

Estudi de viabilitat de la implementació de tecnologies sostenibles: aiguamolls construïts a Catalunya

Autor: Àlex Vilchez Sabihi
Tutors: Lorena Aguilar Pérez
Juan Carlos Pérez Pulido

2n A Batxillerat

Resumen

El tema principal del trabajo es el estudio de la viabilidad de la implementación de humedales construidos en Cataluña. Se hace una explicación sobre qué son los humedales artificiales, como funcionan, los factores que influyen en su rendimiento y los factores sociales, económicos y ambientales para su implementación.

Se explican tres casos aplicativos de humedales construidos en Cataluña y se elaboran tres gráficas del rendimiento de la eliminación de contaminantes de esas tres centrales depuradoras de agua residuales que utilizan humedales construidos para hacer el análisis de sus rendimientos.

Summary

The main topic of the work is the study of the feasibility of the implementation of constructed wetlands in Catalonia. There is an explanation about what artificial wetlands are, how they work, the factors that influence their performance and the social, economic and environmental factors for their implementation.

Three application cases of constructed wetlands in Catalonia are explained and three graphs of the pollutant removal performance of these three wastewater treatment plants that use constructed wetlands are drawn up to analyze their performance.

Índex	Pàgina
1. Introducció	1
1.1. Objectius	2
1.2. Hipòtesi	2
1.3. Conceptes	2
1.3.1. Tecnologies sostenibles	2
1.3.2. Els aiguamolls construïts	3
1.3.2.1. Elements principals	3
1.3.2.2. Classificació	4
1.3.2.3. Avantatges i desavantatges	5
2. Metodologia	6
3.1. Marc teòric	6
3.1.1. Fundaments	6
3.1.2. Funcionament d'un aiguamoll	6
3.1.2.1. Aiguamolls construïts de flux superficial	6
3.1.2.2. Aiguamolls construïts de flux subsuperficial	7
3.1.1.2.1. Pretractament	8
3.1.1.2.2. Tractament primari	8
3.1.2.2.3. Aiguamolls construïts de flux subsuperficial horitzontal	8
3.1.2.2.4. Aiguamolls construïts de flux subsuperficial vertical	9
3.1.2.2.5. Tractament terciari	9
3.1.2.3. Aiguamolls construïts híbrids	9
3.1.2.4. Mecanismes de depuració per a diferents tipus d'aiguamolls construïts	10
3.1.2.4.1. Eliminació de sòlids en suspensió	10
3.1.2.4.2. Eliminació de matèria orgànica	11
3.1.2.4.3. Eliminació de nutrients	12
3.1.2.4.3. Eliminació de patògens	13
3.1.3. Factors que influeixen en el rendiment dels aiguamolls construïts	13
3.1.3.1. Selecció de la planta	13
3.1.3.2. Selecció del substrat	14
3.1.3.3. Tasa de càrrega hidràulica i temps de retenció hidràulic	14
3.1.3.4. Profunditat de l'aigua	15
3.1.3.5. El clima i el temps	15

3.1.4. Factors i condicions socials, ambientals i econòmics per l'implementació d'aiguamolls naturals	16
3.1.4.1. Condicions socials i econòmics	16
3.1.4.2. Condicions ambientals	16
3.2. Marc pràctic	17
3.2.1. Recerca d'aiguamolls construïts a Catalunya	17
3.2.1.1. Casos aplicatius d'aiguamolls construïts de Catalunya	17
3.2.1.1.1 Arnes	17
3.2.1.1.2. Gualba	19
3.2.1.1.3. Verdú	20
3.2.2. Anàlisis del rendiment i tipus d'aiguamolls construïts de Catalunya	22
3.2.2.1. Consideracions per dissenyar un aiguamoll construït	23
4. Conclusions	24
4.1. La viabilitat de la construcció d'un aiguamoll construït en el terme municipal de Terrassa	24

1. Introducció

Alhora de decidir el tema dels nostres treballs de recerca, l'institut ens va mostrar uns temes proposats pels professors a més d'un nou programa sorgit de la col·laboració de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) amb l'observatori d'aigua de Terrassa (OAT) en el desenvolupament dels seus objectius i tasques. Aquest programa ofereix als alumnes una orientació i ajuda amb persones del món acadèmic, de l'activisme social i del món tècnic/professional. L'institut ens va informar que l'any passat van haver dues alumnes que van participar en aquest programa i van tenir una bona experiència, això em va convèncer de participar-hi perquè vaig pensar que era una oportunitat de fer un treball de recerca d'una manera més professional i més elaborat del que podria fer jo sol gràcies a l'ajuda i la orientació que ofereix aquest programa.

Una vegada tenia clar de voler participar, vaig haver de decidir un dels temes del document sobre "Proposta d'activitats educatives i treballs de recerca" de l'OAT. De tots els temes que proposaven hi havien tres que m'interessaven molt i em va ser difícil decidir però finalment em vaig decantar pel següent: "Estudi de viabilitat de la implementació de tecnologies sostenibles: aiguamolls construïts a Catalunya". Aquest treball és un estudi i en aquests tipus d'estudis no es requereix d'una hipòtesi perquè es té com a objectiu genèric acumular dades per a descriure fenòmens però no es pretén explicar o verificar les possibles causes.

Els principals motius pels quals he decidit aquest tema pel meu treball són els següents:

- Està relacionat amb la química i la tecnologia, dues de les assignatures que més m'agraden i m'interessen.
- Està molt relacionat amb la enginyeria, un camp de la ciència que m'agrada, m'interessa i el qual m'agradaria especialitzar-me.
- Tenir l'oportunitat de poder conèixer més el món de les tecnologies sostenibles i en el qual contribuir encara que sigui una mica amb aquest treball.
- Per tenir l'oportunitat de fer un treball de recerca d'una manera més professional gràcies a les orientacions i ajudes del programa.

1.1. Objectius

En aquest treball es proposa explicar quina és la realitat de les tecnologies sostenibilistes i la possibilitat de la construcció de nous aiguamolls a Catalunya per la depuració d'aigües residuals amb els objectius següents:

- Analitzar el rendiment i tipus d'aiguamolls construïts existents a Catalunya.
- Fomentar aquest tipus de sistema naturals en noves poblacions que presten les condicions adequades.

Amb la qual cosa, amb aquest treball contribuiré encara que sigui una mica a fomentar la implementació de tecnologies sostenibles per aconseguir utilitzar d'una manera més eficient i responsable els recursos naturals i limitats dels quals disposem.

1.2. Hipòtesis

Aquest treball tracta sobre l'estudi de viabilitat de la implementació d'aiguamolls construïts a Catalunya, és a dir, és un estudi descriptiu perquè l'objectiu essencial és la recollida d'informació amb la qual s'utilitza per fer l'anàlisi i així treure unes conclusions.

1.3. Conceptes

Per això, s'ha de tenir clar que són les tecnologies sostenibles i els aiguamolls construïts pels diferents mecanismes de contaminació d'aigües residuals.

1.3.1. Tecnologies sostenibles

Segons la Biblioteca Agrícola Nacional dels Estats Units, les tecnologies sostenibles són les quals estan enfocades en els principis de sostenibilitat: la conservació de recursos, la reutilització, el reciclatge i l'eficiència energètica, minimitzant l'impacte ambiental i la reducció de la contaminació.

A més alhora de realitzar processos utilitzen recursos naturals com a energia tenint en compte la dimensió local i global dels problemes els quals ens enfrontem per aconseguir una major eficiència emprant menys energia, menor quantitat de recursos naturals limitats i de forma cíclica. Un exemple són els quals utilitzen el biocombustible, l'energia solar, l'energia eòlica, el reciclatge, entre altres (Buono et al., 2014).

L'objectiu d'aquestes tecnologies és evitar l'esgotament dels recursos naturals, garantint l'equilibri entre el creixement econòmic, la cura del medi ambient i el benestar social. L'avantatge de les tecnologies sostenibles és l'objectiu en si mateix, garantir un futur millor per les futures generacions utilitzant els recursos naturals d'una manera responsable, eficient i ecològica.

1.3.2. Els aiguamolls construïts

Els aiguamolls construïts amb l'objectiu de depurar les aigües residuals són nombrats de moltes maneres, com per exemple: aiguamoll artificial, pantà construït o pantà artificial; en anglès s'anomena "wetland" o "constructed wetland". Actualment, el terme més utilitzat i preferit pels científics és "aiguamoll construït".

