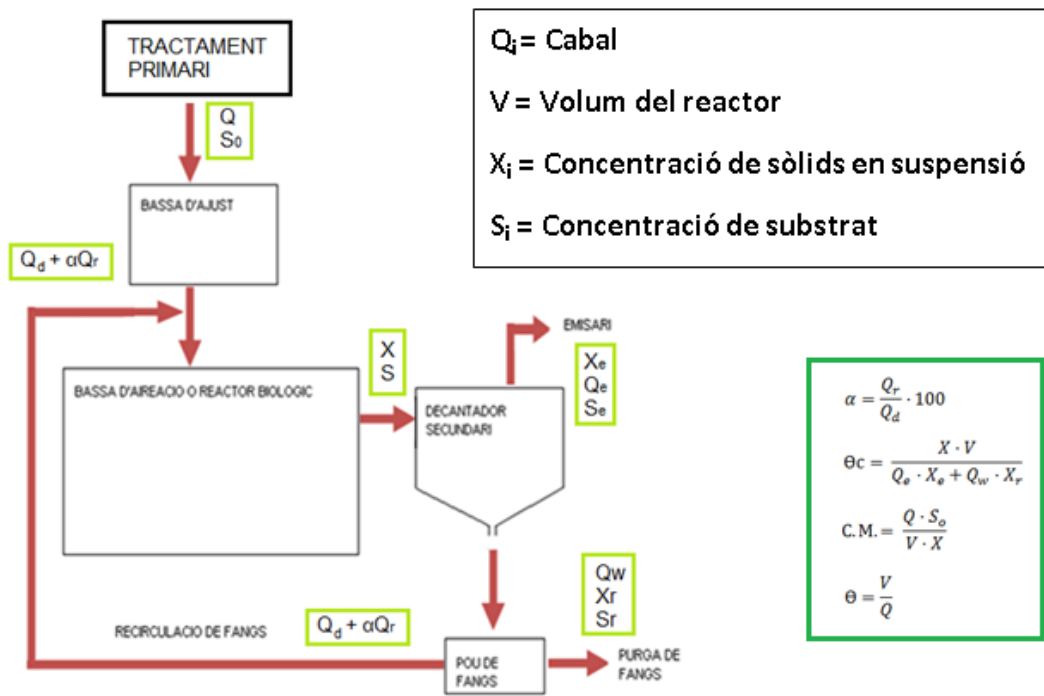


Figura 4: Esquema del tractament secundari i els seus paràmetres operacionals

3.8. Assaig de respirometria

L'assaig de respirometria es duu a terme de dilluns a divendres. Es poden obtenir dos resultats en aquest assaig: la DBO_{st} (demanda biològica d'oxigen a curt període) de la mostra integrada de la bassa d'ajust del dia anterior (entrada al reactor biològic) i la R_{max} (respiració màxima) que ens dona informació sobre l'estat dels fangs biològics, és a dir, la activitat dels microorganismes i per tant la capacitat de depuració del fang.

L'assaig s'inicia omplint el reactor bach amb 1750 ml de fang biològic i s'inicia l'assaig. L'equip determina la línia base o respiració endògena dels microorganismes. Un cop establerta aquesta línia pot començar l'assaig. S'introdueix al reactor 0.25 g d'acetat de sodi en 30 ml

d'aigua i s'anota el valor de respiració màxima (R_{\max}). S'utilitza l'acetat de sodi ja que és una substància ràpidament biodegradable i així ens assegurem que els microorganismes el degradaran completament. El valor de R_{\max} està directament relacionat amb l'activitat microbiològica. La taxa de respiració és l'oxigen que s'ha de consumir per bio-degradar la mostra, i el valor màxim ens dóna una idea de la població present i l'activitat depuradora. Quan la taxa de respiració torna a coincidir amb la línia base significa que els microorganismes han degradat l'acetat i tot seguit s'introdueix la mostra d'ajust. Aquesta part de l'assaig és per a obtenir un valor de demanda biològica d'oxigen a curt termini (BDO_{st}) de la mostra, segons el gràfic obtingut de l'assaig es té una idea de lo biodegradable que és la mostra i de la càrrega orgànica d'aquesta.

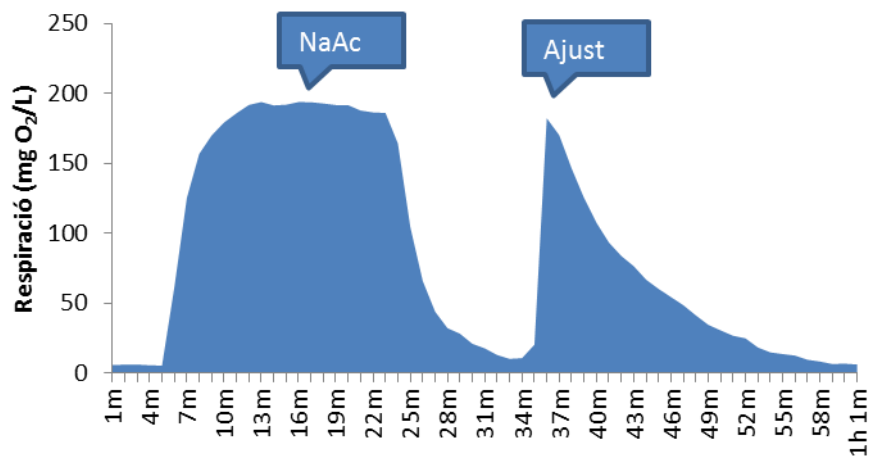


Figura 5: gràfic de la taxa de respiració d'un assaig de respirometria

L'alçada màxima del gràfic corresponent a l'acetat es relaciona directament amb la activitat depuradora del fang biològic, el pendent del gràfic de la mostra ens indica el grau de biodegradació de la mostra i integrant el gràfic (tant el del acetat com el de la mostra) s'obté la DBO_{st} .

4. RESULTATS I DISCUSSIONS

Un cop duts a terme totes les anàlisis químiques, els diferents estudis de la qualitat del fang i els estudis sobre la fauna micro-bacteriana es processen les dades per tal de relacionar les abundàncies relatives entre les diferents espècies i la qualitat de la depuració de les aigües.

4.1. Bacteris

El nombre de bacteris s'observa a través del microscopi a 400x en contrast de fases, i es puntua la població relativa del 50 al 250 (50 gairebé inexistent i 250 molt abundants). S'ha trobat una tendència entre el nombre de bacteris observat i el valor de $R_{m\grave{a}x}$ en l'assaig de respirometria.

