

**Títol del Treball:**

**Seguiment i optimització de la planta de depuració  
d'aigües residuals del celler i formatgeria La Vinyeta.**

Estudiant: Enric Gironella Fernandez

Correu electrònic: enric.gironella@gmail.com

Grau en Ciències Ambientals

Tutor: Joaquim Comas Matas

Correu electrònic: joaquim.comas@udg.edu

Cotutor: Josep Serra

Correu electrònic: celler@lavinyeta.es

Empresa/Institució: Celler i formatgeria La Vinyeta

Data de dipòsit de la memòria a través de la plataforma de TFG: 6 de juny de 2023

## RESUM

L'aigua és un recurs cada vegada més limitat i les prediccions pels anys vinents, presenten un escenari on cada cop serà més complicat l'accés a aquest recurs. Per aquest motiu està augmentant l'interès en la reutilització de l'aigua i s'estan desenvolupant noves tecnologies naturals que veurem en creixement en un futur.

En aquest treball es parla sobre la indústria del vi, concretament del celler La Vinyeta, la qual té una responsabilitat molt gran a l'hora d'utilitzar l'aigua de manera eficient i sostenible. Durant aquest TFG es va portar a terme una avaluació de la qualitat i la quantitat d'aigua generada en el celler. Per fer-ho es van analitzar els següents paràmetres: DQO, DBO, SST, Nitrogen total, Nitrats, Nitrits, Amoni, Fòsfor total, fosfats i pH. També es va portar un control dels comptadors d'aigua de diferents espais del celler, per tal de conèixer la quantitat d'aigua que es fa servir, i poder obtenir valors de cabal d'entrada a la depuradora. I finalment, es va avaluar el funcionament de cadascuna de les etapes de la planta de depuració de les aigües residuals del celler i la formatgeria, i es proposen possibles estratègies de millora.

Els resultats van mostrar una baixa reducció de paràmetres com la matèria orgànica, el nitrogen, el fòsfor i el pH. Tot i això, durant els mesos de mostreig es va detectar un problema de fuites en l'aiguamoll construït, que un cop es va resoldre, va millorar el rendiment de la planta, reduint en gran part la majoria dels paràmetres analitzats. Es podria afirmar que el funcionament de la planta depuradora no és l'òptim, però gràcies a aquest estudi s'han detectat punts febles i alguns problemes que si es gestiona de forma correcta, pot ajudar a millorar el funcionament de la planta, i aconseguir poder reutilitzar gran part de l'aigua residual que es genera.

Ahora, es van estudiar diferents propostes de millora per tal de corregir el mal funcionament de les diferents etapes de la planta de depuració. S'ha vist que tot i existir molts diferents tipus de tecnologies naturals de depuració d'aigües residuals, encara hi ha una manca en investigació cap al tractament natural d'aquestes aigües.

## RESUMEN

El agua es un recurso cada vez más limitado y las predicciones para los próximos años presentan un escenario donde cada vez será más complicado el acceso a este recurso. Por este motivo, está aumentando el interés en la reutilización del agua y se están desarrollando nuevas tecnologías naturales que veremos en crecimiento en un futuro.

En este trabajo se habla sobre la industria del vino, concretamente de la bodega La Vinyeta, la cual tiene una gran responsabilidad a la hora de utilizar el agua de manera eficiente y sostenible. Durante este TFG se llevó a cabo una evaluación de la calidad y la cantidad de agua generada en la bodega. Para hacerlo se analizaron los siguientes parámetros: DQO, DBO, SST, Nitrógeno total, Nitratos, Nitritos, Amonio, Fósforo total, fosfatos y pH. También se llevó un control de los contadores de agua de diferentes espacios de la bodega, con el fin de conocer la cantidad de agua que se utiliza y poder obtener valores de caudal de entrada a la depuradora. Y finalmente, se evaluó el funcionamiento de cada una de las etapas de la planta de depuración de las aguas residuales de la bodega y la quesería, y se proponen posibles estrategias de mejora.

Los resultados mostraron una baja reducción de parámetros como la materia orgánica, el nitrógeno, el fósforo y el pH. Sin embargo, durante los meses de muestreo se detectó un problema de fugas en el humedal construido, que una vez se resolvió, mejoró el rendimiento de la planta, reduciendo en gran parte la mayoría de los parámetros analizados. Se podría afirmar que el funcionamiento de la planta depuradora no es óptimo, pero gracias a este estudio se han detectado puntos débiles y algunos problemas que, si se gestionan de forma correcta, pueden ayudar a mejorar el funcionamiento de la planta y lograr reutilizar gran parte del agua residual que se genera.

A su vez, se estudiaron diferentes propuestas de mejora para corregir el mal funcionamiento de las diferentes etapas de la planta de depuración. Se ha visto que, aunque existen muchos diferentes tipos de tecnologías naturales de depuración de aguas residuales, todavía hay una falta de investigación hacia el tratamiento natural de estas aguas.

## ABSTRACT

Water is an increasingly limited resource, and predictions for the coming years present a stage where access to this resource will become more and more challenging. For this reason, there is a growing interest in water reuse, and new natural technologies are being developed that we will see expanding in the future.

This study focuses on the wine industry, specifically La Vinyeta winery, which has a great responsibility in using water efficiently and sustainably. During this bachelor's thesis, an assessment of the quality and quantity of water generated in the winery was conducted. The following parameters were analyzed: COD, BOD, TSS, total nitrogen, nitrates, nitrites, ammonia, total phosphorus, phosphates, and pH. Water meters in different areas of the winery were also monitored to determine the amount of water used and obtain inflow values to the wastewater treatment plant. Finally, the performance of each stage of the winery and cheese factory's wastewater treatment plant was evaluated, and possible improvement strategies were proposed.

The results showed a low reduction in parameters such as organic matter, nitrogen, phosphorus, and pH. However, during the sampling months, a leakage problem was detected in the constructed wetland, which, once resolved, improved the plant's performance, significantly reducing most of the analyzed parameters. It could be stated that the wastewater treatment plant's operation is not optimal, but thanks to this study, weak points and some issues have been identified, which, if managed properly, can help improve the plant's performance and allow for the reuse of a significant portion of the generated wastewater.

Furthermore, different improvement proposals were studied to address the malfunctioning of the various stages of the treatment plant. It has been observed that despite the existence of many different types of natural wastewater treatment technologies, there is still a lack of research towards the natural treatment of these waters.

## REFLEXIÓ SOBRE ÈTICA

L'aigua és un recurs limitat i essencial per a la vida. En molts països l'accés a aigua potable i a recursos hídrics nets i segurs és molt limitat, la qual cosa fa que la gestió de l'aigua sigui un tema crític i que un mal comportament pugui tenir conseqüències molt importants.

En aquest cas parlem sobre la indústria del vi, la qual té una responsabilitat molt gran a l'hora d'utilitzar l'aigua de manera eficient i sostenible, minimitzant així el seu consum i afavorint una posterior reutilització.

D'acord amb un estudi realitzat per l'Organització de les Nacions Unides per l'Agricultura i l'Alimentació (FAO), la producció d'una ampolla de vi de 750 ml pot requerir entre 7 i 16 litres d'aigua, depenent del tipus de vi, el mètode de producció i la regió geogràfica (FAO, 2017).

Per tant, totes les indústries dedicades a la producció de vi, han d'establir una sèrie de mesures per tal de minimitzar el consum d'aigua i afavorir a la seva reutilització. Una de les principals mesures que poden adoptar aquest tipus d'indústria sol ser: Recollir i reutilitzar l'aigua de pluja.

Aquesta actuació té les seves implicacions ètiques, que veurem a continuació.

Les indústries del vi poden instal·lar sistemes de recollida d'aigua de pluja per a utilitzar-la en els seus processos. Això ajuda a reduir la dependència de l'aigua subterrània i potencialment reduir els costos.

Aquesta estratègia centrada en la recollida de l'aigua de la pluja abans que s'infiltri comporta una controvèrsia important pel que fa a les capacitats dels aqüífers subterranis, perquè si no es deixen recarregar d'aigua, poden anar perdent capacitat. La qual cosa crea un debat importat, en el que, per una banda, es defensa que és molt més rellevant que l'aigua s'infiltri i empleni els aqüífers i tenir reserves d'aigua en èpoques de sequera, que actualment s'està agreujant, que no pas disposar d'aigua per regar. I, per altra banda, es pot defensar a què si es fa un bon tractament d'aquesta aigua un cop utilitzada pels processos necessaris d'aquestes indústries, es podria retornar al medi o fins i tot infiltrar cap als aqüífers subterranis.

En aquest cas, hi juga un factor molt crític, que és la responsabilitat de l'empresa de fer un bon procés de tractament i de retornar l'aigua al medi en el millor estat possible per així, evitar contaminacions d'aqüífers.

Aquesta estratègia centrada en la recollida i la reutilització de l'aigua de pluja és perfectament compatible amb tots els principis ètics si acceptem que el valor que l'empresa disposi d'aigua per la seva producció de vi està per sobre que, en èpoques de sequera i baixa disponibilitat d'aigua, no hi hagi suficient aigua per abastir a tota la població. Per tant, en aquest cas l'utilitarisme, pensaria que el millor és deixar infiltrar l'aigua perquè així tothom disposi de la quantitat més gran d'aigua possible quan sigui necessari, ja que l'utilitarisme busca el benestar més gran global possible, prendre decisions que busquin el bé més gran per a la majoria d'éssers vius, tant a curt com a llarg termini.

Una possible solució a aquest conflicte és una legislació que regules totes aquestes empreses i establissin uns límits de concentracions de contaminants màxims en què s'hagi de retornar aquesta aigua al medi.

## REFLEXIÓ SOBRE SOSTENIBILITAT

Els cellers de vins són un tipus d'indústria molt present en la nostra terra. Existeix un debat sobre el tipus de tractament que hauria de rebre les seves aigües residuals.

Aquestes aigües residuals solen presentar unes càrregues de contaminants molt elevades i, per tant, és necessari un bon tractament per minimitzar qualsevol impacte negatiu que pugui tenir en el medi ambient. En conseqüència, l'interès de fer un tractament més exhaustiu és molt gran.

Un clar exemple de presència de contaminació elevada en aquest tipus d'aigües residuals és que, durant el procés de fermentació del most de raïm, els llevats converteixen els sucres en alcohol i diòxid de carboni, la qual cosa genera una gran quantitat de residus orgànics. Un exemple seria en un estudi realitzat a Espanya durant la fermentació d'un vi blanc, es van trobar concentracions de fins a 51.000 mg/L de DBO (Otero, M. 2013). Si aquestes aigües no es tracten poden arribar a contaminar rius, llacs, i acabar arribant al mar, arribant a causar una gran pèrdua d'hàbitat i de biodiversitat, esgotant l'oxigen dissolt en l'aigua i causar la mort de la vida aquàtica.