Un aiguamoll construït és un tipus de tractament natural que aplica tecnologia sostenible per tractar d'emular els processos físics, químics i biològics d'eliminació de contaminants que ocorren espontàniament als aiguamolls construïts.

Actualment hi ha problemes creixents sobre un dels recursos més importants de la humanitat i de tots els éssers vius, l'aigua. Un exemple dels problemes és l'escassetat i la contaminació de l'aigua a més de la degradació dels recursos hídrics a tot el món. Els aiguamolls construïts s'ha creat amb l'objectiu de reduir aquests problemes.

Tot va començar gràcies als estudis i les investigacions científiques duts a terme per Kathe Seidel (botànica alemana i primera investigadora a incorporar vegetació a les zones humides de tractament d'aigües residuals) a Alemanya a partir de la dècada dels cinquanta qui va fer una col·laboració a mitjans dels anys seixanta amb el Dr Reinhold Kickuth, de la Universitat de Göttingen, amb l'objectiu principal de millorar la qualitat de les aigües en els canals de les primeres ciutats mitjançant l'ús adequat d'espècies de plantes d'aiguamolls (Hans i Carlos, 2003 p.18). Encara que els resultats no eren satisfactoris, van marcar l'inici i el desenvolupament d'aquesta tecnologia. El primer aiguamoll construït per tractar aigües residuals va ser a l'any 1974 a Alemanya, Othfresen (Hans i Carlos, 2003 p. 18).

Actualment hi ha milers d'instal·lacions arreu del tot el món i són una alternativa per a la reducció de la contaminació generada per aigües residuals domèstiques, aigües residuals agrícoles, efluent industrial, drenatge de mines, lixiviats abocadors, aigües pluvials, aigües fluvials contaminades i escorrenties urbanes. A més, és una tecnologia convencional per a petites comunitats que siguin menors de 2000 habitants.

1.3.2.1. Elements principals

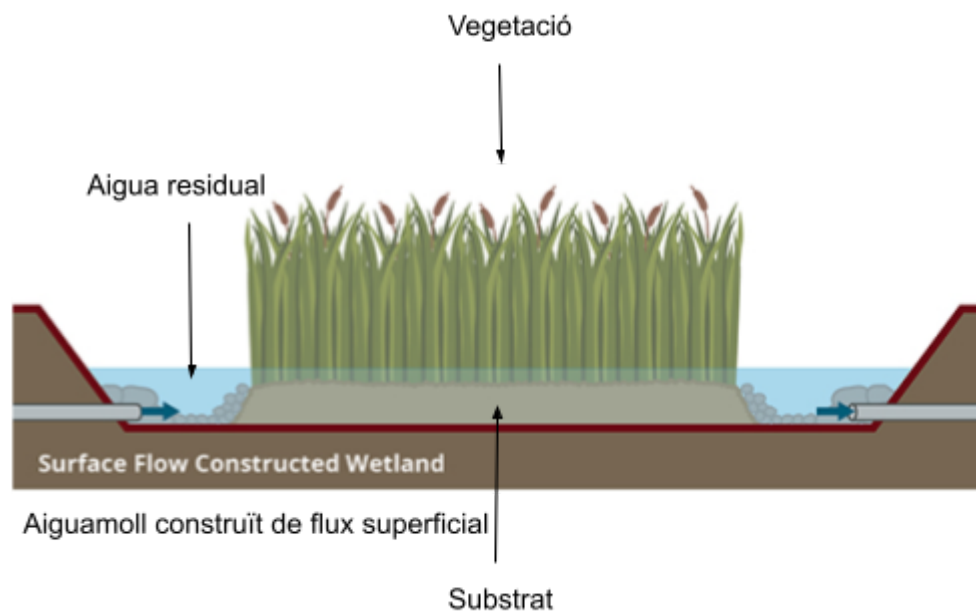
Estan compostos principalment per tres elements principals:

El primer és el substrat que s'utilitza com a suport per a la vegetació i permet la fixació dels bacteris que estan presents en la gran majoria de processos per eliminar els contaminants de l'aigua; un exemple de substrats que s'utilitzen en els medis aquàtics són la grava, la sorra o el fang.

Després està la vegetació que principalment ajuden a oxigenar el substrat i a l'eliminació de contaminants. Al ser aquàtics, s'anomenen macròfits i poden ser plantes emergides, plantes submergides i plantes flotants.

Un exemple de cada espècie són les *Phragmites* (emergent), les *Hydrilla verticillata* (submergent) i les *Nymphaea tetragona* (flotant).

Per últim, està l'aigua que s'ha de tractar, que circula a través del substrat i la vegetació on s'eliminen els contaminants i impureses. Un exemple d'aigües residuals són les domèstiques les agrícoles o els efluent industrial.



Imatge 1. Il·lustració d'un aiguamoll construït de flux superficial. Extret i adaptat de <<Cold Climate Constructed Wetlands>> de Biohabitats.

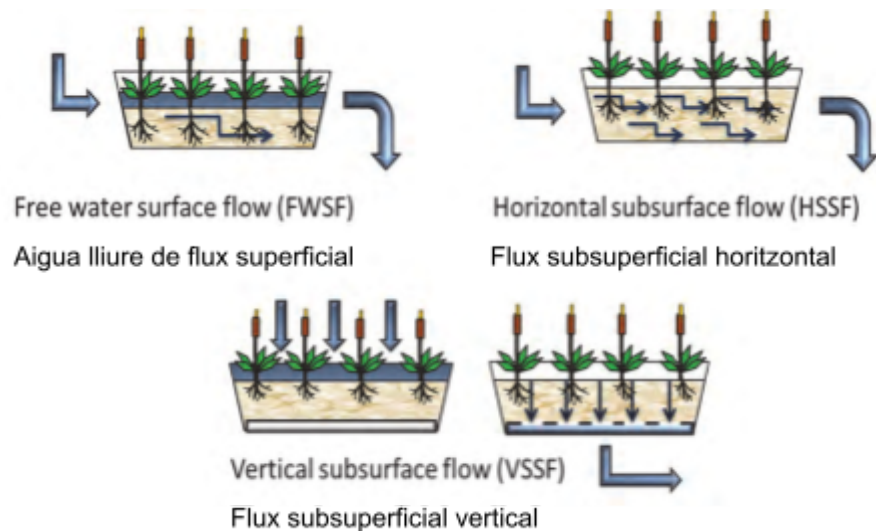
1.3.2.2. Classificació

Els aiguamolls construïts que s'utilitzen per l'eliminació de contaminants de l'aigua es poden classificar de dues maneres, segons el flux d'aigua i segons els tipus de macròfits que s'utilitzen.

Segons el flux d'aigua es classifiquen bàsicament en dos tipus, en aiguamolls construïts de flux superficial (AC FS) i els de flux subsuperficial (AC FSS). Els AC FS són similars als aiguamolls naturals perquè són aiguamolls artificials on l'aigua circula per la superfície, fa contacte directe amb l'atmosfera, hi ha un flux poc profund d'aigües residuals i el substrat està saturat.

En canvi, els AC FSS l'aigua circula per sota de la superfície, no hi ha contacte directe amb l'atmosfera i les aigües residuals poden fluir horitzontalment o verticalment pel substrat. Amb la qual cosa, dintre d'aquest últim grup d'aiguamolls artificials es poden dividir en sistemes de flux horitzontal i sistemes

de flux vertical. Cal esmentar que també existeixen els aiguamolls artificials híbrids que consisteixen en dues etapes de diversos aiguamolls artificials paral·lels en sèrie.



Imatge 2. Classificació dels aiguamolls construït segons el flux de l'aigua. Extret i adaptat de <<Treatment of winery wastewater in unplanted constructed wetlands>> de J Welz, P.

Segons els tipus de macròfits que s'utilitzen es poden dividir en dos grups: macròfits arrelats i flotants. Dintre del grup de macròfits arrelats es poden dividir en dos subgrups: macròfits emergents i submergits.

1.3.2.3. Avantatges i desavantatges respecte els sistemes convencionals

Els avantatges dels aiguamolls construïts respecte els sistemes convencionals són que tenen un baix cost de construcció i d'operació, el reduït consum energètic, la baixa producció de fangs, requereixen poc manteniment i aquest el pot dur a terme personal poc qualificat (Samsó Campà y García Serrano, 2011, p. 1). Per últim, l'impacte ambiental és mínim i fins i tot poden arribar a ser beneficiós pel medi ambient per la creació d'un hàbitat per la fauna silvestre.