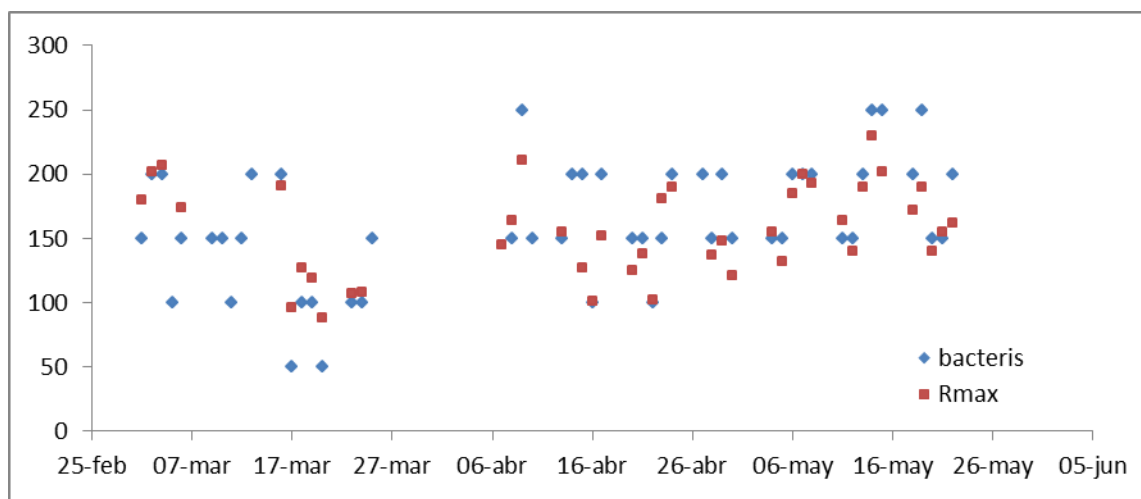


Figura 6: Representació dels valors de la taxa de respiració (ppm oxigen) i població relativa de bacteris (unitats relatives)

En el gràfic es pot observar una tendència entre el nombre de bacteris lliures al reactor observats al microscopi i la taxa de respiració màxima en l'assaig de respirometria amb l'acetat sòdic.

Donat que els bacteris són els encarregats de depurar l'aigua, és a dir, d'eliminar la matèria orgànica present, és lògic pensar que existeix una relació entre el nombre de bacteris presents i la qualitat de la depuració de l'aigua.

Fent la diferència entre la DQO d'entrada al reactor (ajust) i la DQO de sortida del reactor (secundari) tenint en conte el temps de retenció hidràulic s'obté la diferència de DQO entre l'entrada i la sortida del reactor, és a dir, la DQO eliminada durant el procés de depuració. El temps de retenció hidràulic varia depenent del cabal d'entrada, i normalment està comprès

entre 2.8 i 3.4 dies, per tant s'ha agafat com a conveni un valor del temps de retenció hidràulic de 3 dies.

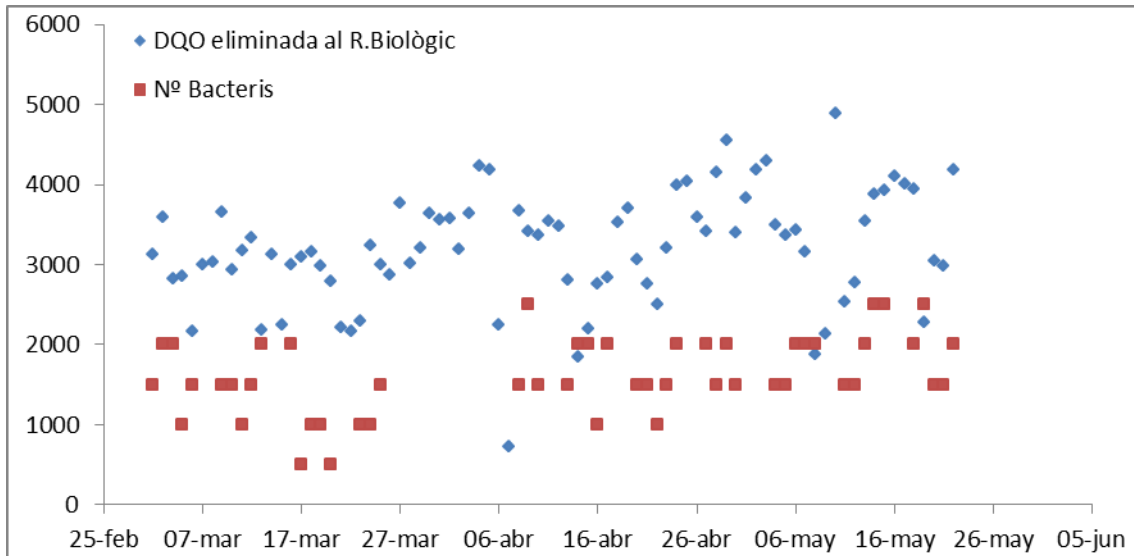


Figura 7: Representació de la DQO eliminada al reactor biològic (ppm oxigen) i la població de bacteris (unitats relatives)

En aquest cas el nombre de bacteris s'han puntuat de 500 a 2500 en funció de la seva abundància relativa. S'observa una lleu tendència entre la DQO eliminada al reactor biològic i la població bacteriana present. Quan la població és elevada la DQO degradada augmenta i aquesta disminueix quan la població bacteriana és baixa. Aquesta relació no és clara del tot ja que intervenen altres factors en la depuració, com pot ser la biodegradabilitat de la mostra, que encara que la població bacteriana sigui molt elevada si l'aigua conté matèria poc biodegradable els bacteris no la podran digerir i el valor de la DQO eliminada serà baix tot i tindre una elevada població bacteriana.

Aquest paràmetre s'ha de tindre en conte quan la DQO de la sortida del reactor té tendència a augmentar, es pot observar pel microscopi la població bacteriana i intentar torbar si aquest augment és degut a que la població és baixa o bé a altres factors.

4.2. Bacteris filamentosos pont

El nombre de filamentosos pont afecta a la V_{30} , com més filamentosos pont entre flòculs hi hagi, aquestes no deixaran compactar bé el fang i provocarà un augment de la V_{30} , és a dir, una disminució de la sedimentació del fang biològic.

La V_{30} pren valors fins a 1000 ml i la població relativa de filamentoses pont observades al microscopi s'ha puntuat de 200 a 1000 (on 200 és població gairebé inexistent i 1000 és població molt elevada).