Un cop vist tots aquests motius, s'han establert diferents tipus de control sobre aquestes aigües residuals

1. Control del procés.
2. Control regulador.
3. Auditories i certificacions.

Totes les actuacions tenen les seves implicacions de sostenibilitat, que veurem a continuació.

1- Control del procés: Aquest tipus de control s'enfoca a prevenir la generació de contaminants en el procés productiu del vi. Es poden implementar pràctiques com la reducció de l'ús de pesticides i fungicides en les vinyes, la selecció d'equips i maquinàries que minimitzen la generació de residus i l'optimització de l'ús d'aigua en el procés productiu. És una bona solució a llarg termini, ja que aquest mètode genera menys conflicte a l'hora d'establir límits en les concentracions finals de contaminant. Per altra banda, fer aquestes anàlisis del procés productiu i realitzar els canvis pertinents per millorar la generació de contaminants pot ser en alguns casos que tingui uns costos molt elevats per a segons quines empreses.

2- Control regulador: Les autoritats locals, regionals o nacionals poden establir regulacions per controlar les emissions de contaminants al medi ambient. Aquestes regulacions poden establir límits en les concentracions de contaminants presents en les aigües residuals i establir sancions en cas d'incompliment. Aquesta solució és bona si parlem en terme de curt termini, ja que a la llarga potser el millor seria identificar la font del problema i no haver de recórrer a establir uns màxims.

3- Auditories i certificacions: Les auditories i certificacions poden ser utilitzades per avaluar i millorar la implicació ambiental dels cellers. Algunes organitzacions poden fer auditories per avaluar el compliment de les normatives ambientals, mentre que altres poden atorgar certificacions als cellers que demostrin pràctiques sostenibles en el seu procés productiu. En aquest cas el preu per contractar aquest tipus de serveis també seria elevat.

## REFLEXIÓ SOBRE PERSPECTIVA DE GÈNERE

La indústria del vi ha estat tradicionalment dominada per homes, tant en la producció com en la comercialització i la promoció del vi. Però, cada vegada són més les dones que s'obren camí dins d'aquest sector, trencant estereotips i demostrant la seva capacitat i talent en diferents àrees.

Tot i que encara queda molt per fer, és indubtable que la presència de la dona en la indústria del vi ha anat en augment en els últims anys. Segons un informe de l'Organització Internacional del Vi (OIV) de 2019, el nombre de dones enòlogues ha crescut un 10% en l'última dècada, i que cada cop són més les dones que ocupen càrrecs d'alt lideratge en els cellers i empreses del sector. Això és una mostra de que s'estan fent valer el seu talent i capacitat en un sector que ha estat tradicionalment masculí. També, segons l'informe de Wine Intelligence, les dones són les responsables de més del 50% del consum de vi en tot el món (Wine Intelligence, 2020).

Cal destacar que moltes dones estan destacant en la indústria del vi de forma molt notable, tant a Espanya com a altres països. Per exemple, l'enòloga Ana Martín Onzain, va ser nomenada la millor enòloga d'Espanya el 2019 per la guia Peñín, aquest és un exemple de com les dones poden liderar projectes vitivinícoles d'èxit.

Malgrat aquests avenços, la bretxa de gènere en la indústria del vi encara és notable. Per exemple, segons l'informe de l'OIV mencionat anteriorment, les dones enòlogues continuen cobrant un 20% menys que els seus companys, homes. I també, moltes dones es troben amb barreres i prejudicis en la seva carrera professional, i sovint se'ls hi assignen tasques menys rellevants o se les relega a llocs més subordinats.

Un altre problema és el sexisme que encara es pot trobar en la publicitat i el màrqueting del vi. Sovint s'utilitzen estereotips sexistes per promocionar el vi, i es tendeix a objectivar a la dona en relació amb el consum de vi.

És important tenir en compte que les dones no són un grup homogeni i que la seva experiència en la indústria del vi es pot veure afectat per altres factors com la raça, l'orientació sexual o l'edat. També, és rellevant destacar que la categoria laboral també pot influir en l'experiència de les dones en la indústria del vi. Les dones que treballen en llocs de treball de menor remuneració i amb menys responsabilitats poden tenir menys oportunitats d'ascens i major exposició a la discriminació de gènere.

En conclusió, la participació de la dona en la indústria vitivinícola ha augmentat en les últimes dècades, però, tot i això, encara existeixen barreres i desigualtats de gènere que afecten el seu paper en la indústria. És crucial treballar per eliminar els estereotips de gènere, promoure la igualtat de gènere i garantir que totes les dones puguin tenir les mateixes oportunitats davant dels homes.

# ÍNDEX

1.	INTRODUCCIÓ.....	8
1.1.	Tractament d'aigües residuals en la indústria vitivinícola .....	8
1.2.	Descripció dels principals contaminants presents en les aigües residuals de cellers de vi.....	8
1.3.	Descripció dels processos de tractament d'aigües residuals utilitzats en la indústria vitivinícola .....	9
1.4.	Descripció de les principals tecnologies naturals de depuració d'aigües residuals en la indústria del vi .....	10
1.4.1.	Aiguamolls construïts.....	10
1.4.2.	Aiguamolls de fangs.....	13
1.4.3.	Estanys anaeròbics.....	13
1.5.	Justificació de la seva importància.....	14
2.	OBJECTIUS .....	15
3.	METODOLOGIA.....	16
3.1.	Celler La Vinyeta.....	16
3.2.	Descripció de la planta de tractament .....	16
3.3.	Procediment experimental usat per l'anàlisi de les aigües residuals .....	17
3.3.1.	Mostreig, conservació i transport .....	17
3.3.2.	Anàlisis realitzats .....	18
4.	RESULTATS I DISCUSSIÓ .....	19
4.1.	Quantitat i qualitat de l'aigua residual generada .....	19
4.2.	Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en l'estudi.....	19
4.3.	Propostes de millora de la gestió de les aigües residuals.....	27
5.	CONCLUSIONS .....	29
6.	BIBLIOGRAFIA.....	30



# 1. INTRODUCCIÓ

## 1.1. Tractament d'aigües residuals en la indústria vitivinícola

La història de la indústria del vi és rica i extensa. Es pensa que el vi té les seves arrels, milions d'anys enrere i ha estat produït arreu del món durant segles. Avui dia, la producció de vi és una indústria significativa en molts països i regions, i s'ha convertit en un component clau de la cultura i la tradició local en molts llocs.

El procés de fer vi implica diversos passos, que comencen amb la selecció dels raïms i continuen amb la fermentació, l'envelliment i l'embotellament. La gestió de les aigües residuals produïdes durant el procés és un dels reptes més importants en la producció del vi.

El vi tendeix a ser ric en materials orgànics, nutrients i altres substàncies que, si es llencen al medi ambient sense tractar, poden ser perjudicials (Teichert, 2017). Per tal de reduir l'impacte ambiental de la seva producció, és crucial que els cellers estableixin sistemes adequats per al tractament de les aigües residuals.

Si les aigües residuals de la indústria del vi no es gestionen adequadament, poden tenir un impacte negatiu en el medi ambient. Sense tractament, la infiltració d'aigües residuals pot contaminar els cossos d'aigua propers, disminuint la qualitat de la vida aquàtica i de l'aigua potable propera. A més, si s'utilitzen per regar cultius, les aigües residuals poden afectar la qualitat del sòl.

Per això, és crucial que els cellers tinguin sistemes de tractament adequats per reduir l'impacte ambiental de les seves aigües residuals.

## 1.2. Descripció dels principals contaminants presents en les aigües residuals de cellers de vi

El principal factor mediambiental afectat pel procés d'elaboració del vi és l'aigua, ja que són les aigües que suporten la principal contaminació de la indústria vinícola, sobretot per les operacions de neteja de la bodega.

La problemàtica dels efluent dels cellers és per culpa de la variabilitat d'aquestes quant a composició i cabal al llarg de l'any, ja que tenen un caràcter marcadament estacional. Així s'estima que aproximadament el 60% del volum total d'aigua residual es genera en els períodes de verema (De la Varga, 2014).

Un dels principals contaminants més comú que es troba en aquestes aigües són els **sòlids en suspensió**. Aquests sòlids poden contenir partícules de raïm, llevats, bacteris i altres materials orgànics i inorgànics. Els sòlids en suspensió poden causar problemes en els sistemes de tractament d'aigües residuals, perquè poden obstruir filtres o els canals de flux. I també poden ser molt perjudicials en els ecosistemes aquàtics, ja que poden disminuir la penetració de la llum solar i reduir la quantitat d'oxigen disponible per als organismes aquàtics.

Un altre contaminant molt present en aquestes aigües és la **matèria orgànica**, la qual és un contaminant molt comú en la indústria vinícola. La matèria orgànica pot ser

biodegradable o no biodegradable. La DQO, que ens indica la demanda química d'oxigen, és un paràmetre que indica la quantitat de substàncies susceptibles a ser oxidades per medis químics que hi ha dissolts o en suspensió en una mostra líquida. S'expressa en mg d'O<sub>2</sub>/L. Per altra banda, tenim la DBO que ens mesura la quantitat d'oxigen consumit en degradar la matèria orgànica per medis biològics d'una mostra líquida i permet determinar la matèria orgànica biodegradable. Aquesta se sol mesurar normalment al cap de cinc dies de reacció (DBO<sub>5</sub>) i també s'expressa en mg d'O<sub>2</sub>/L. La matèria orgànica biodegradable inclou compostos orgànics que poden ser descomposts per bacteris i altres microorganismes presents a l'aigua. La matèria orgànica no biodegradable està formada per compostos orgànics que no poden ser descomposts per microorganismes presents en l'aigua. La matèria orgànica biodegradable pot ser tractada mitjançant processos de digestió aeròbia o anaeròbia, mentre que la matèria orgànica no biodegradable ha de ser tractada mitjançant processos físics i químics.

I per últim, els nutrients, que també són un tipus de contaminant comú en aigües residuals de la indústria vitivinícola. Aquests nutrients, com el **nitrogen o el fòsfor**, poden ser perjudicials per als ecosistemes aquàtics, perquè poden causar problemes ambientals com l'eutrofització, causant un desequilibri en l'ecosistema aquàtic i afectar negativament la salut dels organismes.

### 1.3.Descripció dels processos de tractament d'aigües residuals utilitzats en la indústria vitivinícola

Avui en dia existeix una pressió sobre els cellers per part dels consumidors d'adoptar mesures per tal de reduir i mitigar la toxicitat de les aigües residuals que generen en les seves bodegues. (Conradie, 2014).