Però, encara que hi hagin aquests avantatges, també tenen factors negatius respecte els sistemes convencionals, com per exemple la necessitat de àmplies extensions de terreny per la seva construcció, el qual el seu cost és mitjà o alt. A més, les aigües residuals i les condicions ambientals no són totes iguals, amb la qual cosa, els paràmetres de disseny són diferents segons les condicions que es tenen en cada cas i si la seva eficiència no és l'esperada s'hauria de redissenyar el sistema. Per últim, com és un sistema natural, el rendiment pot variar degut als canvis de les estacions.

2. Metodologia

En aquest treball s'ha utilitzat principalment dos mètodes, la revisió bibliogràfica i l'anàlisi de dades. S'ha utilitzat el primer mètode durant el marc teòric, perquè calia explicar el funcionament d'un aiguamoll construït, el rendiment dels diferents tipus i per últim, els factors i condicions socials per l'implementació d'aiguamolls naturals. El segon mètode s'ha utilitzat per l'anàlisi del rendiment dels tipus d'aiguamolls existents a Catalunya situat en el marc pràctic, on s'ha fet una recerca dels aiguamolls existents a Catalunya, un anàlisi del rendiment d'aquests aiguamolls i per últim, l'explicació de les condicions òptimes per dissenyar un aiguamoll construït.

A més, aquest treball es una investigació quantitativa basat en l'anàlisi numèric del rendiment dels aiguamolls construïts de Catalunya.

3.1. Marc teòric:

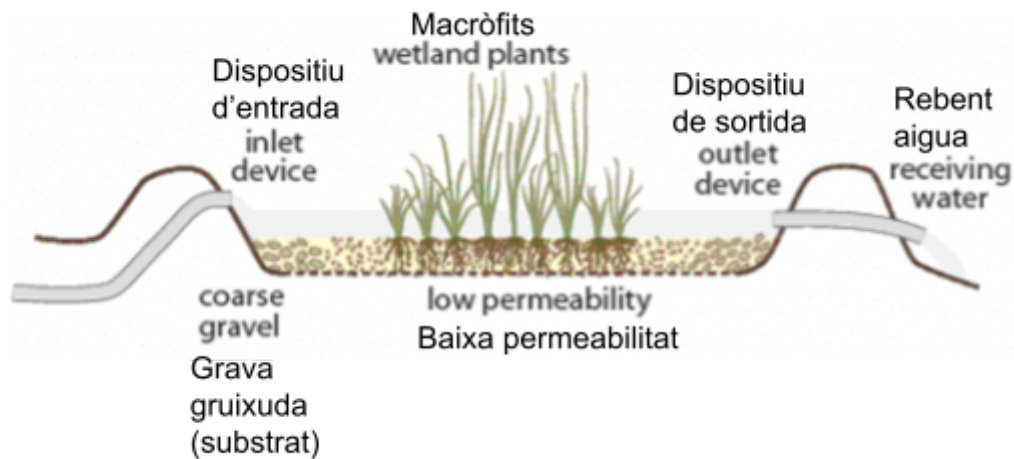
3.1.1. Funcionament d'un aiguamoll

En els aiguamolls construïts, la depuració de l'aigua succeeix per la interacció entre els elements components de l'aiguamoll i dels fenòmens físics, químics i biològics dins de l'aiguamoll, amb la intervenció del Sol com a font principal d'energia (Arias I., Carlos A., Brix, Hans, 2003 p. 5).

3.1.1.1. Aiguamolls construïts de flux superficial

L'aigua residual que és descarregada travessarà lentament l'aiguamoll on es troba la vegetació i els microbis que viuen a les tiges, els arrels i les fulles caigudes de les plantes responsables de la filtració mitjançant processos físics, químics i biològics. Mentrestant, les fulles que estan per sobre de la superfície de l'aigua donen ombra a la massa d'aigua, limitant el creixement de microalgues (Rabat, 2016 p.11).

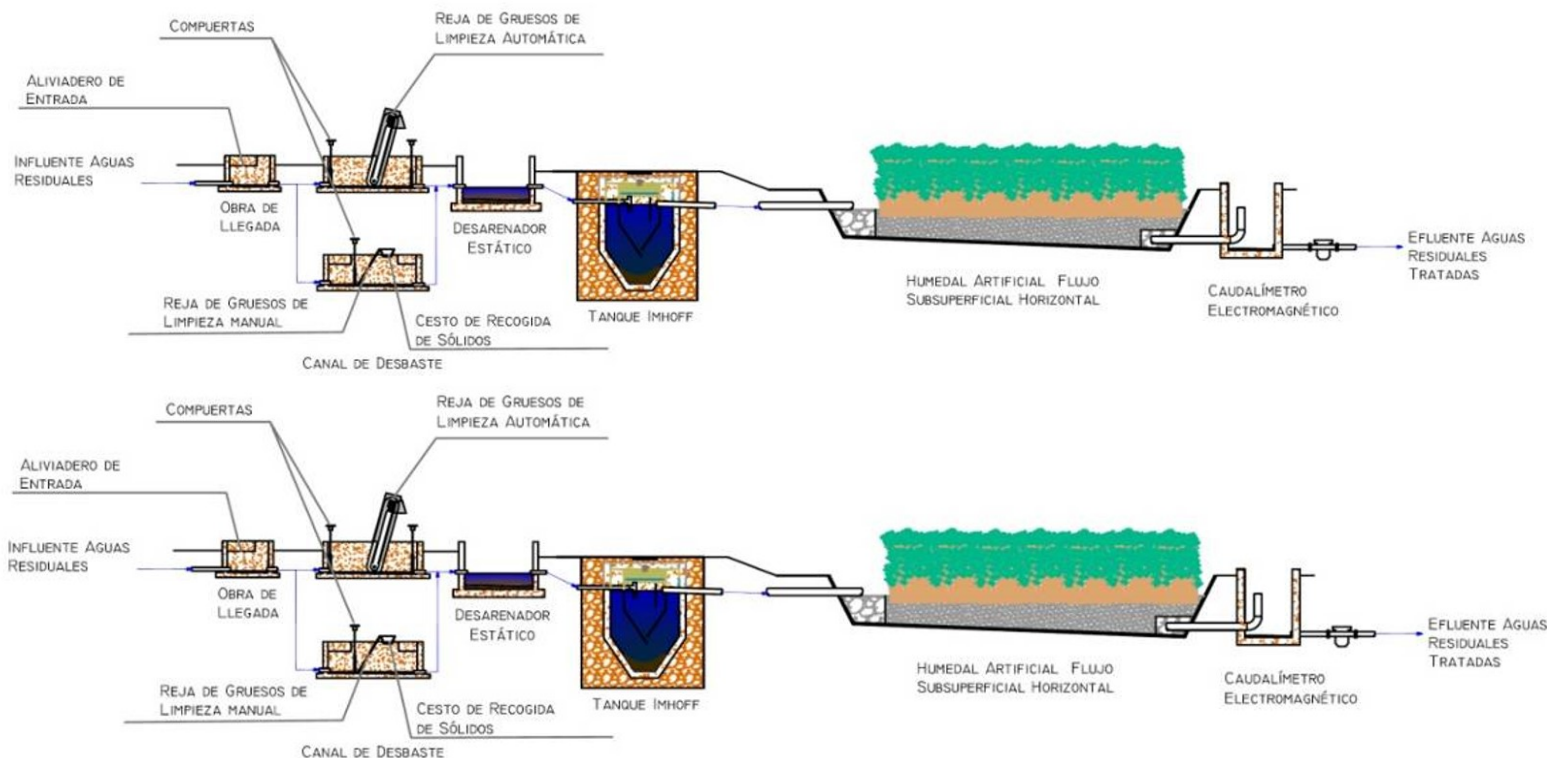
En l'actualitat, aquests tipus d'aiguamolls construïts s'utilitzen principalment com a tractament secundari a les centrals de depuració d'aigües residuals, és a dir, s'ha fet un pretractament i/o un tractament primari prèviament.



Imatge 3. Aiguamoll construït de flux superficial. Extret i adaptat de <<Subsurface flow and free water surface flow constructed wetland with magnetic field for leachate treatment>> de Md Saat, S.