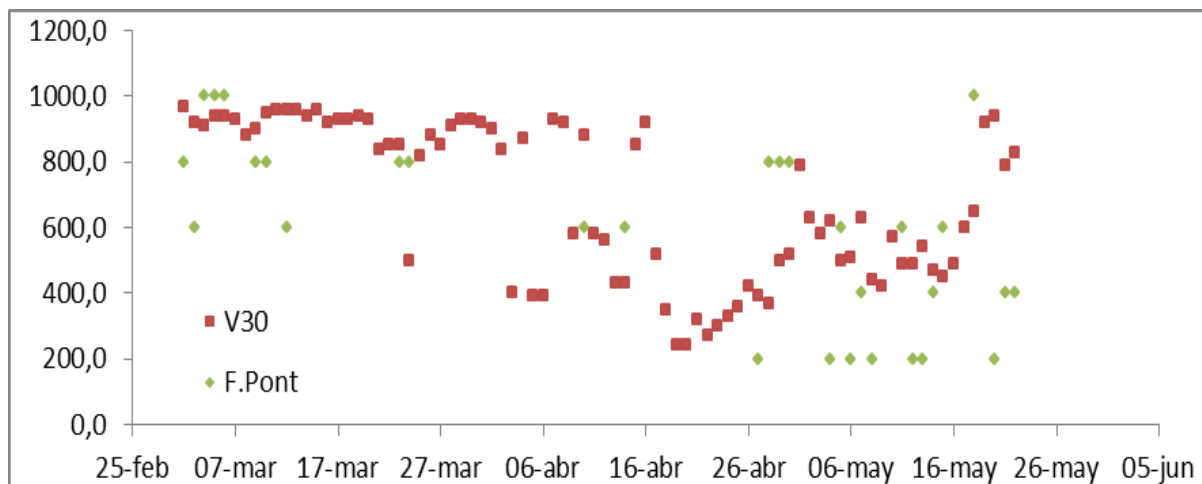


Figura 8: Representació de la V_{30} (ml de fang decantat) i la població de filamentoses pont (unitats relatives)

S'observa una lleu tendència entre la sedimentació dels fangs biològics i la població de filamentosos. Aquesta tendència no és clara del tot ja que hi ha altres factors que poden afectar a la V_{30} a part de la població de filamentosos pont, com poden ser la temperatura, la densitat del flòcul o l'efecte de bulking viscos.

Si que es pot utilitzar l'observació microscòpica de bacteris filamentosos per tal de predir tendències. És a dir, si s'observa diàriament la població relativa de filamentoses formant ponts entre flòculs i aquesta va en augment és molt probable que en els dies següents augmenti la V_{30} i apareguin problemes en la sedimentació del fang, per tant quan s'observa un augment notable en un període curt de temps seria convenient prendre mesures al respecte per evitar que aquesta augmenti molt.

4.3. Protozoous

Dins de la família dels protozoous distingim entre ciliats, amebes i flagel·lats. Aquests apareixen en diferents proporcions depenent de les condicions operacionals i tenen diferent repercussió sobre la qualitat de depuració del procés.

4.3.1. Ciliats nadadors

Els ciliats nadadors són protozoous, i la seva alimentació són principalment bacteris. Aquests apareixen en poblacions elevades quan la població bacteriana és alta, ja que tenen molt

d'aliment per a subsistir. Són els encarregats de clarificar l'aigua depurada ja que eliminen els bacteris d'aquesta.

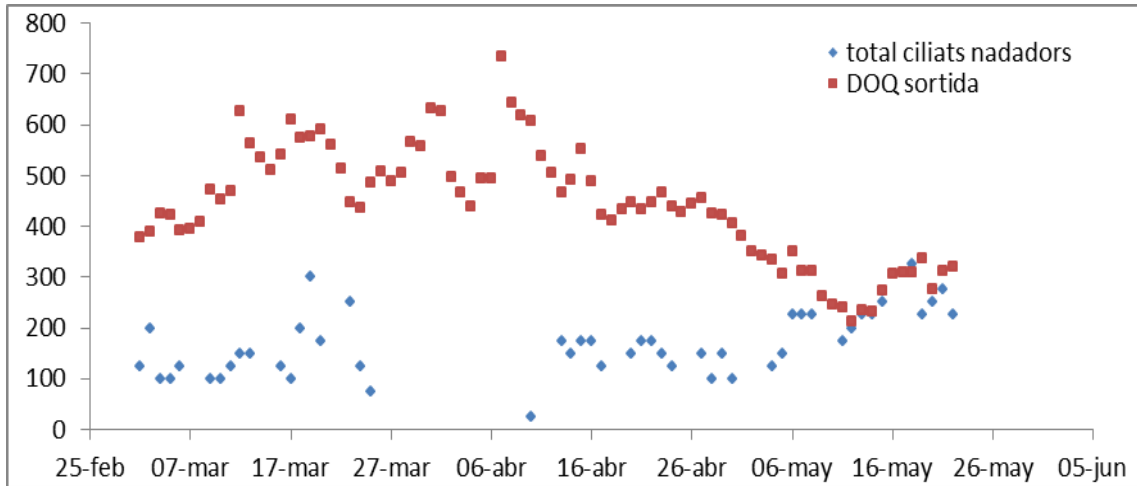


Figura 9: Representació de la DQO de sortida del reactor biològic (ppm oxigen) i la població de ciliats nadadors (unitats relatives)

Es veu una tendència entre el nombre de ciliats i la DQO de sortida del reactor, quan la població de ciliats és baixa la DQO de sortida del reactor és elevada, fet que es pot relacionar amb la població bacteriana.

4.3.2. Ciliats sèssils

Els ciliats sèssils són aquells que es troben fixes al flòcul mitjançant un peduncle. Són protozoous que s'alimenten de bacteris i apareixen quan les poblacions bacterianes són elevades. Un dels factors més determinants per a trobar aquest tipus de ciliat és la temperatura.

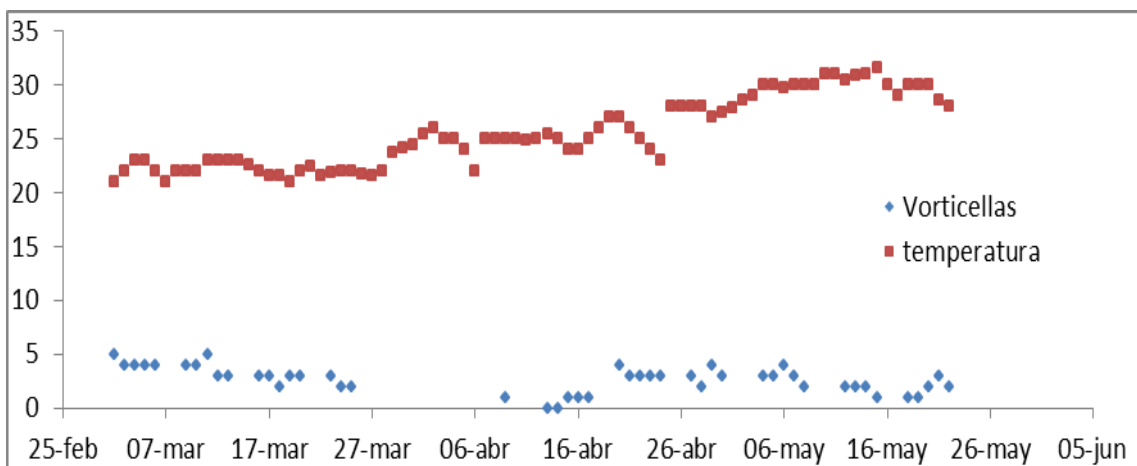


Figura 10: Representació de la població relativa de Vorticellas en front a la temperatura

S'observa una tendència entre la temperatura del reactor biològic i la població de vorticel·les presents, que són la família de ciliats sèssils més abundant del reactor. A temperatures entre 20 i 25°C la població d'aquests microorganismes és abundant mentre que a temperatures superiors als 25°C la població disminueix.