Per al tractament d'aigües residuals existeixen dos tipus de tecnologies de tractament, les convencionals i les naturals. Les convencionals solen tenir lloc en reactors de velocitat accelerada els quals consumeixen molta energia. Algun exemple d'aquestes seria el digestor aerobi i el digestor anaerobi, els quals consisteixen en un procés realitzat per diversos microorganismes, que en funció de si hi ha presència d'oxigen o no (aeròbia o anaeròbia), descomponen la matèria orgànica dissolta, transformant-la en diferents tipus de productes depenent del tipus de digestió aplicada. Un altre exemple de tecnologia convencional seria el UASB, també conegut com a reactor anaerobi de flux ascendent, en el qual l'efluent entra per la part inferior del reactor i surt per la part superior i també és un tipus de reactor anaerobi. I el digestor hidrolític (HUSB), el qual la seva funció és reduir els sòlids en suspensió i disminuir la càrrega orgànica, el qual necessita d'un posterior tractament per acabar de completar la depuració. En canvi, les tecnologies naturals o també conegudes com a extensives utilitzen processos naturals i comuns d'autodepuració que tenen lloc al sòl, a l'aigua i als aiguamolls. El sòl i la vegetació estan directament involucrats en els processos, mitjançant la formació de condicions favorables per al desenvolupament dels microorganismes que intervenen en el procés de tractament (Torrens, 2016).

La principal diferència entre les tecnologies convencionals i les naturals és que les primeres consumeixen molta energia en ocórrer en reactors de velocitat accelerada, mentre que en els sistemes extensius els processos ocorren a velocitats "naturals" (sense addició d'energia artificial). Aquest estalvi energètic es compensa amb la

necessitat d'una major superfície. Per tant, per a una mateixa càrrega de contaminant, els sistemes naturals requereixen superfícies considerablement majors (Torrens, 2016).

Actualment, les tecnologies naturals estan aconseguint cada cop més protagonisme per a aplicacions descentralitzades per al tractament d'aigües residuals, per a la seva eliminació en el medi ambient o per la seva reutilització i reciclatge.

## 1.4.Descripció de les principals tecnologies naturals de depuració d'aigües residuals en la indústria del vi

### 1.4.1.Aiguamolls construïts

Els aiguamolls construïts (ACs) són sistemes de tractament passius, construïts per canals o llacunes poc profundes plantades amb espècies típiques de les zones humides (macròfits) i on els processos de descontaminació es donen per la simultaneïtat de fenòmens físics, químics i biològics (Brix, 1994).

Els ACs constitueixen una tecnologia flexible i robusta que pot adaptar-se a càrregues orgàniques i hidràuliques molt diferents, i que han demostrat resultats prometedors en el tractament d'efluents de cellers (Uggetti, 2011). Les aigües residuals de bodega s'han sumat al tractament per aiguamolls construïts fa relativament poc, ja que aquests aiguamolls es poden adaptar segons els tipus d'aigua residual a tractar, segons les condicions; tipus d'efluent, disponibilitat de terreny, cabal i càrrega contaminant (De la Varga, 2020).

A Europa el nombre de depuradores basades en sistemes d'ACs ha augmentat considerablement en els darrers anys. Aquest fet es deu bàsicament a les característiques inherents dels ACs, que els fa una tecnologia adequada per al tractament d'aigües residuals en petites comunitats. Són un dels sistemes més adequats per cobrir les necessitats de petites comunitats, poblacions rurals i poblacions aïllades que requereixen un tractament descentralitzat.

#### 1.4.1.1.Aiguamoll de flux superficial

Aquest tipus d'aiguamolls es construeixen per excavació amb un fons impermeable, sobre el qual es disposa un substrat i vegetació. L'aigua està exposada a l'atmosfera i circula a través de les tiges de les plantes.

L'alimentació es dona de forma contínua i la depuració té lloc en el trànsit de les aigües a través de les tiges i arrels implantades. La fracció vegetal que cau serveix per donar suport a la fixació de la pel·lícula bacteriana responsable dels processos de biodegradació, mentre que les fulles que són per sobre de la superfície de l'aigua fan ombra a la massa d'aigua, limitant el creixement de microalgues.

La principal font d'oxigen per a la nitrificació als aiguamolls és l'aireig atmosfèric de la superfície de l'aigua. Tot i que l'aiguamoll sigui poc profund, la gran part del líquid està en condicions anaeròbies. Per tant, a la part més propera a la superfície de l'aigua es durà a terme la nitrificació i en la resta de líquid es dona a terme la desnitrificació. Les

fonts de carboni per a la desnitrificació són la capa de restes de vegetació que es troba submergida, altres restes del bentos i la DBO de l'aigua residual (GOIB, 2019).

Aquests tipus d'aiguamolls necessiten un pretractament, un tractament primari i un tractament secundari aigües a dalt (fossa sèptica amb un filtre percolador o similars).

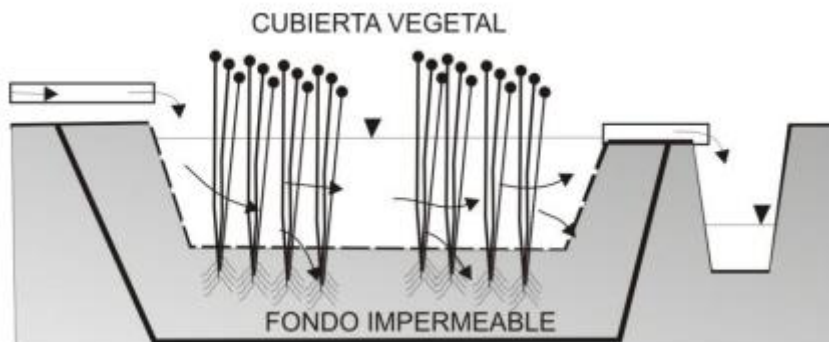


Figura 1: Esquema d'un aiguamoll de flux superficial. Font: Pla hidrològic de les Illes Balears.

#### 1.4.1.2. Aiguamoll de flux subsuperficial vertical (FSV)

En aquests aiguamolls l'aigua es distribueix homogèniament per tota la superfície i després s'infiltra a través del sistema per gravetat, en un llit no saturat i ple d'oxigen (per això tenen una alta taxa de transferència d'oxigen), mentre l'aigua s'escorre pel filtre, l'aire es queda en els porus afavorint els processos aeròbics. S'aplica en cicles de puls perquè hi hagi un període de descans i així recarregar el llit d'oxigen (Teruel, 2023).

L'alimentació s'efectua de forma intermitent, és a dir, tenen fases d'ompliment, reacció i abocament. L'aigua circula verticalment a través d'un substrat, en el qual es fixa la vegetació. Al fons de l'aiguamoll hi ha una xarxa de drenatge que recull l'efluent depurat. A aquesta xarxa de drenatge s'hi connecten un conjunt de xemeneies, que sobresurten de la capa d'àrids, amb al finalitat d'incrementar l'oxigenació de la capa del substrat filtrant. En aquest tipus d'aiguamoll es produeixen processos de nitrificació (GOIB, 2019).

Els FSV es poden subdividir en dues categories: amb alta càrrega i amb baixa càrrega, depenent de si l'aigua que reben prové d'un tractament primari o d'un tractament secundari.

Els tipus d'aiguamolls d'alta càrrega necessiten un pretractament i un tractament primari aigües a dalt (fossa sèptica, tanc Imhoff o similars), mentre que el de baixa càrrega, necessitarà un pretractament, un tractament primari i també un tractament secundari aigües a dalt (fossa sèptica amb filtre percolador, fossa d'oxidació total o similars) (GOIB, 2019).

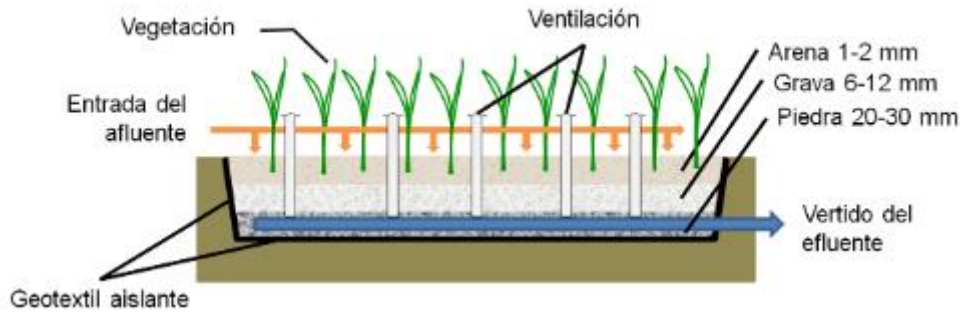


Figura 2: Aiguamoll construït de flux vertical. Font: WETWINE software.

#### 1.4.1.2. Aiguamoll de flux subsuperficial horitzontal (FSH)

En aquest tipus d'aiguamolls l'aigua es mou horitzontalment a través del substrat del sistema en contacte amb els rizomes i les plantes, per després sortir. Els FSH solen funcionar en condicions de saturació d'aigua permanent que limita la transferència d'oxigen i, per tant, la nitrificació es dona a un ritme baix (Teruel, 2023).

L'alimentació s'efectua de forma contínua. El substrat reté els sòlids en suspensió, alhora que facilita una gran superfície de fixació per als bacteris que descomponen la matèria orgànica; i per la seva part, les plantes aquàtiques absorbeixen els nutrients (nitrogen i fòsfor) i aporten oxigen a través de les seves arrels, la qual cosa afavoreix a la descomposició bacteriana.

Aquests tipus d'aiguamoll també es poden subdividir en dues categories: amb alta càrrega i baixa càrrega, depenent de si l'aigua prové d'un tractament primari o d'un secundari.

L'aiguamoll d'alta càrrega, necessitarà un pretractament i un tractament primari aigües a dalt (fossa sèptica, tanc Imhoff o de similars), per altra banda, l'aiguamoll de baixa càrrega, necessitarà un pretractament, i un tractament primari i un de secundari aigües a dalt (fossa sèptica amb filtre percolador o de similars) (GOIB, 2019).

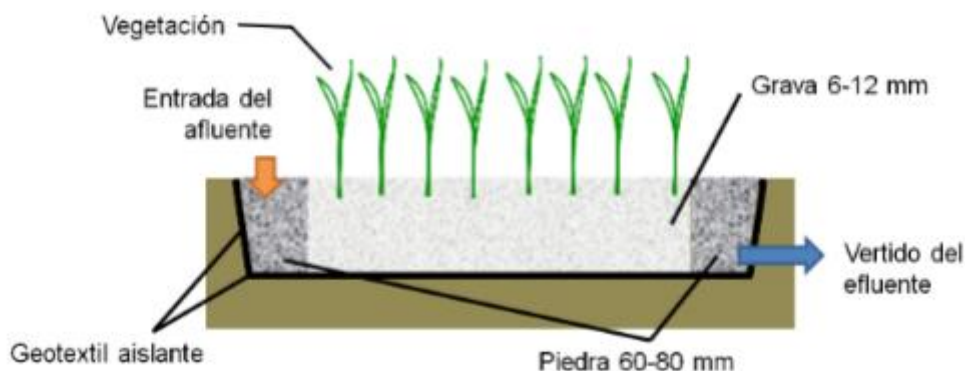


Figura 3: Aiguamoll construït de flux subsuperficial horitzontal. Font: WETWINE software.