3.1.1.2. Aiguamolls construïts de flux subsuperficial

En els AC FSS el procés és similar al d'un tractament convencional que consta de pretractament, tractament primari, tractament secundari (el qual és l'aiguamoll artificial) i, opcionalment, un tractament terciari.



Imatge 5. Diagrames de flux d'aiguamolls verticals i horitzontals. Extret de <<Introducción a los Humedales Artificiales como tratamiento de las aguas residuales>> de José Salas, J.

3.1.1.2.1. Pretractament

Com es pot veure a la imatge 5, l'efluent de les aigües residuals arriba a la obra d'arribada el qual té la funció de regular el pas de l'efluent perquè no superi el caudal màxim. Després, l'efluent arriba al canal de desbast on s'eliminen els sòlids grans i mitjans mitjançant reixes de desbast, de 2-3 cm de separació entre els barrots (Salas, Pidre i Sánchez, 2007 p. 30), i mitjançant neteja manual. Per últim, està el desarenador estàtic el qual té la funció de l'eliminació de la major part de la matèria més densa de l'aigua, amb diàmetres superiors als 2 mm (Mateu 2015 p. 25), per no saturar el substrat.

3.1.1.2.2. Tractament primari

Per aconseguir eliminar més sòlids en suspensió i així evitar la colmatació del substrat de l'aiguamoll, s'utilitzen majoritàriament en el tractament primari fosses sèptiques o tancs Imhoff com els que es veuen a la imatge 5. Les fosses sèptiques són dispositius enterrats (normalment es disposen de dues fosses sèptiques en sèrie) en els quals es decanta la matèria sedimentable i, posteriorment, es diposita al fons en forma de fang, els fangs retinguts experimenten reaccions de degradació anaeròbia, mineralitzant-se i reduint-ne el volum. Quan es produeix aquesta degradació anaeròbia, es formen bombolles de gas que obstaculitzen la sedimentació dels sòlids i és degut a això que es posa una segona fossa sèptica (Salas et al., 2007 p. 31). En canvi, els tancs Imhoff són modificacions de les fosses sèptiques, en aquests es dona per separat la decantació de la digestió dels fangs, millorant la sedimentació dels sòlids en evitar que les bombolles de gasos de la digestió arrossequin partícules (Mateu 2015 p. 27).

3.1.1.2.3. Aiguamolls construïts de flux subsuperficial horitzontal

Aquests tipus d'aiguamolls funcionen de la següent manera:

- 1) El flux d'aigua residual passa pel tub d'entrada
- 2) El flux d'aigua residual surt del tub d'entrada i passa per la superfície de l'aiguamoll on es troba la vegetació i els microbis, a la vegada, es filtra pel substrat on es troba els arrels de la vegetació (en aquesta part succeeixen la majoria de processos químics, físics i biològics que elimina els residus de l'aigua).
- 3) Després, el flux d'aigua arriba a un tub de drenatge el qual recull l'aigua i la condueix per un dispositiu de sortida en el qual es recollida i descarregada.

A la zona de vegetació, el substrat que s'utilitza habitualment són sorres o graves fines d'entre 3 i 35 mm de diàmetre, perquè d'aquesta manera, s'aconsegueix un arrelament i creixement de la vegetació correcte a més d'un flux i d'una filtració de

l'aigua adequat. En canvi, a les zones d'entrada i sortida de l'aigua s'utilitza un substrat més gruixut, entre 30 i 100 mm de diàmetre.

3.1.1.2.4. Aiguamolls construïts de flux subsuperficial vertical

En aquests tipus d'aiguamolls l'aigua és carregada intermitentment, de manera que aquest sistema també és conegut com a filtre intermitent. D'aquesta manera, s'intercalen en el substrat condicions de saturació amb altres de ventilació en les que l'aigua no flueix, estimulants el subministrament d'oxigen en el substrat entre les successives càrregues d'aigua i el desenvolupament de processos aeròbics (Rabat, 2016 p.16).

En aquests tipus d'aiguamolls l'aigua residual passa pel següent procés:

- 1) El flux d'aigua residual passa pel tub d'entrada que deixa l'aigua en el mitjà de l'aiguamoll per assegurar una distribució aproximadament proporcional per tota la superfície de l'aiguamoll on l'aigua es troba amb la vegetació i els microbis (els quals causa algunes reaccions que elimina alguns residus de l'aigua).
- 2) Posteriorment, l'aigua es filtra pel substrat on es troba les arrels de la vegetació (els quals causa algunes reaccions que elimina alguns residus de l'aigua).
- 3) El flux d'aigua arriba a la xarxa de drenatge que es troba a la part més profunda de l'aiguamoll el qual recull l'aigua i la condueix per un dispositiu de sortida en el qual es recollida i descarregada.

En aquest tipus d'aiguamolls, el substrat que s'utilitza varia segons la profunditat. A mesura que hi hagi més profunditat, el substrat serà més gruixut, d'aquesta manera, el substrat més fi estarà a la superfície de l'aiguamoll i el substrat més gruixut estarà a la part més profunda.

3.1.1.2.5. Tractament terciari

En algunes ocasions, es sotmet l'efluent a unes Llacunes de Maduració perquè la radiació ultraviolat de la llum solar millori el grau d'abatiment dels organismes patògens (Salas et al., 2007 p. 33).

3.1.2.3. Aiguamolls híbrids

En el cas dels sistemes híbrids, es vol aconseguir una major eficiència dissenyant diversos compartiments perquè d'aquesta manera, s'aconsegueixen més reaccions i processos els quals eliminen els residus de l'aigua.

Actualment el més utilitzat són els aiguamolls híbrids que comencen amb un aiguamoll subsuperficial vertical continuat en sèrie per un aiguamoll subsuperficial

horitzontal i així contínuament, d'aquesta manera, s'aconsegueix una millora en el rendiment de l'eliminació de nitrogen. Això és degut a que en els aiguamolls subsuperficials verticals es produeixen processos de nitrificació (procés biològic amb presència d'oxigen on s'oxida l'amoníac fins a la seva conversió a nitrat) ("Biotecnología: nitrificación y desnitrificación" 2015 pàrr. 2) mentre que en els aiguamolls subsuperficials horitzontals es produeixen processos de desnitrificació (procés mitjançant el qual determinats bacteris del terra transformen els nitrats en nitrogen gasós mitjançant l'eliminació d'oxigen) ("Biotecnología: nitrificación y desnitrificación" 2015 pàrr. 3) donant com a resultat que el nitrogen es vagi a l'atmosfera.

3.1.2.4.Mecanismes de depuració

En aquest apartat s'explica els principals residus de les aigües residuals i com s'eliminen.

3.1.2.4.1. Eliminació de sòlids en suspensió

Encara que els sòlids en suspensió es tracten abans amb un pretractament anteriorment explicat, els aiguamolls construïts també poden eliminar els sòlids en suspensió principalment per tres processos físics:

- Filtració: els sòlids en suspensió es queden retinguts quan el flux d'aigua passa pel substrat, els rizomes, les arrels i/o els talls de la vegetació.
- Sedimentació: els sòlids en suspensió sedimentables decanten només per l'acció de la gravetat.
- Floculació: les substàncies col·loïdals (partícules que es desplacen lentament per un mitjà líquid) s'aglutinen formant partícules de més tamany fins ser capaços de ser sedimentades per l'acció de la gravetat.

Cal destacar que aquests fenòmens són possibles perquè les arrels dels macròfits i el substrat fan possible la disminució de la velocitat de l'aigua.

En els aiguamolls de flux superficial els materials en suspensió s'eliminen majoritàriament per la filtració i sedimentació; aquests dos fenòmens succeeixen en aquests aiguamolls quan el flux de l'aigua passa per la vegetació on l'aigua es troba els talls i possibles restes de vegetació. Amb la qual cosa, si les aigües residuals tenen una gran concentració de sòlids en suspensió, es pot aconseguir un bon rendiment d'eliminació amb aiguamolls artificials superficials amb una gran densa vegetació amb la qual cosa, a més d'aconseguir un gran rendiment a l'eliminació d'aquests contaminants, s'aconsegueix que arribi menys llum al fons de l'aiguamoll evitant així l'aparició de microalgues (Salas, Pidre i Sánchez, 2007 p. 40).