4.3.3. Flagel·lats

Els protozous flagel·lats es poden dividir en dos grans grups; els petits flagel·lats i els grans flagel·lats.

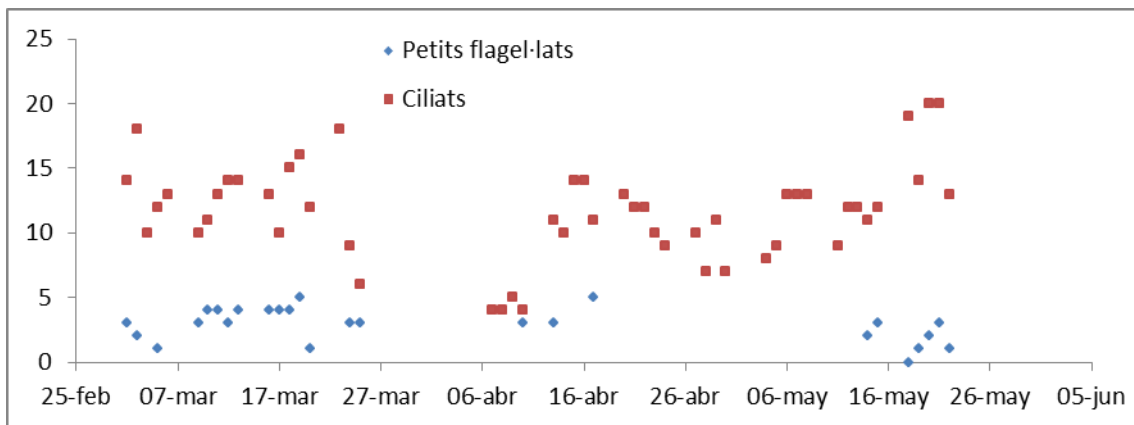


Figura 11: Representació de la població relativa de petits flagel·lats (unitats relatives del 1 al 5) i la població relativa de ciliats totals (unitats del 1 al 20)

S'observa en el gràfic que hi ha una relació entre el nombre de petits flagel·lats i la població relativa de ciliats. Normalment s'observa poblacions altes de petits flagel·lats quan les poblacions de ciliats són o molt baixes o molt altes. Els petits flagel·lats s'atribueixen a situacions de canvi respecte a la fauna del reactor, ja que si s'observa la població de ciliats dies abans i dies després de que apareguin poblacions altes de petits flagel·lats aquestes són diferent, no en nombre sinó en poblacions relatives de famílies de ciliats. Es pot atribuir poblacions altes de petits flagel·lats amb situacions transitòries al reactor, situacions inestables, de canvi de població.

Els grans flagel·lats només han aparegut un període de temps, del 16 al 25 de març, on la població de ciliats era la més baixa. Els grans flagel·lats apareixen en condicions de canvi de població més brusca i en condicions inestables del reactor, és a dir, quan la població de ciliats és menor.

4.3.4. Amebes

Les amebes són un tipus de protozous que s'alimenten de bacteris i altres protozous. Solen aparèixer en condicions de baixa càrrega orgànica al reactor, és a dir, quan l'aliment dels bacteris és baix. Quan es dona aquesta situació els bacteris que es troben dins del flocul surten a buscar aliment i la població de bacteris lliures augmenta. És per aquest motiu que augmenta la població de metazous i protozous que s'alimenten de bacteris i altres protozous, com poden ser les amebes.

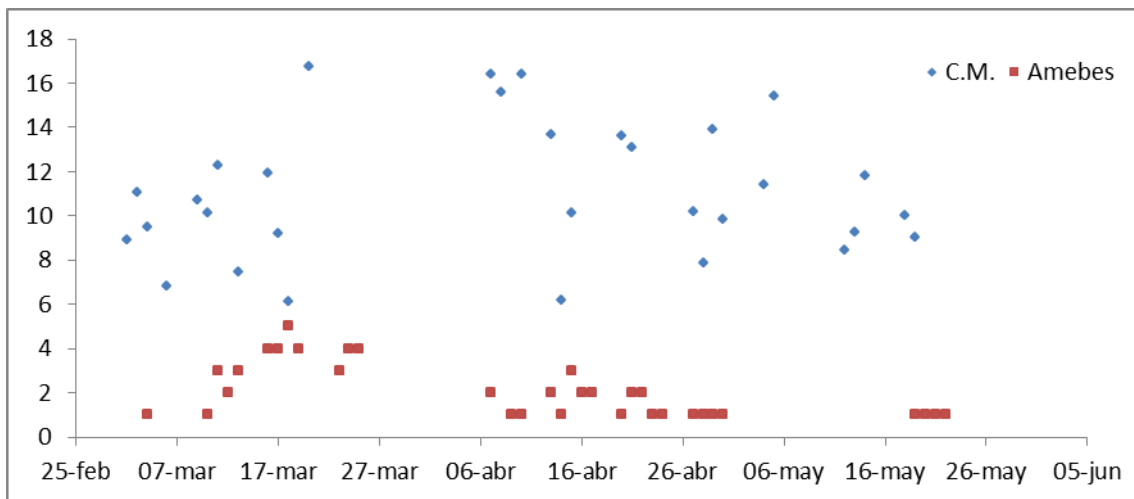


Figura 12: Representació de la càrrega massica (C.M) i de la població relativa d'amebes

Es pot observar una lleu tendència entre la càrrega massica i la població d'amebes. Quan la càrrega massica del reactor és elevada, la població d'amebes disminueix i viceversa. Es pot concloure que quan apareixen altes poblacions d'amebes al reactor la causa més probable sigui una baixa càrrega del reactor. Una de les solucions seria augmentar el caudal d'entrada al reactor per tal d'augmentar la càrrega massica.

4.3.5. Ciliats suctors

Els suctors són un tipus de ciliats, s'alimenten d'altres protozous i solen ser una mala senyal pel procés.