### 1.4.1.3. Sistemes híbrids

Els sistemes híbrids consisteixen en una combinació dels sistemes FSH i FSV, amb el fi de combinar les fortaleses i debilitats de cada sistema, per així aconseguir reduir les concentracions de matèria orgànica i eliminar de forma efectiva el nitrogen total. L'ordre del sistema pot variar segons l'objectiu que es vol assolir amb l'efluent (Vymazal, 2009).

### 1.4.2. Aiguamolls de fangs

Els aiguamolls de fangs són un tipus d'aiguamoll vertical, on la seva funció és tractar els fangs provinents del digestor hidrolític HUSB o del reactor anaerobi de flux ascendent UASB. A mesura que es va acumulant el fang i la capa va creixent, els rizomes de les plantes es van desenvolupant i penetrant en la capa de fang, incrementant la deshidratació mitjançant un procés d'evapotranspiració. Un cop s'arriba a la màxima capacitat d'emmagatzematge de fang en l'aiguamoll, i després dels processos físics (assecat) i biològics (mineralització), que permeten la seva estabilització, s'obté un biosòlid final amb un contingut de matèria seca superior al 25% adequat per a una reutilització directa com a adob (WETWINE Software, 22/12/22).

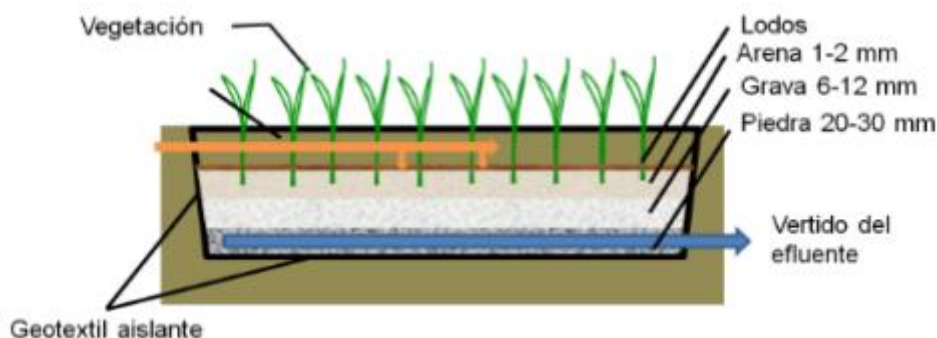


Figura 4: Aiguamoll de fangs. Font: WETWINE software.

### 1.4.3. Estanys anaeròbics

Els estanys anaeròbics s'utilitzen per al tractament inicial d'aigües residuals i, per tant, estan dissenyats per rebre una quantitat orgànica de molt alta càrrega, que vol dir que estan pràcticament lliures d'oxigen dissolt i algues. La seva funció principal és eliminar els sòlids i reduir la matèria orgànica en suspensió mitjançant sedimentació i posteriorment una digestió anaeròbica. Tenen superfícies relativament petites i una profunditat típica d'entre 2 i 5 m, amb un temps de retenció hidràulic curt, d'1 i 6 dies (Torrens, 2016). Solen ser el tipus d'aiguamolls construïts més emprats en el tractament d'aigües residuals en la indústria vitivinícola.

## 1.5. Justificació de la seva importància

Tal com s'ha vist, avui en dia existeixen diversos tipus de tractaments naturals d'aigües residuals. Després d'haver revisat els tractaments més importants, es podria afirmar que hi ha una manca en investigació cap al tractament natural d'aigües residuals. Cada vegada aquest tipus de sistema de depuració està aconseguint més protagonisme dins del món de les petites indústries perquè són un dels sistemes més adequats per tractar l'aigua de petites comunitats o poblacions aïllades que requereixen un tractament descentralitzat, però encara hi ha poc coneixement en la utilització d'aquestes tecnologies per tractar aigües residuals de cellers i formatgeries.

## 2. OBJECTIUS

The main objective of this study is to carry out an evaluation and, if necessary, improve the operation of the wastewater treatment plant at La Vinyeta winery and cheesemaking facility. To achieve this, the following sub-objectives are needed:

- The quantity and quality of the generated wastewater will be studied.
- The operation of each stage of the treatment plant will be monitored.
- Possible strategies to improve the operation of the plant will be evaluated.



## 3. METODOLOGIA

### 3.1.Celler La Vinyeta

Aquest estudi ha estat realitzat en les instal·lacions del Celler La Vinyeta. Aquest celler neix el 2002 situat a ple centre de l'Alt Empordà, al terme de Mollet de Peralada, que es dedica a l'explotació de vins i olis. Fundada per Josep Serra i Marta Pedra, que en el moment d'iniciar el projecte de La Vinyeta, compaginaven els seus estudis d'enginyeria agrònoma amb el treball en el camp.

L'any 2006 consoliden el seu projecte amb la construcció de la bodega i l'elaboració dels seus primers vins. L'equip de La Vinyeta tenen un esperit innovador i els hi agrada compartir amb els altres tant els seus coneixements com el paratge natural que els envolta o els espais que disposen. Realitzen un gran nombre d'activitats, obertes a tots els públics, que són autèntiques experiències, com són les visites guiades, cates de vins, visites nocturnes, esmorzars de pagès a la vinya, activitats en família, tallers de ioga entre vinyes o la possibilitat de participar en la verema.

Els primers productes que oferia el celler van ser els seus vins, i tot després, també van començar a produir mel, oli, formatge i embotits. Els primers vins del celler La Vinyeta van ser els joves Heus, sortint per primera vegada al mercat el 2007. Més tard, neix el Llavors i per últim el Puntipart, essent un símbol de començ, desenvolupament i desenllaç.

En aquests pocs anys, els vins de La Vinyeta han obtingut diversos reconeixements i els seus propietaris s'han guanyat l'estima de nombrosos visitants, que acudeixen atrets pel seu entorn i tracte molt personal.

### 3.2.Descripció de la planta de tractament

La planta de tractament està formada, en primer lloc, per una arqueta receptora, on es separen els greixos i algunes partícules contingudes en l'aigua. Des d'aquí es bomba l'aigua fins a un filtre de desbast, on es filtra l'aigua per tal d'evitar l'entrada de grans partícules de sòlids i així evitar problemes d'obstrucció, avaries i protegir els equips posteriors. Llavors l'aigua va a parar a un digestor hidrolític (HUSB) de 4 metres d'altura, on es degraden els compostos difícilment biodegradables en altres més senzills i on es reté part de la matèria en suspensió que porta l'aigua residual. Després del digestor 2/3 parts de l'aigua no es tracten i s'aboquen a medi. I la 1/3 part va a l'aiguamoll de flux horitzontal (FSH) de 80 m<sup>2</sup> d'extensió i 1,15 m de fondària. I pel que fa als fangs que es produeixen al digestor es porten a l'aiguamoll de fangs, amb una extensió de 20 m<sup>2</sup>, per poder ser reutilitzats en un futur.

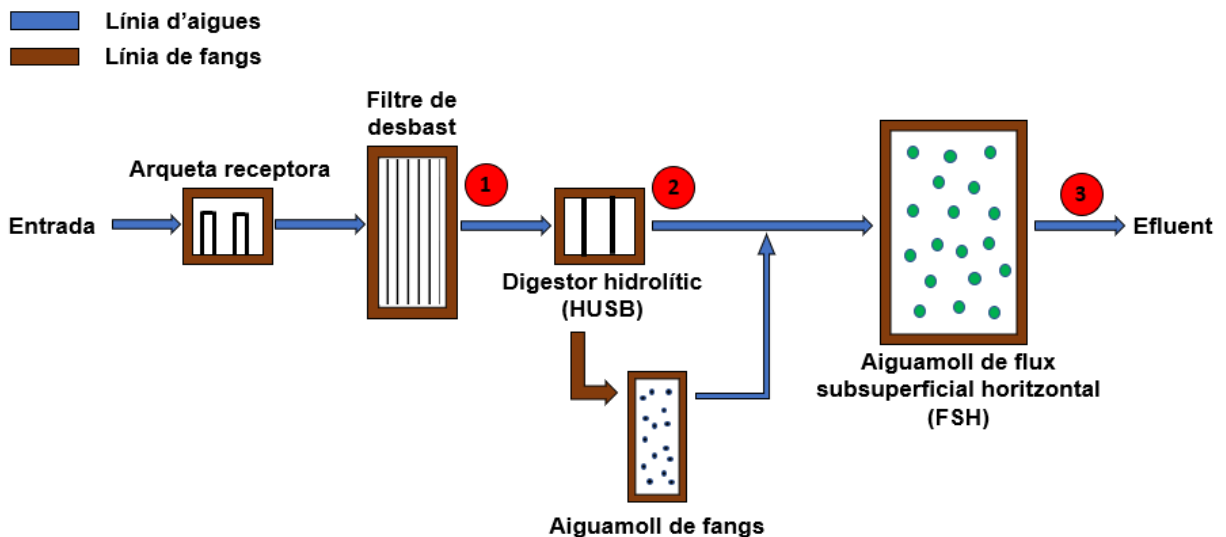


Figura 5: Esquema de la planta depuradora del celler La Vinyeta. Els punts 1,2 i 3 indiquen els punts de mostreig. Font: Elaboració pròpia.

### 3.3.Procediment experimental usat per l'anàlisi de les aigües residuals

#### 3.3.1.Mostreig, conservació i transport

Per tal de dur a terme aquestes anàlisis, s'han establert 3 punts de mostreig, els quals han estat escollits seguint el criteri d'ubicar-los en zones de fàcil extracció i de poder recollir mostres diferents. Tal com es pot observar en la Figura 5, cadascun dels punts vermells és on es va recollir mostra. El primer just a l'entrada de la depuradora, el segon a la sortida del digestor hidrolític i el tercer a la sortida de l'aiguamoll de flux horitzontal (FSH).

Per la conservació de les mostres recollides a la depuradora, es van utilitzar recipients de plàstic d'uns 500 ml. Tots els anàlisis es feien al laboratori del celler, excepte la DBO i els SST que es van haver de portar a analitzar les mostres a l'ICRA (Institut Català de Recerca de l'Aigua). Per tant, de les mostres extretes a La Vinyeta, una part es transportava posteriorment en pots de plàstic i en una nevera a baixa temperatura per no alterar la mostra fins a l'ICRA.