En els aiguamolls de flux subsuperficial l'eliminació dels materials en suspensió succeeix quan l'aigua es filtra pel substrat i passa pels rizomes i les arrels de la vegetació. Tant en els aiguamolls subsuperficials verticals com horitzontals tenen un gran rendiment en l'eliminació dels sòlids en suspensió, normalment és de més del 90% produint efluentes amb concentracions menors de 20 mg/L de forma sistemàtica (Joan i Angélica, 2008 p. 12).

Però s'ha de tenir en compte que si les aigües residuals tenen molta concentració de sòlids en suspensió es causarà un reblliment en el substrat, amb la qual cosa, és necessari un pretractament per eliminar una part dels sòlids en suspensió.

3.1.2.4.2. Eliminació de matèria orgànica

La matèria orgànica adherida a sòlids en suspensió és eliminada per processos físics. En canvi, la resta de matèria orgànica és eliminada mitjançant la biodegradació amb processos aeròbics i anaeròbics, perquè a vegades hi ha presència d'oxigen i altres vegades no. Els responsables d'aquests processos són els microbis i bacteris que es troben a les tiges i a les arrels de la vegetació.

En els processos de degradació aeròbics, la matèria orgànica és eliminada principalment per tres processos:

- **Oxidació:** les bactèries utilitzen l'oxigen (O_2) per oxidar els compostos orgànics (els elements predominants dels compostos orgànics són el carboni, l'oxigen, l'hidrogen el nitrogen i el fòsfor) i també s'allibera amoni (NH_3), energia i altres productes. La demanda bioquímica d'oxigen (DBO5) és la quantitat d'oxigen que necessiten les bactèries per fer aquesta reacció.
- **Síntesis:** Els bacteris aprofiten l'energia alliberada a l'oxidació i la resta de matèria orgànica per convertir-ho en nou teixit cel·lular creant així nous bacteris.
- **Respiració endògena:** quan no hi ha més matèria orgànica, els bacteris consumeixen el seu propi teixit cel·lular amb la finalitat d'obtenir energia pel seu manteniment (Salas et al., 2007 p. 41), encara que aquesta reacció química també produeix diòxid de carboni (CO_2), amoni (NH_3) i òxid d'hidrogen (H_2O).

En els processos de degradació anaeròbics, la matèria orgànica és eliminada per les següents etapes:

- Etapa hidrolítica: es degraden els compostos orgànics complexos (lípidis, proteïnes...) en altres més senzills (aminoàcids, àcids grassos...) i part d'aquesta matèria orgànica es solubilitza.
- Etapa acidogènica: els compostos orgànics senzills de l'etapa anterior es transformen per l'acció de les bactèries acidogèniques en diòxid de carboni, hidrogen, amoni i àcids orgànics.
- Etapa acetogènica: els bacteris acetogènics transformen els àcids de l'etapa anterior en àcid acètic, amoni, hidrogen i diòxid de carboni.
- Etapa metanogènica: els productes de l'etapa anterior es converteixen en metà i diòxid de carboni el qual formen el biogàs. Com el biogàs és volàtil, surt de l'aigua del aiguamoll construït donant a terme la reducció de matèria orgànica.

3.1.2.4.3. Eliminació de nutrients

El nitrogen es troba a l'aigua residual principalment en forma d'amoniac (NH_3) i s'elimina mitjançant dos processos:

- Nitrificació: l'amoniac s'oxida i dona nitrit (NO_2) i seguidament, s'oxida el nitrit i dona com a producte resultant el nitrat (NO_3).
- Desnitrificació: en aquests procés no hi ha presència d'oxigen i és realitzada per bacteris heteròtrofes on transformen el nitrat (NO_3) en nitrit (NO_2), després en òxid nítric (NO), posteriorment en òxid nítrós (N_2O) i dona com a producte resultant nitrogen gas (N_2), el qual surt de l'aigua del aiguamoll construït eliminant així la presència de nitrogen a l'aigua residual.

En el cas del fòsfor, no s'ha aconseguit en la actualitat un bon rendiment per eliminar-la perquè no es pot eliminar més del 10-20% i no hi ha molta diferència entre els diferents tipus d'aiguamolls construïts (Salas, et al., 2007 p. 47). Aquest element s'elimina de les aigües residuals amb tres processos diferents:

- Absorció del fòsfor per part de les plantes.
- Adsorció del substrat.
- Precipitació del fòsfor gràcies al ferro, l'alumini i el calci que hi ha a l'aigua en el substrat, que donen com a resultat fosfats insolubles (Salas, et al., 2007 p. 47).

3.1.2.4.3. Eliminació de patògens

Els microorganismes fecals s'eliminen de l'aigua residual principalment per tres processos:

- Per filtració del substrat.
- Per la depredació dels microorganismes que es troben en la vegetació.
- Pels antibiòtics produïts per les arrels de les plantes.

Els patògens s'elimina amb molta eficiència en els aiguamolls construïts, a la meitat de l'aiguamoll s'estima l'eliminació d'un 80% (Salas, et al., 2007 p. 48). L'eliminació depèn del temps de permanència i del substrat ja que com més baix és el diàmetre del medi granular, més gran és el nivell d'eliminació obtingut (Joan i Angélica, 2008 p. 18).

3.1.3. Factors que influeixen en el rendiment dels aiguamolls construïts

Alhora de fer un aiguamoll construït, s'ha de tenir en compte una sèrie de factors que influeixen en el rendiment i de la sostenibilitat, els més importants són la selecció de la planta, la selecció del substrat, la profunditat de l'aigua, la tasa de carga hidràulica, el temps de retenció hidràulic, el clima i el tipus d'aiguamoll construït. Com aquest últim factor s'ha explicat a l'apartat anterior, no està explicat en aquest apartat.

3.1.3.1. Selecció de la planta

La planta és una part fonamental de l'aiguamoll construït perquè, com ja s'ha explicat anteriorment, proporciona als microorganismes (els quals s'ha explicat anteriorment que ajuden a l'eliminació dels contaminants) un medi on viure, a més, les arrels proporciona oxigen a l'aiguamoll fent que hi hagi condicions aeròbiques millorant així la degradació contaminants, i per últim, aquestes plantes poden absorbir una part dels contaminants i acumular-los en el seu teixit.

A més de tenir en compte aspectes com les condicions climàtiques i el tipus d'aigües residuals que s'han de tractar, també s'ha de tenir en compte els següents requisits: una adaptabilitat a les condicions de saturació del terreny, un gran potencial de creixement de les arrels i la seva capacitat de càrrega d'oxigen, una elevada capacitat d'activitat fotosintètica i la tolerància a altes concentracions de contaminants (Gorgoglione i Torretta, 2018 p. 9). Sobretot, l'últim requisit és molt important perquè si no té aquesta tolerància, afectarà a la seva supervivència i al rendiment del tractament de les aigües de l'aiguamoll perquè en els aiguamolls construïts els quals s'utilitzen pel tractament de les aigües residuals hi ha unes condicions molt extremes per a les plantes per la gran concentració de residus i si al final es mor la planta, afectarà negativament al

rendiment perquè tots els residus que hagués acumulat la planta tornaran a diluir-se a l'aigua.

L'impacte de les plantes en l'eliminació de nitrogen i fòsfor es considera elevat, ja que representa un 15-80% N i un 24-80% P. No obstant això, diversos investigadors van trobar que era menor i es trobava en el rang del 14,29-51,89% de l'eliminació total de nitrogen, i el 10,76-34,17% de l'eliminació total de fòsfor (Gorgoglione i Torretta, 2018 p. 9).

3.1.3.2. Selecció del substrat

Com ja s'ha explicat anteriorment, el substrat és un medi pels microorganismes i el lloc de fixació de les arrels de la vegetació. Però, el substrat també juga un paper molt important per dos motius: primer perquè actua com a medi de filtració i/o adsorció de contaminants i segon perquè té una gran influència en el moviment de l'aigua a través d'ell, és a dir, tindrà una major o menor conductivitat hidràulica, el qual afectarà al rendiment. Això és degut a que una conductivitat hidràulica deficient provocaria l'obstrucció dels sistemes, disminuint greument l'eficàcia del sistema, i una baixa capacitat d'adsorció també pot afectar al rendiment de l'eliminació a llarg termini dels aiguamolls construïts (Haiming et al., 2015 p. 4). Amb la qual cosa, s'escollirà un substrat o un altre segons la seva conductivitat hidràulica i la seva capacitat d'adsorció de contaminants.