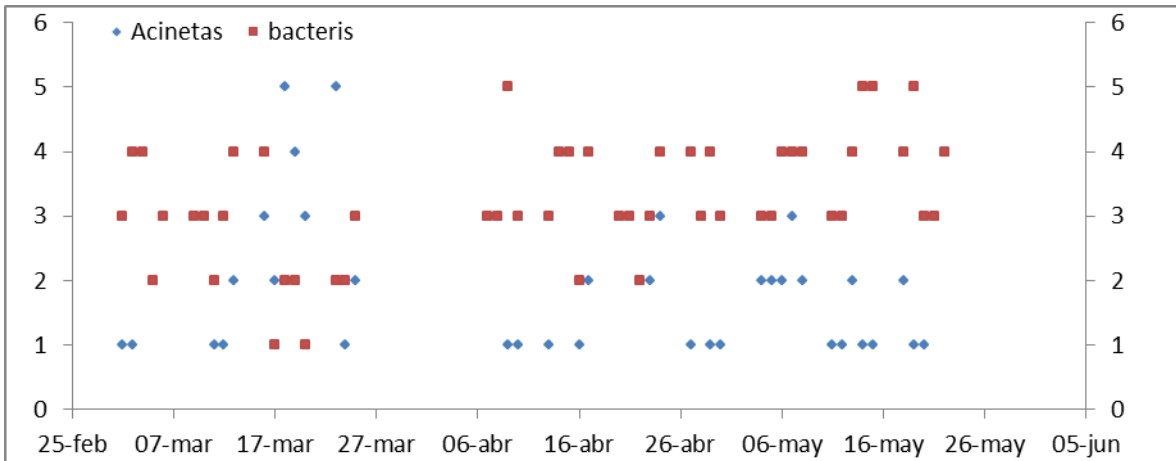


Figura 13: Representació de la població relativa d'acinetes (ciliat suctor) i de bacteris (els dos en unitats relatives del 1 al 5)

Solen aparèixer quan la població de bacteris és baixa, és a dir, baixos rendiments en la depuració. També han aparegut en quantitats més elevades quan l'assaig del respiròmetre ha donat que la mostra té molta quantitat de matèria no biodegradable o lentament biodegradable.

4.4. Metazous:

Els metazous presents en el reactor biològic són principalment rotífers i nematodes. Els rotífers s'alimenten dels productes de descomposició de la matèria orgànica i els nematodes s'alimenten de protozous.

Els rotífers s'associen a elevades edats del fang, ja que en aquestes condicions la quantitat de matèria biològica en descomposició és més elevada i tenen molt d'aliment per a poder subsistir.

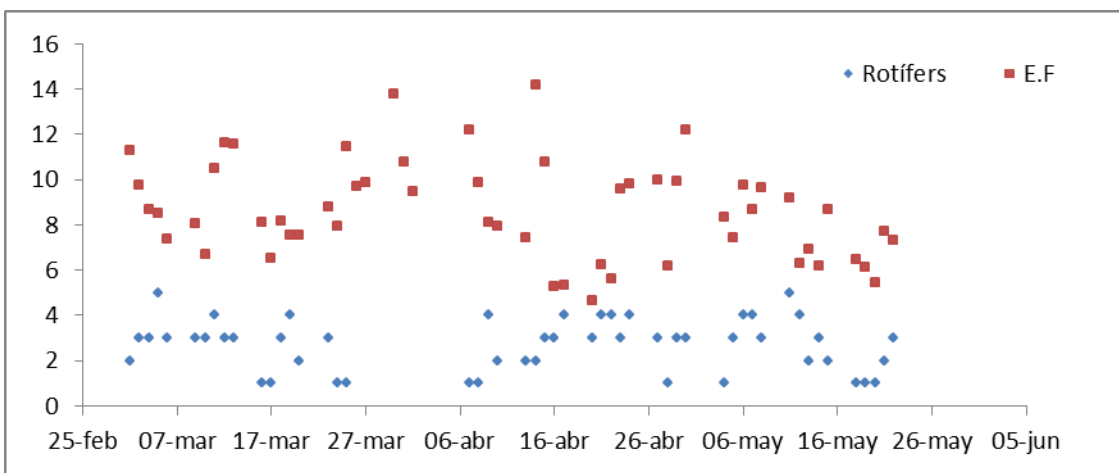


Figura 14: Representació de l'edat del fang (en dies) i de la població de rotífers (unitats del 1 al 5)

S'observa la tendència entre una població elevada de rotífers i l'edat del fang biològic. S'ha de tindre en conte que al augmentar el cabal de purga per tal de disminuir l'edat del fang tarda un parell de dies en veure's l'efecte al reactor, per tant hem de mirar el gràfic de l'edat del fang dos dies abans que el de la població de rotífers.

4.5. Nematodes

Els nematodes o cucs són predadors de protozous i indiquen edats del fang molt elevades, apareixen quan els fangs biològics són vells.

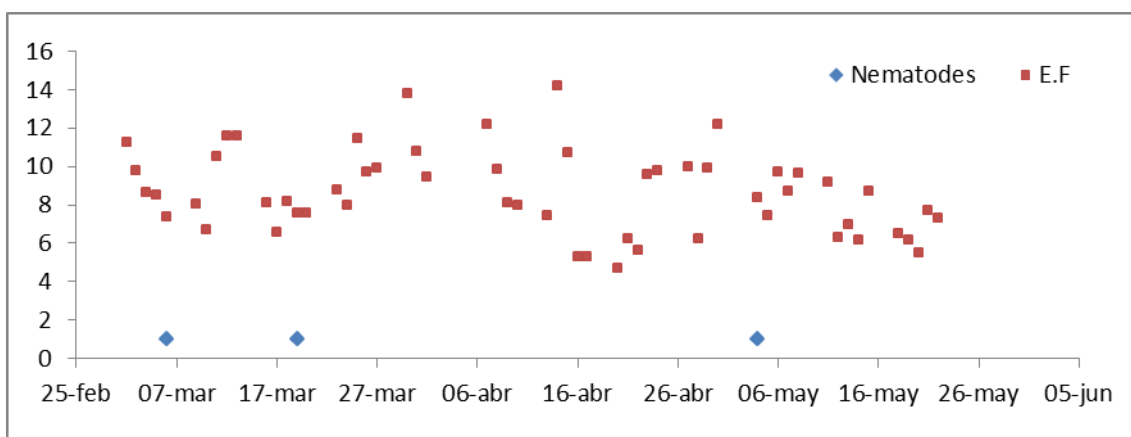


Figura 15: Representació de l'edat del fang (dies) i la presència de nematodes

S'observa l'aparició de nematodes quan l'edat del fang és elevada, també s'ha de tindre en conte el temps de canvi del reactor abans de poder observar els efectes. En el període que la edat del fang va ser més elevada no es van poder recollir dades.

5. CONCLUSIONS

La fauna present en el reactor biològic es pot relacionar amb la qualitat en el procés depuració, tot i que la fauna del reactor canvia constantment depenent de l'aigua que entra per ser depurada, tant en composició com en quantitat de contaminants, de les condicions ambientals i dels propis cicles dels diferents microorganismes presents.

Es podria predir de forma més exacte la qualitat de la depuració de l'aigua si l'entrada fos més constant, ja que els canvis es podrien associar directament a condicions meteorològiques o a fenòmens del procés.

L'estudi de la vida és complex i hi ha molts factors que afecten, però es poden fer prediccions més o menys fiables de la tendència de canvi de la microfauna i relacionar-ho, juntament amb altres paràmetres, amb el rendiment del procés.

Per tal d'utilitzar la bioindicació com a eina per al control de processos cal utilitzar informació complementària per a poder entendre el canvi de fauna produït i poder predir com evolucionarà posteriorment i com afectarà aquest a la depuració.