També es va dur a terme un seguiment dels comptadors de l'aigua del Celler La Vinyeta, per tal d'obtenir dades de cabals i detectar possibles pèrdues d'aigua. El que es va fer va ser cada dia que es van agafar mostres d'aigua es va apuntar el registre dels comptadors de l'entrada d'aigua al celler, de la sortida d'aigua pel sistema d'osmosis, dels allotjaments i del galliner. Amb aquestes dades podem obtenir valors del cabal en m<sup>3</sup>/dia i posteriorment calcular la càrrega orgànica i el temps de residència hidràulic mitjançant la següent fórmula:

$$\text{Càrrega Orgànica} = \frac{Q \times \text{Conc. DQO}}{m^2 \text{àrea d'AC}} \quad (\text{eq.1})$$

$$\text{TRH} = \text{Volum del FSH} \div Q \text{ mitjà de tractament} \quad (\text{eq.2})$$

Es van recollir mostres dels comptadors des del dia 01/03 fins al 23/05 un cop per setmana. I les mostres d'aigua dels diferents punts de la depuradora es van agafar per primer cop el dia 01/03, també un cop per setmana, exceptuant alguns dies en què es van detectar alguns errors, fins al 23/05. Durant els primers dies de maig es va detectar una fuga a la malla de recobriment de l'aiguamoll i es van aturar els mostreigs durant unes setmanes mentre es realitzaven les reparacions.

### 3.3.2. Anàlisis realitzats

Es van realitzar els mateixos anàlisis per als tres punts de mostreig. Tots els paràmetres es van analitzar amb el fotòmetre multiparamètric de sobretaula de Hannah (referència HI83314-02) el mateix dia del mostreig, excepte de la DBO i els SST, que van ser analitzats posteriorment al ICRA. Els mètodes utilitzats per analitzar els diferents paràmetres són els següents:

- **DQO (Demanda química d'oxigen):** Determinació de la quantitat d'oxigen necessari per oxidar la matèria orgànica de la mostra. Els resultats es donen en mg/L ( $O_2$ ). Les mesures es duen a terme amb kits de test preparats per a la determinació de la DQO, la referència del mètode a seguir és HI93754C-25.
- **Nitrogen total:** Mostra la concentració de Nitrogen orgànic, amoniacal, nitrats i nitrats que té la mostra. Els resultats es donen en mg N/L. La referència del mètode seguit és HI93767B-50.
- **Nitrat:** Per mesura la quantitat de nitrat en les mostres d'aigua es va fer servir el mètode HI93728-0, on es descriuen tots els passos a seguir per obtenir els resultats en mg/L de  $NO_3^-$ .
- **Nitrit:** Es va seguir el mètode HII93708-0. Els resultats es donen en mg/L de  $NO_2^-$ .
- **Amoni:** Mitjançant el mètode HI93764B-25 es van calcular els mg/L de  $NH_4^+$ .
- **Fòsfor total:** Mostra tot el fòsfor present en una mostra, que correspon a ortofosfats i a fosfats units a matèria orgànica. Els resultats es donen en mg/L de P i la referència del mètode utilitzat és HI93763B-50.
- **Fosfats:** Per tal d'analitzar la concentració de fosfats ( $PO_4^{3-}$ ) en les mostres es va seguir el mètode HI93717-01 dels reactius de Hannah.
- **pH:** Per analitzar el pH de les mostres es va utilitzar un pH-metre del laboratori de La Vinyeta.

I els paràmetres analitzats a l'ICRA són els següents:

- **DBO (Demanda biològica d'oxigen):** Per tal de determinar la quantitat d'oxigen necessària per degradar la matèria susceptible de ser oxidada per mitjans biològics de la mostra, s'ha utilitzat el mètode Greenberg (Arnold, 2005).
- **SST (Sòlids en suspensió totals):** I per determinar la quantitat de sòlids en suspensió totals s'ha utilitzat el mateix mètode de filtració per fibra de vidre. UNE-EN 872:2006 Calidad del agua.

## 4. RESULTATS I DISCUSSIÓ

### 4.1. Quantitat i qualitat de l'aigua residual generada

Tal com s'ha esmentat anteriorment, es va dur a terme un seguiment dels comptadors de l'aigua de diferents zones del celler. En la Taula 1, es mostren els valors obtinguts de la mitjana de tots els valors de cabal recollits durant cada dia de mostreig.

	Entrada	Sortida de l'osmosi	Galliner	Allotjaments
Mitjana del cabal (m <sup>3</sup> /dia)	8,19	4,73	0,92	0,74

Taula 1: Mitjana dels valors de cabal dels diferents punts analitzats. Font: Elaboració pròpia.

Amb aquests valors mitjans de cabal podem conèixer quin és el cabal que arriba a la depuradora de manera aproximada, perquè aquestes mesures dels comptadors eren de l'entrada d'aigua al cadascun dels llocs corresponents i, per tant, a cada sortida pot haver-hi alguna petita variació, però en tot cas, no era possible aconseguir la informació de sortida de tots els punts perquè no tenien comptador a la sortida.

Per tal de calcular el cabal que arriba a la depuradora es va fer de la següent manera: Cabal entrada depuradora = Sortida de l'osmosi – Galliner – Allotjaments. Per tant, el cabal que arriba a l'entrada de la depuradora del celler és de 3,07 m<sup>3</sup>/dia.

Amb aquest valor de cabal, juntament amb les dimensions del FSH, es calcula el temps de residència hidràulic (TRH) mitjançant la fórmula de l'(eq.2):

$$TRH = 120m^3 \div 3,07 \frac{m^3}{dia} = 39,08 \text{ dies}$$

Per tant, el temps que tarda una unitat de fluid des de que entra als FSH i en surt, és de 39,08 dies.

### 4.2. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en l'estudi

- **DQO (Demanda química d'oxigen):**

En la Figura 6 es mostra com han variat els percentatges d'eliminació de DQO al llarg dels mesos. Podem veure que en tots els casos la reducció de la DQO al FSH és considerable respecte a la de l'entrada al sistema. Per tant, la concentració de DQO a l'entrada es redueix gairebé un 25% a la sortida. Tot i això, els aiguamolls de flux horitzontal solen tenir una eficiència de tractament del 60-80%.

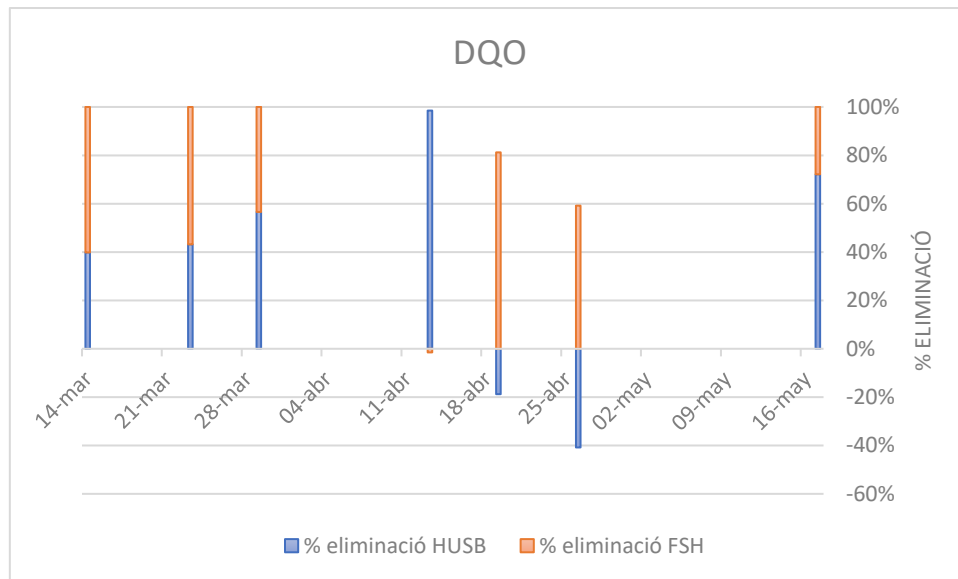


Figura 6: Gràfic del % de reducció en el HUSB i FSH de la DQO. Font: Elaboració pròpia.

Els valors de mitjana de l'entrada de DQO és de 1347,6 mg/L d'O<sub>2</sub> i els de sortida 744,8 mg/L d'O<sub>2</sub>, com es pot veure en la Taula 2. Per tant, l'eficiència de l'aiguamoll de La Vinyeta encara és prou baixa, es podria millorar encara més per aconseguir un màxim rendiment. (Cross, 2021)

	Entrada	SD	Entremig	SD	Sortida	SD
Concentració mitjana DQO (mg/L d'O <sub>2</sub> )	1347,6	626,4	1138	637,5	744,8	337,8

Taula 2: Valors de concentració mitjana de l'entrada, l'entremig i la sortida de DQO (mg/L d'O<sub>2</sub>). Font: Elaboració pròpia.

Mitjançant l'(eq.1) s'ha calculat la càrrega orgànica:

$$\text{Càrrega Orgànica} = \frac{3,07 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 1347,6 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{80 \text{ m}^2} = 51,7 \frac{\text{g}}{\text{dia} \times \text{m}^2}$$

Un paràmetre que ens pot donar informació sobre el que pot estar passant en l'aiguamoll és la càrrega orgànica. En la Taula 3, podem observar els valors de càrrega orgànica aconseguits a La Vinyeta i els valors recomanats segons un estudi realitzat l'any 2016. (Torrens, 2016)

	La Vinyeta	Recomanat
Càrrega orgànica	51,7 g/m <sup>2</sup> ·dia	18-30 g/m <sup>2</sup> ·dia

Taula 3: Valors de concentració de càrrega orgànica (g/m<sup>2</sup>·dia) obtinguts a La Vinyeta i valors recomanats. Font: Elaboració pròpia.

Per tant, al comparar els valors obtinguts amb els recomanats, es pot veure que hi ha un problema de sobrecàrrega. Aquest pot ser un motiu pel qual l'eficiència de l'aiguamoll no és l'adequada.

- **DBO (Demanda biològica d'oxigen):**

En la Figura 7 podem veure com també hi ha una reducció important de DBO a la sortida de la depuradora. Les concentracions en els tres punts de mostreig es mantenen molt constants al llarg dels dies.