Els substrats com la sorra, la grava i la roca tenen poca capacitat d'adsorció de fòsfor a llarg termini, mentre que els productes sintètics i industrials amb alta capacitat d'adsorció de fòsfor i conductivitat hidràulica són substrats més eficaços pels aiguamolls construïts (Gorgoglione i Torretta, 2018 p. 10).

3.1.3.3. Tasa de càrrega hidràulica i temps de retenció hidràulic

El temps de càrrega i de retenció hidràulica afectarà a l'eficàcia de l'eliminació dels contaminants, amb la qual cosa, un òptim disseny per la càrrega i retenció hidràulica és un factor important per aconseguir un bon rendiment a l'aiguamoll construït.

Quan menys temps hi hagi en el temps de càrrega hidràulica, serà millor perquè afavoreix el pas més ràpid de les aigües residuals pels mitjans. En canvi, quan més major sigui el temps de retenció hidràulica, serà millor perquè es donarà el temps necessari per a que tots els components de l'aiguamoll construït actuïn per provocar totes les reaccions físiques, químiques i biològiques que eliminen els contaminants. Per exemple, en una investigació realitzada per Sylvia Toet, Richard S. P. Van Logtestijn, Ruud Kampf, Michiel Schreijer i Jos T. A. Verhoeven van trobar una major eliminació de nitrogen en els aiguamolls construïts amb una taxa de retenció hidràulica de 0,8 dies en comparació amb els resultats amb els de 0,3 dies (Haiming et al., 2015 p. 5).

3.1.3.4. Profunditat de l'aigua

La profunditat de l'aigua afecta en la decisió de quin tipus de plantes s'haurà d'escollir i també influeix en les reaccions bioquímiques responsables de l'eliminació dels contaminants afectant els nivells d'oxidació i reducció i el nivell d'oxigen dissolt (Gorgoglione i Torretta, 2018 p. 11). Per exemple, Xiaojun Song, Magnus Ehde i Stefan E. B. Weisner van avaluar els factors crítics per a l'eliminació de nitrogen a les zones humides dels aiguamolls construïts de flux superficial que reben càrregues elevades de nitrats (NO₃) de l'agricultura i van determinar que els aiguamolls més profunds amb més temps de retenció hidràulica més llargs afavoreixen l'eliminació de nitrogen a curt termini però no a llarg termini (Song, X., Magnus Ehde, P. i Weisner, S. 2019). Amb la qual cosa, la profunditat de l'aigua afecta a les reaccions per a l'eliminació dels contaminants però encara s'han de realitzar més estudis per saber en quina proporció afecta com per donar-li importància.

3.1.3.5. El clima i el temps

El clima afecta als processos de depuració de contaminants de les aigües residuals en els aiguamolls construïts degut a que estan exposats a l'atmosfera. En un clima càlid s'ofereix un millor rendiment que en un clima fred perquè en aquest últim es pot formar gel a l'aiguamoll construït provocant problemes hidràulics com evitar que l'aigua entri a l'aiguamoll construït. A més, la neu que es pot acumular a l'aiguamoll, quan torni a l'estat líquid, pot aportar més contaminants ja que a la neu pot haver-hi emmagatzemat contaminants (Kennedy i Mayer p. 318) i també farà augmentar el cabal hidràulic donant com a conseqüència que hi hagi menys retenció hidràulica i amb la qual cosa, menys temps per a que tots els components de l'aiguamoll construït actuïn per provocar totes les reaccions físiques, químiques i biològiques que eliminen els contaminants reduint així el percentatge de contaminants eliminats. Cal afegir que s'hauria d'escollir macròfits que suportessin temperatures molt baixes ja que si no suportés el fred, es podria morir donant com a conseqüència que tots els contaminants absorbits pels macròfits tornin a l'aigua diluint-se.

A part del clima, també s'ha de tenir en compte el temps com per exemple les pluges i tormentes ja que poden provocar l'augment dels cabals reduint així el temps per a que tots els components de l'aiguamoll construït actuïn per provocar totes les reaccions físiques, químiques i biològiques que eliminen els contaminants, a més, aquesta aigua pot diluir contaminants i portar sediments i materials en suspensió augmentant així la quantitat de contaminants i els materials en suspensió.

3.1.4. Factors i condicions socials, econòmiques i ambientals per l'implementació d'aiguamolls naturals

3.1.4.1. Condicions socials i econòmiques

Han de ser comunitats petites i/o mitjanes com per exemple ciutats petites, pobles, cases solars o blocs d'habitatges i, en general, zones rurals (Stefanakis p. 292) o també zones urbanes amb poca densitat de població ja que si hagués una densitat de població elevada, la superfície terrestre requerida seria molt elevada fent que no sigui rendible per la gran quantitat d'inversions que s'hauria de fer per aconseguir el terreny necessari i per la construcció. Amb la qual cosa, a d'haver disponible gran disponibilitat de terrenys marginals i, si és possible, de baix cost, per aconseguir una major rendibilitat econòmica per reduir el preu dels serveis d'aigua aconseguint així l'interès de més gent perquè en quant a costos econòmics, només serà l'adquisició del terreny necessari i per la construcció perquè en quant a manteniment i operació de les instal·lacions poden ser fins a un 90% inferiors en comparació amb les plantes convencionals.

3.1.4.2. Condicions ambientals

En quant a les condicions ambientals, el clima és un d'ells i que s'ha tractat a l'apartat anterior on podem treure la conclusió que el clima més idoni són els climes temperats amb hiverns poc rigorosos on hi hagi mai o molt poques pluges intenses. També s'ha de tenir en compte la topografia perquè es busca que sigui plana amb un pendent lleuger de l'1%, ja que a major pendent, haurà de realitzar-se una major excavació, la qual cosa incrementa els costos (Arteaga p. 20) i ha de ser en un lloc on hi hagi un receptor d'efluents d'aigua proper que pugui arribar fàcilment per l'acció de la gravetat.

3.2. Marc pràctic

En aquest apartat hi ha l'anàlisi del rendiment dels aiguamolls construïts a Catalunya, l'explicació de les condicions òptimes per dissenyar un aiguamoll construït, l'explicació de la viabilitat de la construcció d'un aiguamoll construït en el terme municipal de Terrassa i l'explicació de l'escenari de futur de la instal·lació d'aiguamolls construïts a Catalunya. I per fer això s'ha fet prèviament una recerca de tres centrals de depuració d'aigües residuals de Catalunya que utilitzin aiguamolls construïts.

3.2.1. Recerca d'aiguamolls construïts a Catalunya

A Catalunya hi ha 532 depuradores que tracten anualment gairebé 700 hm³ d'aigua (setembre 2021) dels quals 30 són aiguamolls construïts (novembre 2014) i s'han escollit tres centrals de depuració d'aigües residuals de Catalunya que utilitzin aiguamolls construïts per fer un anàlisi del seu rendiment. (Agència Catalana de l'Aigua, 2014 pàrr. 1)