Però si que s'han trobat una sèrie de paràmetres bioindicadors que amb una simple observació microscòpica i contrastant la informació obtinguda amb altres paràmetres del procés es pot arribar a fer una bona predicció de l'estat del sistema i actuar en conseqüència.

6. BIBLIOGRAFIA

Janke, K. Schneider, H. Bellmann, H. Janke, K. Kremer, B. P. *Invertebrados y organismos unicelulares*. Barcelona; 1994. Editorial BLUME.

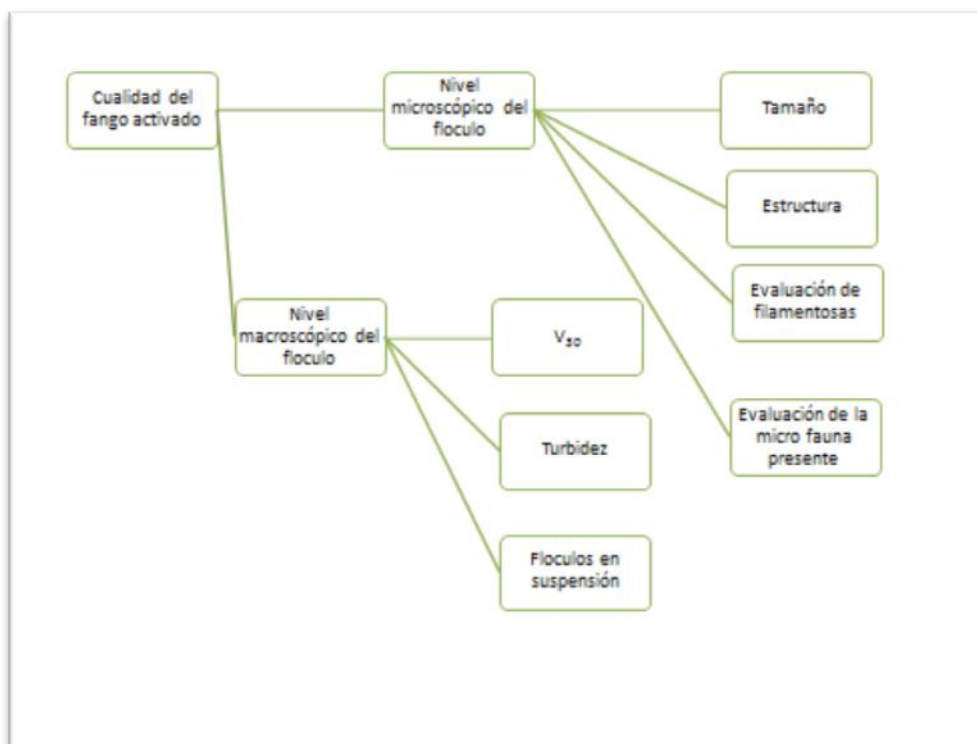
Rodríguez, E. Isac, L. Salas, M.D. Fernández, N. Zornoza, A. Perez-uz, B. Serrano, S. Aguerri, L. Calvo, P. Guinea, A. Estevez, F. *Manual práctico para el estudio de grupos bioindicadores en fangos activados*. Sevilla: Reed Business Information - Tecnología del agua. 2008.

Metcalf and Eddy, INC. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid: McGraw-Hill. 1995.

7. ANNEX

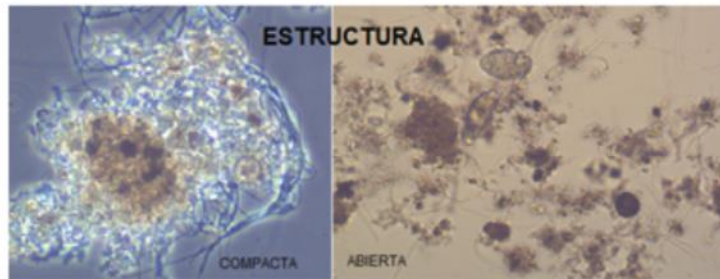
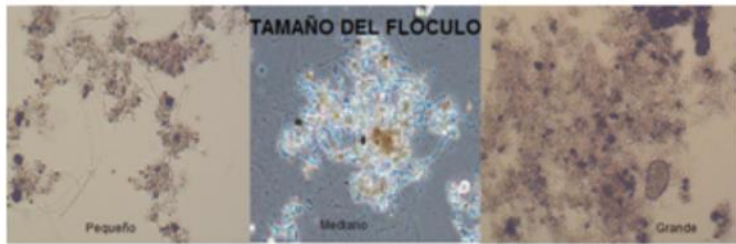
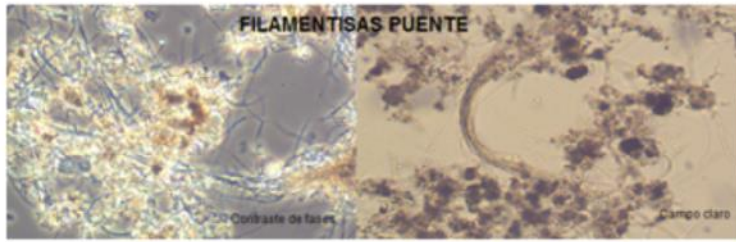
7.1. Bioindicació com a control de processos

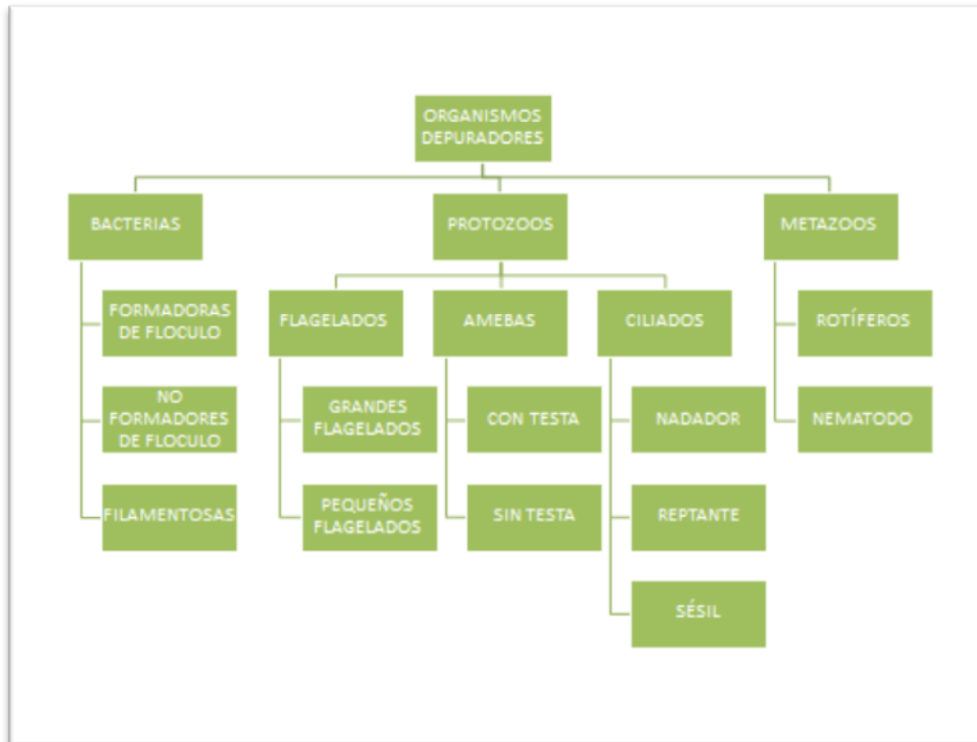
S'han realitzat una sèrie de fitxes per a incorporar la bioindicació com a control del processos en el tractament secundari de la EDAR de l'empresa Clariant.