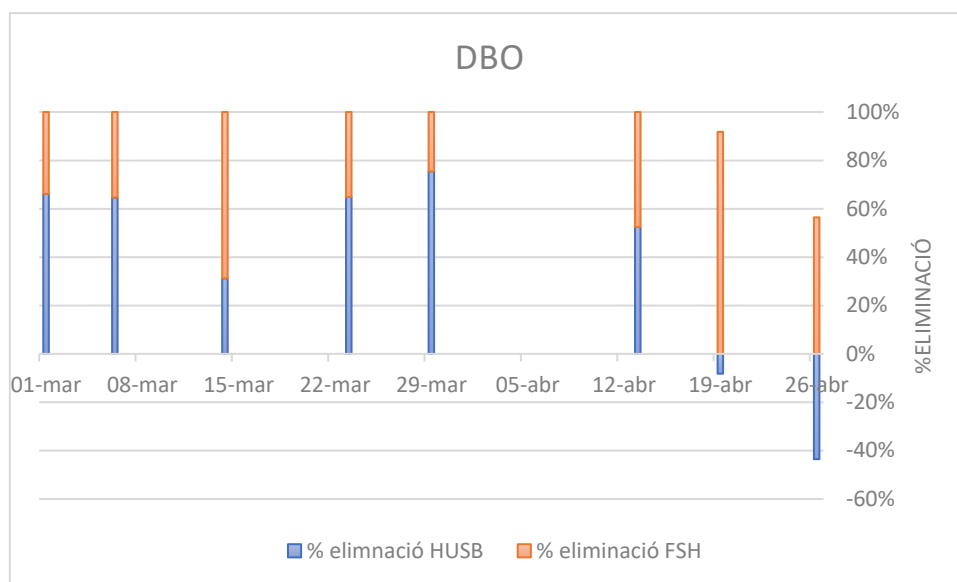


Figura 7: Gràfic del % de reducció en el HUSB i FSH de la DBO. Font: Elaboració pròpia.

La mitjana de concentracions de DBO a l'entrada és de 1158,2 mg/L d'O<sub>2</sub>, i a la sortida és de 807,14 mg/L d'O<sub>2</sub>, tal com es veu en la Taula 4. Segons altres estudis, l'eficiència de tractament dels aiguamolls de flux horitzontal sol ser del 65% (Cross, 2021). I en aquest cas té una eficiència del 41%, és a dir, està lluny d'aconseguir el rendiment màxim.

	Entrada	SD	Entremig	SD	Sortida	SD
Concentració mitjana DBO (mg/L d'O <sub>2</sub> )	1158,2	480,5	980,7	391,6	807,1	230,3

Taula 4: Valors de concentració mitjana de l'entrada, l'entremig i la sortida de DBO (mg/L d'O<sub>2</sub>). Font: Elaboració pròpia.

- **SST (Sòlids en suspensió totals):**

En la Figura 8 es mostra el percentatge de reducció corresponent a l'HUSB i al FSH. Podem veure com en tots els dies, excepte l'últim, hi ha un percentatge de reducció negatiu, la qual cosa ens indica que en comptes de reduir-se els SST, van augmentant. I en el dia 17, un cop es va solucionar el problema de fuites de la malla de l'aiguamoll ja s'observen valors amb un percentatge de reducció de sòlids molt correcte. En aquest cas es veu clarament que l'eficiència de l'aiguamoll ha estat pràcticament nul·la, però un cop solucionat el problema s'ha vist que ha millorat.

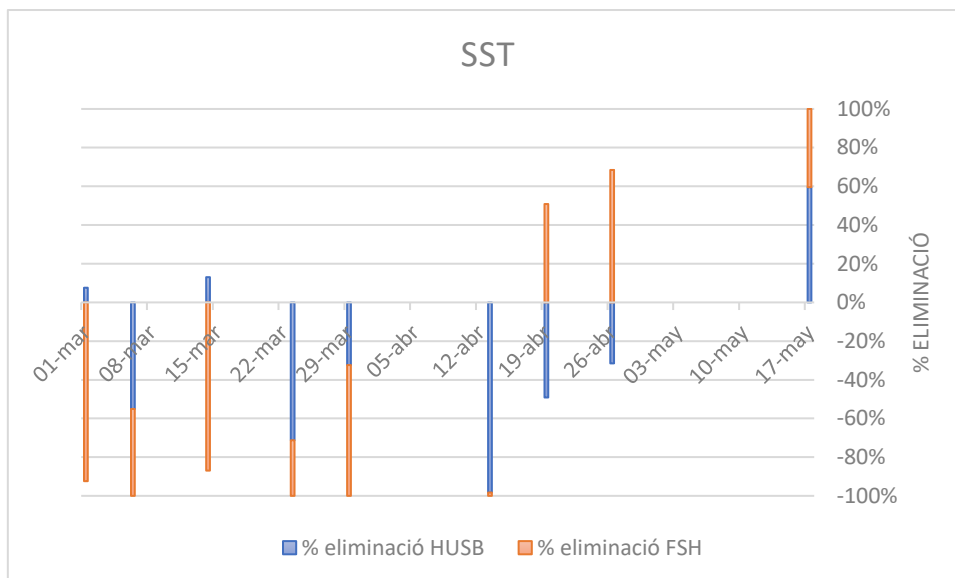


Figura 8: Gràfic del % de reducció en el HUSB i FSH dels SST. Font: Elaboració pròpia.

Pel que fa als valors de les mitjanes de concentracions de SST (mg/L), es veu clarament com no hi ha una disminució al llarg de l'entrada al sistema. Per tant, podem afirmar que hi ha algun problema amb els sòlids en suspensió, tot i que com es veu anteriorment, un cop solucionat el problema la depuració millora.

	Entrada	SD	Entremig	SD	Sortida	SD
Concentració mitjana SST (mg/L)	86,5	44,3	114,2	79,1	141,0	97,7

Taula 5: Valors de concentració mitjana de l'entrada, l'entremig i la sortida de SST (mg/L). Font: Elaboració pròpia.

- **Nitrogen total:**

En el gràfic de la Figura 9, es pot observar com en gairebé la majoria dels dies hi ha un percentatge d'eliminació negatiu a l'HUSB i en el FSH, la qual cosa indica que no s'està disminuint la concentració de nitrogen, al contrari, està augmentant. Aquest problema no queda del tot resolt, ja que amb el pas del dies, s'observa que a partir del 15 de maig sí que hi ha una reducció del nitrogen, però és pràcticament nul·la.

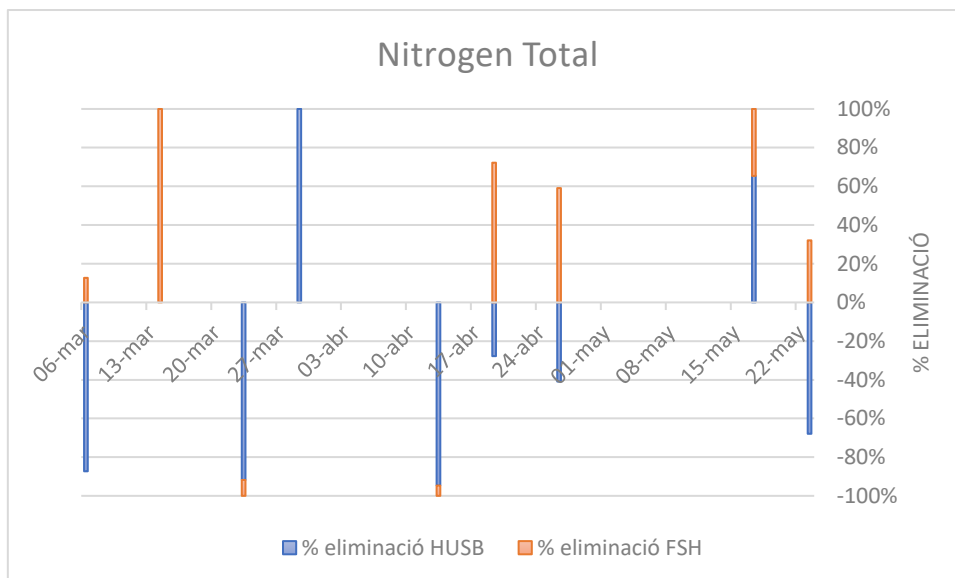


Figura 9: Gràfic del % de reducció en el HUSB i FSH del nitrogen total. Font: Elaboració pròpia.

I pel que fa les concentracions mitjanes de nitrogen total, en la Taula 6 podem veure com a la sortida hi ha una concentració més gran que a l'entrada i a l'entremig.

	Entrada	SD	Entremig	SD	Sortida	SD
Concentració mitjana N (mg/L)	36	14,9	45,1	16,1	51,5	14

Taula 6: Valors de concentració mitjana de l'entrada, l'entremig i la sortida de nitrogen total (mg/L N). Font: Elaboració pròpia.

- **Nitrats:**

Respecte als percentatges d'eliminació de nitrats en el HUSB i el FSH que podem observar en la Figura 10, s'observa que hi ha un gran percentatge d'eliminació per part del HUSB. Aquest fet pot estar relacionat a una gran eficiència de reducció del nitrat.

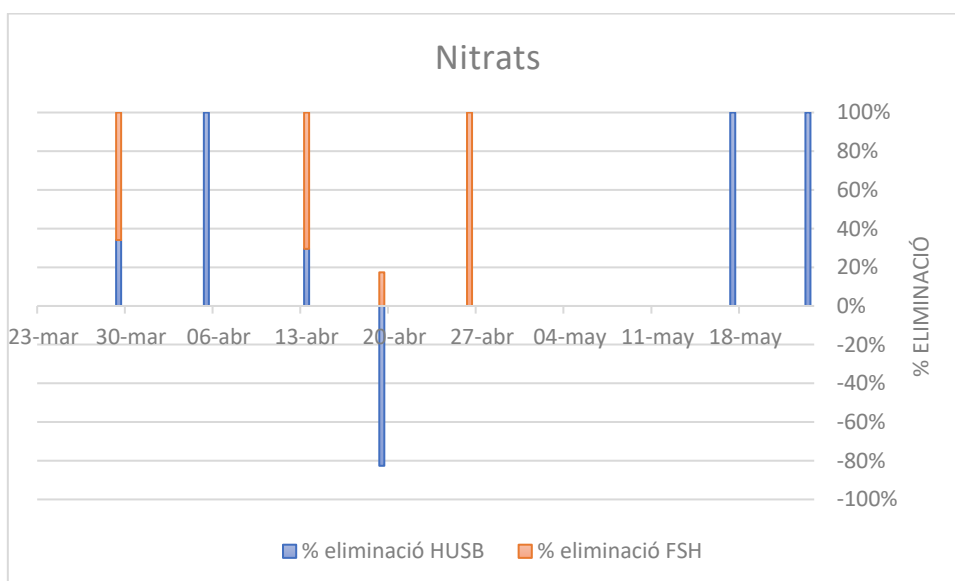




Figura 10: Gràfic del % de reducció en el HUSB i FSH del nitrogen total. Font: Elaboració pròpia.

I pel que fa a les concentracions mitjanes de nitrat en els diferents punts de mostreig, hi ha una disminució bastant important pel que fa la mitjana de l'entrada 19 mg/L d'NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, i la de sortida 6,28 mg/L d'NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

	Entrada	SD	Entremig	SD	Sortida	SD
Concentració mitjana dels nitrats (mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	19	16,39	22,5	28,95	2,96	6,28

Taula 7: Valors de concentració mitjana de l'entrada, l'entremig i la sortida de nitrats (mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Font: Elaboració pròpia.