3.2.1.1. Casos aplicatius d'aiguamolls construïts de Catalunya

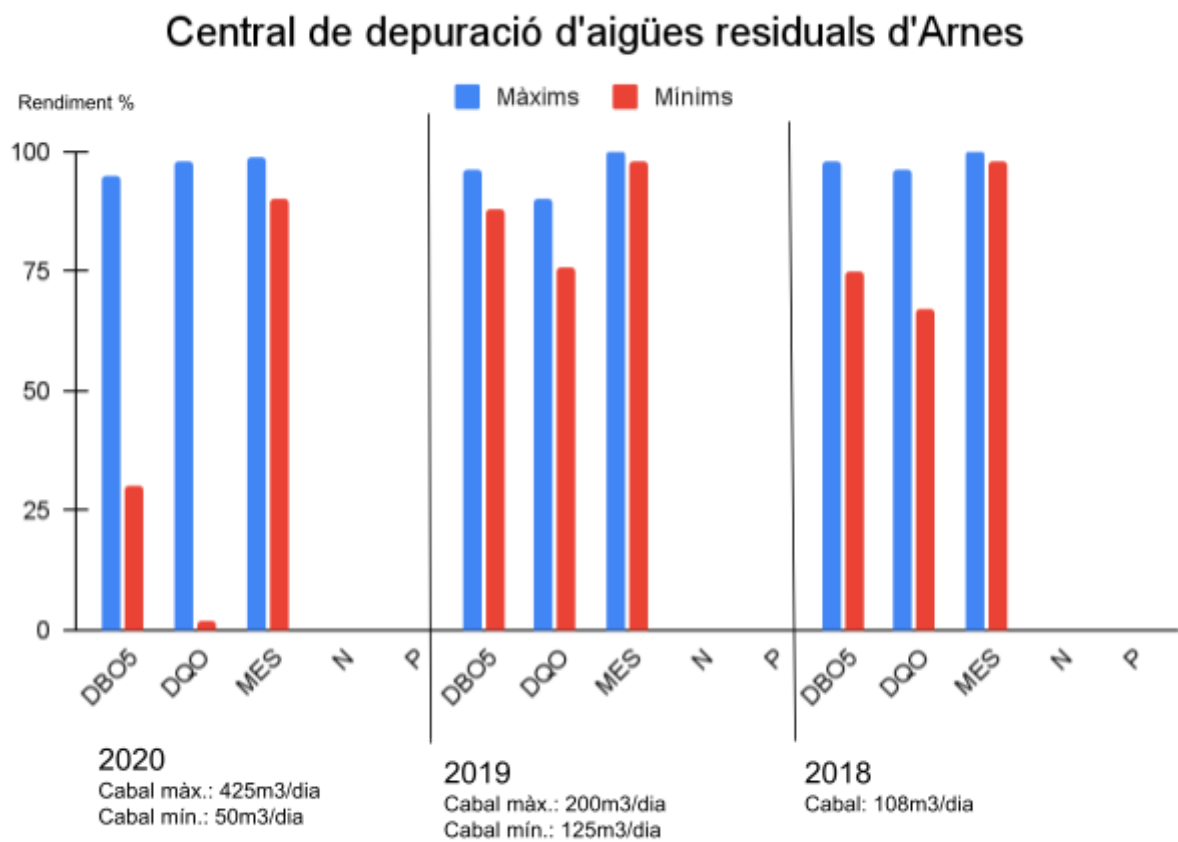
3.2.1.1.1. Arnes

Arnes és un municipi de la comunitat autònoma de Catalunya de la comarca Terra Alt i que té de província Tarragona. A més, té una població de 444 habitants (a 2020). El clima en Arnes és mediterrani i, a causa de la influència del mar marítim i de la altitud, l'ambient és fresc i humit. Les temperatures mitjanes anuals són de 14°C, els hiverns són llargs i freds de entre 5°C i 6°C de mitjana mensual en gener; en canvi, els estius són calorosos de entre 22 i 25°C amb precipitacions escasses.

Per depurar les seves aigües residuals es va posar en marxa a l'any 1996 un sistema d'aiguamolls construïts (la primera de Catalunya i de les primeres d'Espanya) amb un disseny per a 1305 habitants equivalents. Té 1,04 kilòmetres de col·lectors, una línia de pretractament que consta d'una reixa per a gruixuts (per l'eliminació de substàncies sòlides grans) i una reixa per a fins (per l'eliminació de substàncies sòlides més petites), té un tractament primari el qual és de tipus fossa sèptica i un tractament secundari el qual són els aiguamolls construïts. Té un total de tres aiguamolls construïts, dos subsuperficials de flux horitzontal i un superficial.



A continuació es mostra una gràfica, elaborada mitjançant informació extreta de l'Agència Catalana de l'Aigua, del rendiment de l'eliminació dels contaminants tractats en els últims tres anys a la central de depuració d'aigües residuals d'Arnes:



El rendiment màxim del DBO5, DQO i MES en els tres anys és molt alt, no són inferiors del 80% i, per exemple, a 2020 i a 2019 arriben quasi al 100% de DQO eliminat. No hi ha una gran diferència entre el rendiment màxim i mínim, fins i tot el rendiment mínim del MES en els tres anys és molt similar al del rendiment màxim. Però, al 2020 sí que hi ha hagut una baixada en el rendiment mínim del DBO5 i del DQO. Cal destacar que el rendiment de nitrogen i fòsfor durant els tres anys és nul.

3.2.1.1.2. Gualba

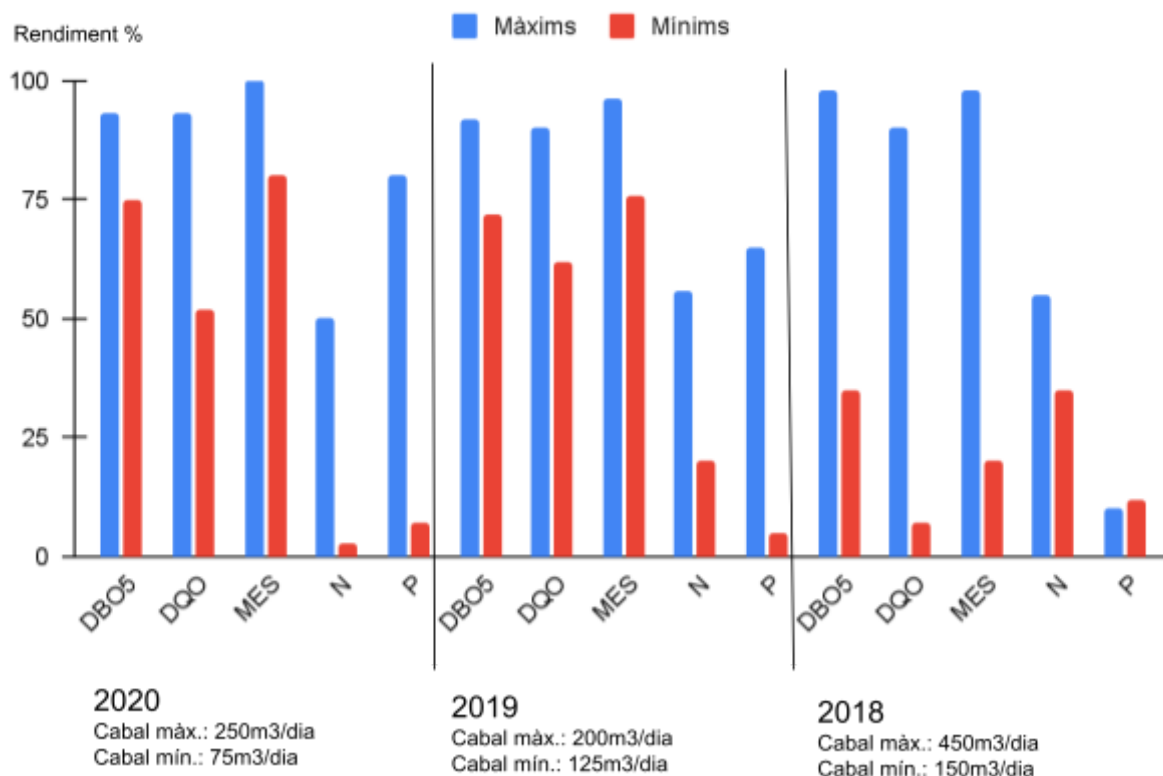
Gualba és un municipi de la comunitat autònoma de Catalunya, és de la comarca del Vallès Oriental i té de província Barcelona. A més, té una població de 1548 habitants (a 2020). El clima de Gualba és mediterrani amb influència marítima de muntanya. L'estiu és calorós amb unes temperatures mínimes de 11°C i unes màximes de 30°C a l'hivern hi ha unes temperatures mínimes de 3°C i màximes de 13°C. A més, les precipitacions mitjanes anuals són entre 600mm i 900mm.

Per depurar les seves aigües residuals tenen un sistema d'aiguamolls construïts que es va posar en marxa a l'any 2002 i que té de conca la Tordera i el seu punt d'abocament a la riera Gualba. Aquest aiguamoll es va dissenyar per 1305 persones equivalents. Té 1,10 km de col·lectors equivalents, una línia de pretractament que consta d'una reixa per a gruixuts (per les substàncies sòlides més grans), un tractament primari el qual consta de dos tancs Imhoff de 180m³ de volum cadascú que permeten la reducció de la MES i DBO5 amb rendiments aproximats del 30% i un tractament secundari el qual consta de dos aiguamolls construïts subsuperficials de flux horitzontal.