<p>Nivel macroscópico del floculo</p> <p>V_{30} : Determina la cantidad de fangos sedimentables del licor de mezcla en un período de 30 min.</p> <p>Turbidez: Se observa la turbidez del sobrenadante. Esta debería ser lo más baja posible.</p> <p>Floculo en suspensión: Se observa en el sobrenadante de la decantación si hay floculo en suspensión.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>V_{30}</th> <th>Parámetro bioindicador</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200-600</td> <td>Decantación rápida</td> </tr> <tr> <td>600-800</td> <td>Decantación media</td> </tr> <tr> <td>800-1000</td> <td>Decantación lenta</td> </tr> </tbody> </table>	V_{30}	Parámetro bioindicador	200-600	Decantación rápida	600-800	Decantación media	800-1000	Decantación lenta
	V_{30}	Parámetro bioindicador							
	200-600	Decantación rápida							
	600-800	Decantación media							
800-1000	Decantación lenta								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Turbidez del sobrenadante</th> <th>Parámetro bioindicador</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alta</td> <td>Mala clarificación</td> </tr> <tr> <td>Media</td> <td>Clarificación media</td> </tr> <tr> <td>Baja</td> <td>Buena clarificación</td> </tr> </tbody> </table>	Turbidez del sobrenadante	Parámetro bioindicador	Alta	Mala clarificación	Media	Clarificación media	Baja	Buena clarificación	
Turbidez del sobrenadante	Parámetro bioindicador								
Alta	Mala clarificación								
Media	Clarificación media								
Baja	Buena clarificación								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Numero de floculos en suspensión</th> <th>Parámetro bioindicador</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alto</td> <td>Mala clarificación y aumento del MES.</td> </tr> <tr> <td>Medio</td> <td>Clarificación media</td> </tr> <tr> <td>Bajo</td> <td>Buena clarificación</td> </tr> </tbody> </table>	Numero de floculos en suspensión	Parámetro bioindicador	Alto	Mala clarificación y aumento del MES.	Medio	Clarificación media	Bajo	Buena clarificación	
Numero de floculos en suspensión	Parámetro bioindicador								
Alto	Mala clarificación y aumento del MES.								
Medio	Clarificación media								
Bajo	Buena clarificación								

<p>Nivel microscópico del floculo</p> <p>Tamaño: A mayor tamaño de floculo mejor sedimentación. Se observa en el microscopio a 10x en contraste de fases.</p> <p>Estructura: La estructura del floculo determina la sedimentación. A mayor regularidad de estructura mejor sedimentación. Se observa a 10x en contraste de fases.</p> <p>Filamentosas: La cantidad de filamentosas determina la calidad del floculo, pero si estas están formando puentes entre floculos la sedimentación será más baja. Se observa a 10x en contraste de fases.</p> <p>Evaluación de la micro fauna presente: Se evalúa la variedad y cantidad relativa de micro fauna presente.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamaño</th> <th>Parámetro bioindicador</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pequeño</td> <td>Decantación lenta</td> </tr> <tr> <td>Mediano</td> <td>Decantación media</td> </tr> <tr> <td>Grande</td> <td>Decantación rápida</td> </tr> </tbody> </table>	Tamaño	Parámetro bioindicador	Pequeño	Decantación lenta	Mediano	Decantación media	Grande	Decantación rápida
	Tamaño	Parámetro bioindicador							
	Pequeño	Decantación lenta							
	Mediano	Decantación media							
Grande	Decantación rápida								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Estructura</th> <th>Parámetro bioindicador</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Abierta</td> <td>Mala clarificación</td> </tr> <tr> <td>Media</td> <td>Clarificación media</td> </tr> <tr> <td>Compacta</td> <td>Buena clarificación</td> </tr> </tbody> </table>	Estructura	Parámetro bioindicador	Abierta	Mala clarificación	Media	Clarificación media	Compacta	Buena clarificación	
Estructura	Parámetro bioindicador								
Abierta	Mala clarificación								
Media	Clarificación media								
Compacta	Buena clarificación								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Numero de filamentosas puente</th> <th>Parámetro bioindicador</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alto</td> <td>Mala sedimentación</td> </tr> <tr> <td>Medio</td> <td>Sedimentación media</td> </tr> <tr> <td>Bajo</td> <td>Buena sedimentación</td> </tr> </tbody> </table>	Numero de filamentosas puente	Parámetro bioindicador	Alto	Mala sedimentación	Medio	Sedimentación media	Bajo	Buena sedimentación	
Numero de filamentosas puente	Parámetro bioindicador								
Alto	Mala sedimentación								
Medio	Sedimentación media								
Bajo	Buena sedimentación								





**EVALUACIÓN DE LA MICROFAUNA PRESENTE:
BACTERIAS LIBRES I
FILAMENTOSAS**

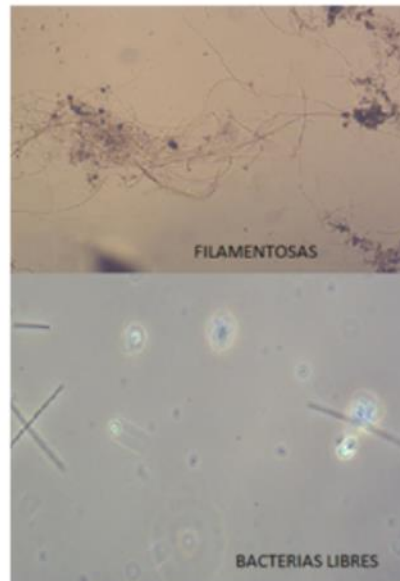
Alimentación: materia orgánica disuelta.

Parámetros bioindicadores: A mayor cantidad mejor depuración se obtendrá en el proceso.

Medición de la cantidad de bacterias: Mediante la respirometría se mide la cantidad de bacterias. Se realiza un ensayo de DBO ($\times 1$), se deja estabilizar la línea base y se añade la muestra (0,25 g NaAc en 30 ml H₂O) y se pulsa $\times 1$. Se anota el valor de R máximo.

- R inferior a 80 : baja población
- R entre 80 y 120 : población media
- R entre 120 y 180: buena población
- R superior a 180: muy buena población.