- **Nitrit:**

Al llarg d'aquest estudi no s'han observat presència de nitrits en cap dels tres punts de mostreig. Per tant, amb el resultat d'aquestes anàlisis es veu que no hi ha presència de nitrats a les aigües de La Vinyeta que arriben a la depuradora.

- **Amoni:**

En la Figura 11 podem observar com hi ha una clara diferència entre els dos sistemes d'eliminació mesurats. En el cas del percentatge de l'HUSB és clarament negatiu, per tant, no afavoreix a la reducció d'amoni. En canvi, en el FSH sí que s'observen bons percentatges d'eliminació d'amoni. La qual cosa ens indica que en l'FSH sí que afavoreix a la reducció d'amoni.

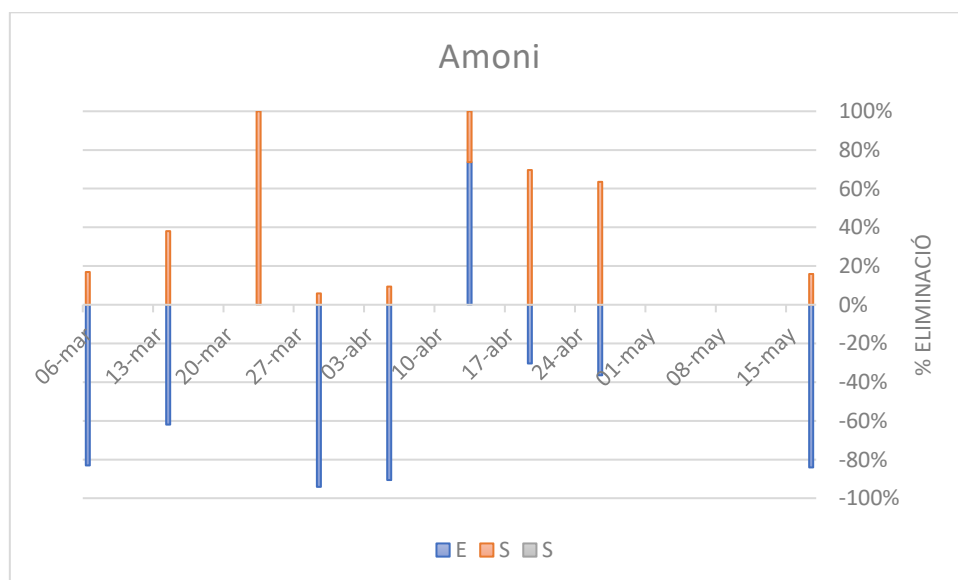


Figura 11: Gràfic del % de reducció en el HUSB i FSH de l'amoni. Font: Elaboració pròpia.

I respecte a les mitjanes de la concentració d'amoni en els 3 punts de mostreig, es confirma el que s'ha comentat al gràfic superior, que la concentració mitjana a l'entremig és més gran que la de l'entrada i que, la de sortida és més petita. Per tant, l'HUSB no afavoreix a la reducció d'amoni.

	Entrada	SD	Entremig	SD	Sortida	SD
Concentració mitjana d'amoni (mg/L NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	47,3	36,2	68,4	29,2	65,3	15,7

Taula 8: Valors de concentració mitjana de l'entrada, l'entremig i la sortida d'amoni (mg/L NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).  
Font: Elaboració pròpia.

- **Fòsfor total:**

En la Figura 12, s'observa com en els primers dies hi ha un percentatge d'eliminació de l'HUSB negatiu i el de l'FSH sí que en algun cas és bastant alt. A partir del 14 de maig sí que podem veure una bona eliminació tant en l'HUSB i al FSH, degut a que ja s'ha solucionat el problema de l'aiguamoll.

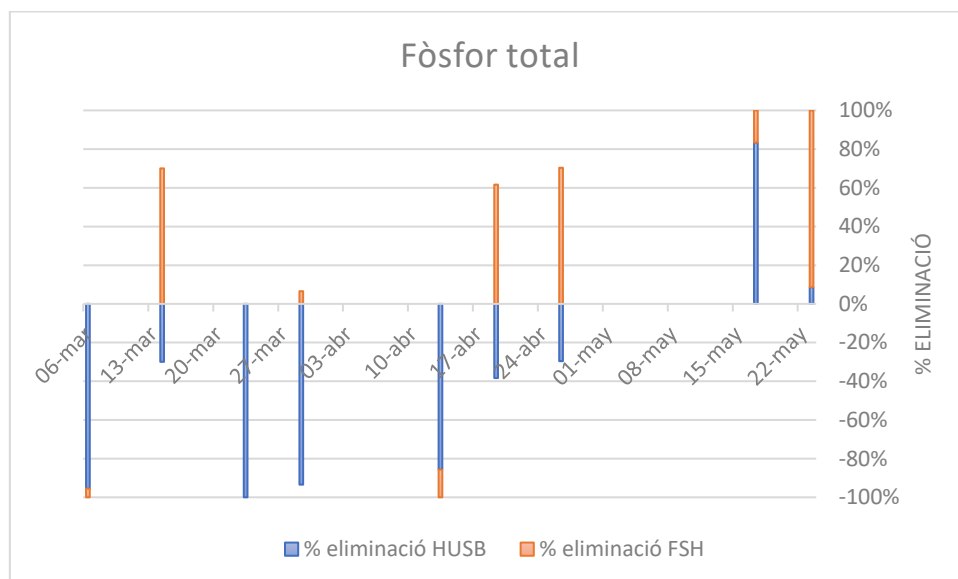


Figura 12: Gràfic de les concentracions de fòsfor total (mg/L P). Font: Elaboració pròpia.

I pel que fa a les concentracions mitjanes de fòsfor total en els 3 punts mostrejats, podem afirmar que, vist des d'un punt de vista general de les mitjanes de tots els dies, hi ha un problema amb l'eliminació del fòsfor. Però si es mira des del punt de vista del dia a dia, podem veure com un cop solucionat el problema de la fuga, sí que hi ha un bon percentatge d'eliminació.

	Entrada	SD	Entremig	SD	Sortida	SD
Concentració mitjana de Fòsfor total (mg/L P)	13,3	4,5	14,8	4,4	15,6	3,1

Taula 9: Valors de concentració mitjana de l'entrada, l'entremig i la sortida de fòsfor total (mg/L P). Font: Elaboració pròpia.

- **Fosfats:**

En el cas dels fosfats, en la Figura 13 podem veure com en els primers dies no s'observa cap tipus d'eliminació de fosfats, això és així perquè la concentració a l'entrada i a la sortida d'aquests dies era la mateixa. I cal destacar que a l'últim dia mostrejat, com ja estava solucionat el problema de la fuga de l'aiguamoll, s'hi observa que hi ha una molt bona reducció en el FSH.

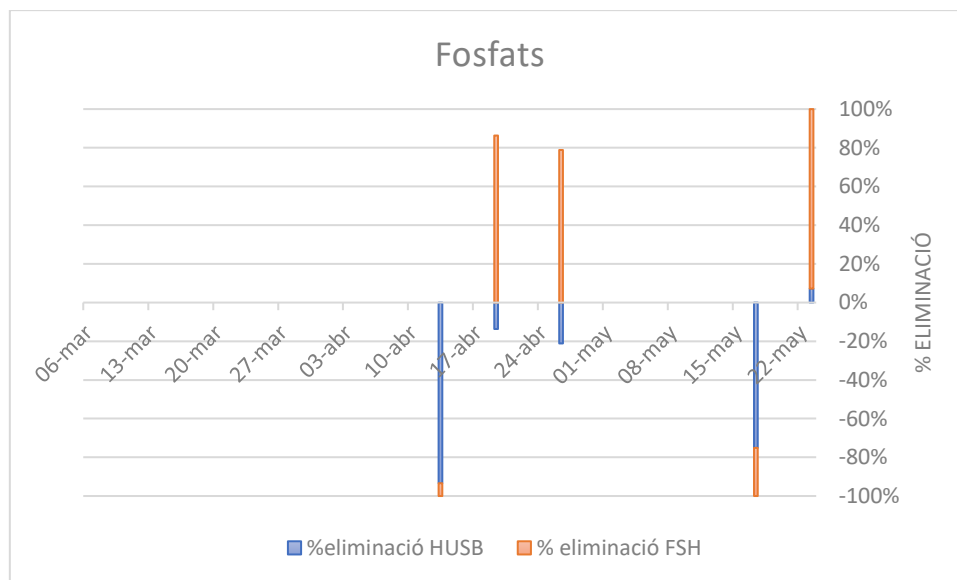


Figura 13: Gràfic de les concentracions de fosfats (mg/L  $PO_4^{3-}$ ). Font: Elaboració pròpia.

I pel que fa els valors de les mitjanes de concentració en els 3 punts mostrejats, veiem que no hi ha gaire diferència entre ells, la qual cosa explica el fet que no hi hagi un bon percentatge d'eliminació dels fosfats.

	Entrada	SD	Entremig	SD	Sortida	SD
Concentració mitjana de Fosfats (mg/L $PO_4^{3-}$ )	24,8	7,5	25,8	6,7	25,5	6,3

Taula 10: Valors de concentració mitjana de l'entrada, l'entremig i la sortida de fosfats (mg/L  $PO_4^{3-}$ ). Font: Elaboració pròpia.

- **pH:**

Respecte al pH, en la Figura 14, podem observar el gràfic amb els valors de cada punt de mostreig al llarg dels dies. Es pot veure com en gairebé cada dia hi ha valors de pH més àcids (entre 5,25 i 6,5) a l'entrada, i a la sortida són valors molt neutres (entre 6,5 i 7,5). Això ens indica que hi ha una correcció de pH de l'entrada respecte a la sortida. Però al llarg dels dies es veu que hi ha una tendència de disminució de pH, on per exemple al maig els valors estan entre 5 i 5,75. Això pot venir atès que els últims mesos hagi canviat la qualitat de l'aigua que entra a la depuradora, ja sigui per canvis climatològics o dels usos dins del celler, i doni aquests valors més baixos.