Mediante la observación en el microscopio a 40 x en contraste de fases se puede evaluar la cantidad de bacterias presentes.



EVALUACIÓN DE LA MICROFAUNA PRESENTE: BACTERIAS FILAMENTOSAS PUENTE

Alimentación: materia orgánica disuelta.

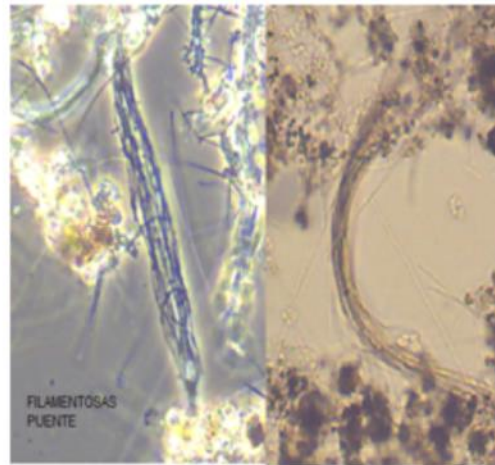
Parámetros bioindicadores: a mayor cantidad de filamentosas formando puentes entre floculos más lenta será la sedimentación de los fangos y aumentará la V_{20} .

Evaluación de la cantidad de bacterias filamentosas puente:

Mediante la V_{20} se obtiene información sobre la sedimentación y da una idea de la cantidad de filamentosas formando puentes.

Mediante la observación microscópica a 10 x en contraste de fases se evalúa la cantidad de bacterias filamentosas haciendo puentes entre floculos.

A nivel macroscópico se observa el fango esponjoso y sedimentación lenta.



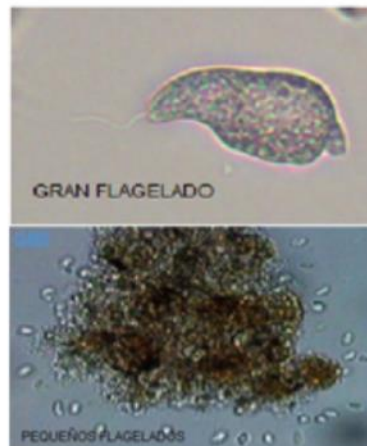
EVALUACIÓN DE LA MICROFAUNA PRESENTE: PROTOZOOS FLAGELADOS

Alimentación: Bacterias.

Parámetros bioindicadores: indican una disminución en la calidad de depuración. Condiciones inestables del sistema.

Evaluación de la cantidad relativa de flagelados:

Mediante la observación en el microscopio a 40 x en contraste de fases.



EVALUACIÓN DE LA MICROFAUNA PRESENTE: AMEBAS

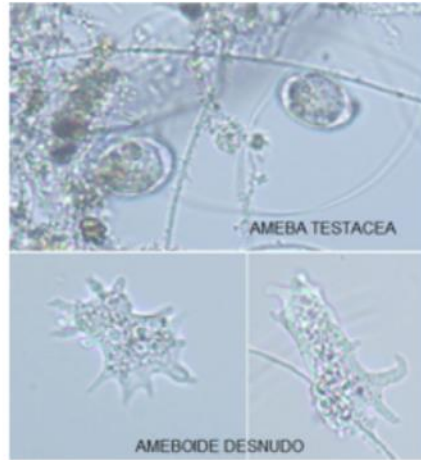
Alimentación: Bacterias y otros protozoos.

Parámetros bioindicadores: indican carga másica débil o la presencia de una sustancia lentamente biodegradable.

Medición de la cantidad relativa de amebas:

Mediante la observación en el microscopio a 10 x en campo claro.

Medición de sustancias poco biodegradables presentes en el reactor biológico: mediante el ensayo de respirometría (ficha x) si aparece "cola" en el gráfico del NaAc indica la presencia de una sustancia poco biodegradable.



EVALUACIÓN DE LA MICROFAUNA PRESENTE: CILIADOS NADADORES

Alimentación: Bacterias.

Parámetros bioindicadores: a elevada población indican un buen rendimiento en la depuración.

Evaluación de la cantidad relativa de ciliados nadadores:

Mediante la observación en el microscopio a 10 x o 20 x en campo claro. Se evalúa la cantidad de ciliados nadadores presentes y la variedad de especies presentes.



EVALUACIÓN DE LA MICROFAUNA PRESENTE: CILIADOS REPTANTES

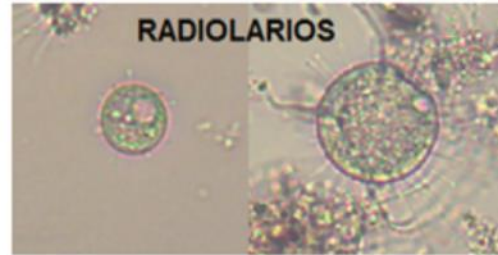
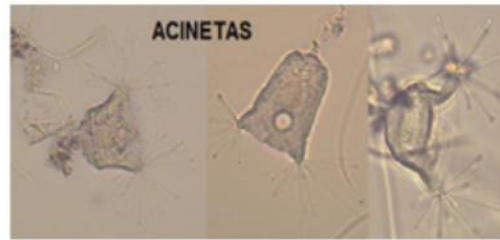
Alimentación: Otros protozoos.

Parámetros bioindicadores: a elevada población indican un deterioro en la calidad de depuración del proceso. Pueden indicar la presencia de un tóxico en el reactor.

Evaluación de la cantidad relativa de ciliados reptantes:

Mediante la observación en el microscopio a 10 x o 20 x en campo claro.

Medición de tóxicos presentes en una muestra: mediante el ensayo de respirometría (ficha x), después del acetato se añade la muestra a analizar y el instrumento indica la presencia de un tóxico.



EVALUACIÓN DE LA MICROFAUNA PRESENTE: CILIADOS SÉSIL

Alimentación: Bacterias.

Parámetros bioindicadores: a elevada población indican un buen rendimiento en la depuración.

Evaluación de la cantidad relativa de ciliados nadadores:

Mediante la observación en el microscopio a 10 x o 20 x en campo claro. Se evalúa la cantidad de ciliados nadadores presentes y la variedad de especies presentes.



EVALUACIÓN DE LA MICROFAUNA PRESENTE: METAZOO ROTÍFERO

Alimentación: productos de descomposición de materia orgánica.

Parámetros bioindicadores: a elevada población indican una elevada edad del fango. Sería recomendable aumentar el caudal de purga.

Evaluación de la cantidad relativa de rotíferos:

Mediante la observación en el microscopio a 10 x o 20 x en campo claro.



EVALUACIÓN DE LA MICROFAUNA PRESENTE: NEMATODO

Alimentación: protozoos.

Parámetros bioindicadores: La presencia de nematodos en el reactor biológico indica una edad del fango muy elevada, es necesario aumentar la purga.

Evaluación de la cantidad relativa de nematodos:

Mediante la observación en el microscopio a 10 x o 20 x en campo claro. Se evalúa la presencia de estos.