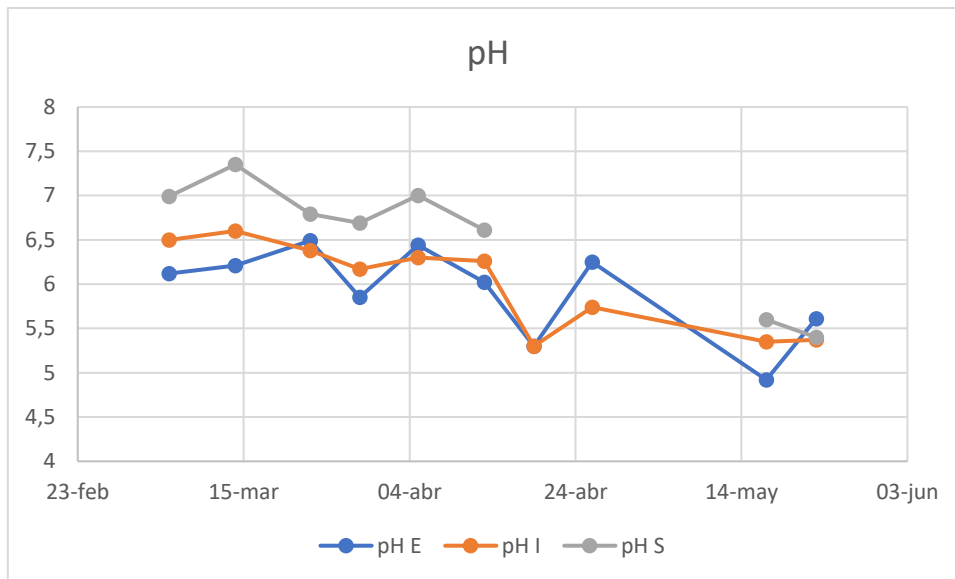


Figura 14: Gràfic dels valors de pH. Font: Elaboració pròpia.

#### 4.3. Propostes de millora de la gestió de les aigües residuals

Com s'ha observat en la Taula 3, hem vist que hi ha un **problema de sobrecàrrega orgànica** de l'aiguamoll de flux horitzontal. Normalment en els aiguamolls construïts de flux horitzontal es recomana treballar amb aigua de baixa càrrega orgànica, però en el cas de la indústria vitivinícola és molt difícil trobar concentracions de DQO baixes.

En els FSH, la matèria orgànica es transforma mitjançant mecanismes biològics que tenen lloc principalment en condicions anaeròbiques (EPA (1999) i Crites i Tchobanoglous (2000)). La matèria orgànica també es degrada per l'acció de bacteris facultatius que s'adhereixen a les parts enterrades de les plantes (arrels i rizomes) i a la superfície de la grava (Kadlec, 2000). L'oxigen necessari per a aquesta descomposició s'obté directament de l'atmosfera per difusió o a través de les arrels dels macròfits. En general s'acorda que el transport que el transport d'oxigen a través de les arrels és insuficient per garantir la descomposició facultativa en tota la matriu. A part de processos biològics, part de la matèria orgànica en partícules es pot eliminar pels mateixos mecanismes que els sòlids en suspensió. (EPA, 1999).

Per tant, es proposen un seguit de possibles solucions, tant estratègies de millores del disseny del FSH com d'operació, que podrien ajudar a aconseguir una càrrega orgànica més baixa i així millorar l'eliminació de la matèria orgànica:

- Acció 1 (Recirculació): Per tal de reduir la càrrega orgànica aplicada a un aiguamoll de flux horitzontal, Crites i Tchobanoglous (2000) proposen una alimentació escalonada de les aigües d'entrada, combinant aquests fluxos amb aigües residuals prèviament tractades mitjançant recirculació. Crites i Tchobanoglous afirmen que la capacitat de recircular parcialment o totalment en direcció contrària cap a l'entrada dels FSH és una acció que facilita la reducció de les concentracions de matèria orgànica i materials sòlids en suspensió, proporcionant més oxigen al punt d'entrada i millorant el rendiment general d'aquests sistemes.

- Acció 2 (Tractament previ): Blazejewski i Murat-Blasjewska (2003) proposen realitzar tractaments preliminars perquè l'influent que arriba al FSH no tingui una càrrega tant elevada de material orgànic o sòlids en suspensió. I també es suggereix la instal·lació d'un tractament físic i químic com a tractament primari. Vymazal (2002) recomana mantenir i controlar les accions de manteniment, per assegurar que funcioni correctament aquest control primari. Diu que cal verificar que els protocols d'operació i manteniment s'acompleixin. Si no s'acompleixen, s'han de dur a terme, i si s'acompleixen, es considerarà l'opció de modificar o ampliar els tractaments.

Una acció per aplicar en la depuradora de La Vinyeta seria, canviar el disseny dels tractaments anteriors als FSH, per altres que siguin més aerobis, per tal d'afavorir el procés de nitrificació. Es podrien instal·lar tubs d'aeració des de la superfície que entrin dins del FSH per aportar O<sub>2</sub> al sistema.

També, en el cas del nitrogen, s'ha vist en la Figura 9, **que no hi ha gairebé eliminació del nitrogen** contingut en les aigües residuals. Per tant, quan l'eliminació del nitrogen mitjançant els processos de nitrificació i desnitrificació és deficient en els FSH a causa que la nitrificació requereix zones aeròbiques que porques vegades es troben en aquest tipus de sistemes, com és el cas del de La Vinyeta (Vymazal, 1999). Tot i que el nitrogen també es pot absorbir a través dels processos d'absorció de les plantes, això no és significatiu en comparació amb les càrregues aplicades en el tractament d'aigües residuals municipals EPA (1999).

També, pel nitrogen molts cops el problema ve donat a que el temps de residència hidràulic és massa curt i l'aigua no té temps a nitrificar, o massa càrrega orgànica, llavors es consumeix oxigen i no hi ha prou per nitrificar. En el cas de La Vinyeta el TRH és de 39,8 dies i el valor recomanat és 2,6 dies. Per tant, el problema no ve donat per tenir un temps de residència hidràulic massa curt (Torrens, 2016).

I un altre aspecte que es pot millorar per garantir **una millor cobertura vegetal en el FSH**, és el pH. Tal com s'ha vist en la Figura 14, hi ha nivells de pH molt baixos que poden causar la mort d'algunes de les plantes de l'aiguamoll. El tipus de substrat que hi ha en FSH de La Vinyeta és granit, però es podria substituir per algun altre substrat com podria ser la calcita que actua com a neutralitzant de l'acidesa quan el pH de l'aigua és baix (Schierano, 2018).

Una altra possible actuació de millora, podria ser, mantenir un **bon control de l'extracció de fangs** i així **optimitzar el funcionament del digestor hidrolític** d'abans del FSH, ja que si els fangs no s'extreuen en períodes de temps molt llargs pot provocar un mal funcionament, juntament amb una baixa eficiència de tractament. Per tant, és molt important mantenir un control adequat de l'extracció de fangs del digestor.

## 5. CONCLUSIONS

As previously mentioned in the work, nowadays there is still a lack of knowledge in the use of these wastewater treatment technologies for wineries and cheese factories. Thanks to this study and La Vinyeta winery, which have been among the first to implement these types of wastewater purification technologies, the following conclusions have been drawn:

The constructed horizontal flow wetland has a higher hydraulic residence time than recommended, indicating that this parameter is fine and should not cause problems.

On the other hand, there is an organic overload issue in the wetland, indicating that the pre-treatments need to be improved, either through staggered water feeding to reduce organic load concentrations or by maintaining accurate control of the primary treatments prior to the FSH wetland.

Regarding nitrogen, problems have also been detected in its reduction throughout the plant since most treatments are anaerobic and do not favor nitrogen reduction. Therefore, it is proposed to change the design of the pre-treatments for more aerobic ones, such as replacing the digester with an aerobic one or installing aeration pipes in the wetland to supply oxygen to the system and thus promote nitrification or denitrification processes.

Another parameter that could be improved is pH. It has been observed that the pH of the system decreases over time, leading to the acidification of the environment, which may cause the death of wetland plants. Therefore, it is suggested to replace the granite medium with another one like calcite to neutralize these decreasing pH values.

In more general terms, it has been found that there are issues with some parameters, and the relevant corrective measures need to be applied in order to improve the performance of the wastewater treatment plant. A monitoring of each stage of the treatment plant has been successfully carried out.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- FAO. (2017). Water use in the wine industry. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-bp194e.pdf>. 13/05/2023.
- Otero, M., Soto, M., & García, A. I. (2013). Treatment of winery wastewater from white wine fermentation by an aerobic sequencing batch reactor. *Water Science and Technology*, 67(2), 408-414.
- Intelligence, W. (2020). *Global trends in wine 2020*. Wine Intelligence, London.
- Teichert, S., Carrasco, F., & Platzer, W. (2017). INFORME CSET-2017-PU-005-WT *Estudio de tecnologías de tratamiento de agua residual y concentración en la industria*.
- Varga Calvo, D. D. L. (2014). Depuración de aguas residuales en digestores anaeróbios y humedales construidos.
- Conradie, A., Sigge, G. O., & Cloete, T. E. (2014). Influence of winemaking practices on the characteristics of winery wastewater and water usage of wineries. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 35(1), 10-19.
- Torrens Armengol, A. (2016). *Subsurface flow constructed wetlands for the treatment of wastewater from different sources. Design and operation*. Tesis doctoral Universitat de Barcelona.
- Brix, H. (1994). *Constructed wetlands for municipal wastewater treatment in Europe*. Global Wetlands; Old World and New. Elsevier, Amsterdam, 325-334.
- E. Uggetti, I. Ferrer, J. Molist, J. García. Technical, economic and environmental assessment of sludge treatment wetlands. *Water Res.*, 45 (2011), pp. 573-582.
- De la Varga, D., Soto, M., Arias, C. A., van Oirschot, D., Kilian, R., Pascual, A., & Álvarez, J. A. (2020). Constructed wetlands for industrial wastewater treatment and removal of nutrients. In *Waste Management: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 559-587). IGI global.
- Tecnología WETWINE. Wetwine Project. <https://wetwinesoftware.eu/sistema-wetwine/tecnologia-wetwine/>
- Govern de les Illes Balears (GOIB). Conselleria Medi Ambient, Agricultura i Pesca. Direcció general de recursos hídrics. Revisió anticipada del segon cicle 2015-2021. Annex 3. Normativa V2.
- Tomas Teruel Rosa. *Tecnologías ecológicas para el tratamiento de aguas residuales en la industria vitivinícola*. Universitat de Barcelona 26/01/2023.
- Vymazal, J. (2009). The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater. *Ecological engineering*, 35(1), 1-17.
- Cross, K., Tondera, K., Rizzo, A., Andrews, L., Pucher, B., Istenič, D., ... & McDonald, R. (2021). *Nature-Based Solutions for Wastewater Treatment*. IWA Publishing.
- Standard Methods for the Examination of water and wastewater, ed 21. Washington, DC.
- Schierano, M. C., Véliz, G., Gutierrez, G., & Vianco, G. (2018). *Selección de plantas acuáticas y sustratos para el tratamiento de efluentes de predios lecheros utilizando sistemas wetland*.

BŁAŻEJEWSKI, R., & MURAT-BŁAŻEJEWSKA, S. A. D. Z. I. D. E. (2003). Analytical solutions of a routing problem for storm water in a detention basin. *Hydrological sciences journal*, 48(4), 665-671.

Crites, R., Tchobanoglous, G., Camargo, M., Pardo, L., & Mejía, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. McGraw-Hill.

Kadlec, R., Knight, R., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P., & Haberl, R. (2000). *Constructed wetlands for pollution control: processes, performance, design and operation*. IWA publishing.