A continuació es mostra una gràfica, elaborada mitjançant informació extreta de l'Agència Catalana de l'Aigua del rendiment de l'eliminació dels contaminants tractats en els últims tres anys a la central de depuració d'aigües residuals de Gualba:

Central de depuració d'aigües residuals de Gualba



El rendiment màxim del DBO5, DQO i MES és molt alt, no és inferior al 80% i fins i tot als tres anys el MES quasi arriba al 100% de rendiment. La diferència entre el rendiment màxim i mínim del DBO5, DQO i MES no és molt gran, són superiors al 50% menys a l'any 2018 en el qual no superen el 40%. El valor del rendiment de l'eliminació de nitrogen i fòsfor en els tres anys són els més inferiors, encara que el màxim ha pogut arribar a més del 75% de fòsfor i més del 60% de nitrogen, els mínims són molt petits i en la resta de mesos no arriba ni s'apropen a aquell valor una altre vegada.

3.2.1.1.3. Verdú

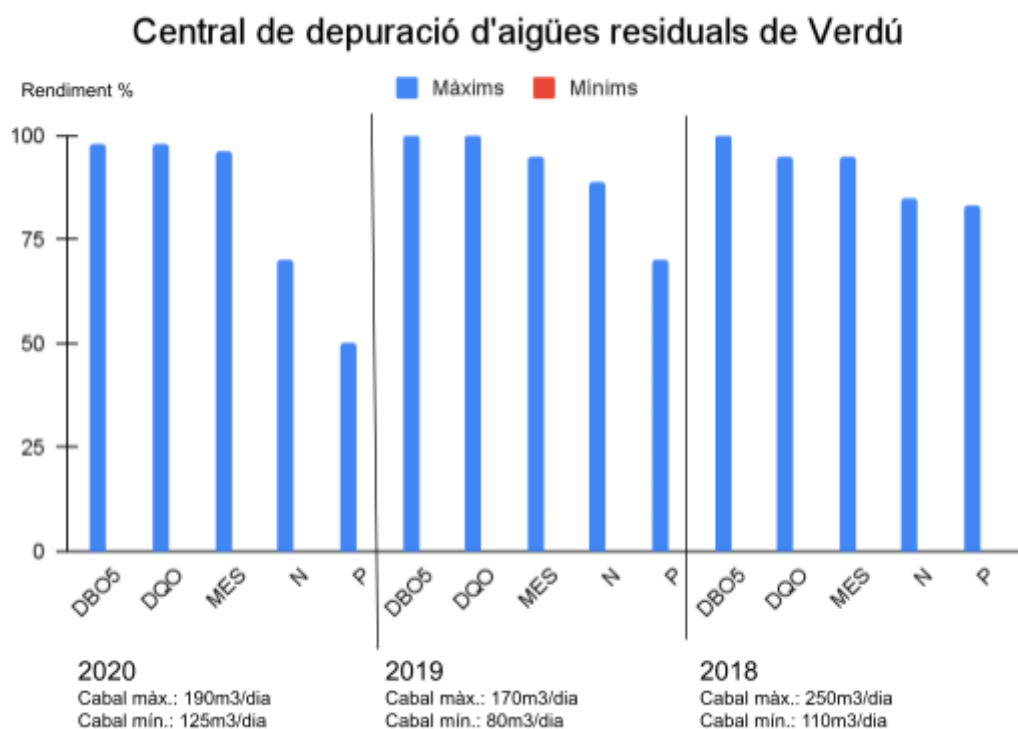
Verdú és un municipi de la comunitat autònoma de Catalunya de la comarca d'Urgell i que té de província Lleida. A més, té una població de 902 habitants (a 2020). El clima a Verdú és mediterrani amb influència continental. La temperatura mitjana anual és de 13°C i 14°C. A l'hivern les temperatures són baixes, de entre 3 i 5°C al gener i a l'estiu les temperatures són molt càlids, entre els 23 i 25°C al juliol encara que les nits poden ser fresques. A més, les precipitacions són normalment escasses, amb mitjanes anuals inferiors als 500 mm.

Per depurar les seves aigües residuals es va posar en marxa a l'any 2001 un sistema d'aiguamolls construïts amb un disseny per a 2000 habitants equivalents. Té 3,28 kilòmetres de col·lectors, una línia de pretractament que consta d'una reixa per a gruixuts (per l'eliminació de substàncies sòlides grans) i una reixa per

a fins (per l'eliminació de substàncies sòlides més petites), té un tractament primari el qual és de tipus fossa sèptica i un tractament secundari el qual són els aiguamolls construïts. Té un total de cinc aiguamolls construïts subsuperficials de flux horitzontal, els quatre primers ocupen cadascun $977m^2$ i l'últim és de dimensions inferiors, amb una superfície de $518m^2$, amb la qual cosa, els aiguamolls ocupen en total $4426m^2$ fent que sigui un dels sistemes d'aiguamolls construïts pel tractament d'aigües residuals més grans de Catalunya.



A continuació es mostra una gràfica, elaborada mitjançant informació extreta de l'Agència Catalana de l'Aigua, del rendiment de l'eliminació dels contaminants tractats en els últims tres anys a la central de depuració d'aigües residuals de Verdú:



Els rendiments màxims de DBO5, DQO i MES en els tres anys són quasi constants, no són inferiors al 90% i quasi arriben al 100%. En quant al nitrogen i fòsfor, els màxims són bastants alts comparat amb els anteriors aiguamolls construïts. En quant als mínims, són nuls perquè aquesta central sembla no ser operatiu en alguns mesos, normalment és operatiu uns tres o, com a molt, cinc mesos.

3.2.2. Anàlisi del rendiment i tipus d'aiguamolls construïts de Catalunya

	Característiques hidràuliques			Característiques biològiques				
Ubicació de les centrals de depuració	Tipus d'aiguamoll	Superfície de l'aiguamoll	Capacitat de tractament	Vegetació	Clima	Pretractament	Tractament primari	Contaminant predominant
Arnes	Dos subsuperficials de flux horitzontal i un de flux superficial	3450 m ² (flux horitzontal) i 5900 m ² (flux superficial)	324m ³ /dia	Phragmites Australis	Precipitacions escasses, estius calorosos i hiverns freds	Reixa per a gruixuts i una altra per a fins	Fossa sèptica	DBO5: 242 mg/l
Gualba	Dos subsuperficials de flux horitzontal	1404m ² cadascuna	207m ³ /dia	Phragmites Australis	Precipitacions de entre 600 i 900mm, estius calorosos i hiverns freds	Reixa per a gruixuts	2 tancs Imhoff (a partir de l'any 2019)	DQO: 500 mg/l
Verdú	Cinc subsuperficials de flux horitzontal	977m ² cadascun dels quatre primers i l'últim de 518 m ²	400m ³ /dia	Phragmites Australis	Precipitacions escasses, estius calorosos i hiverns freds	Reixa per a gruixuts i una altra per a fins	Fossa sèptica	DBO5: 300 mg/l

El contaminant predominant a les aigües d'Arnes i Verdú és el DBO5 i en les de Gualba és el DQO, com aquests contaminants són els que tenen un alt rendiment d'eliminació en aquestes centrals, compleixen amb el seu objectiu. En canvi, el rendiment del nitrogen i fòsfor és molt baix i en el cas d'Arnes és nul, amb la qual cosa, es pot arribar a la conclusió que com a les tres centrals utilitzen únicament aiguamolls de flux subsuperficial horitzontal (menys Arnes que també té un aiguamoll de flux superficial), els aiguamolls subsuperficials de flux horitzontal no estan dissenyades per eliminar nitrogen i fòsfor. Però, com s'explica en el apartat dels aiguamolls híbrids i de l'eliminació de nutrients, es podria arribar a un bon rendiment de l'eliminació de nitrogen utilitzant aiguamolls híbrids perquè amb aquest sistema s'aconsegueix processos aeròbics i anaeròbics amb els quals

s'elimina el nitrogen de l'aigua residual mitjançant la nitrificació (proces aerobi) i desnitrificació (procés anaeròbic).

En els tres aiguamolls s'han utilitzat com a vegetació les *Phragmites Australis*, aquests macròfits són els més comuns i utilitzats als aiguamolls construïts d'Europa. Amb la qual cosa, aquests macròfits s'adapten a les condicions de Catalunya, en aquest cas, per climes amb hiverns freds, estius calurosos, amb precipitacions escasses i aigües residuals amb altes concentracions de DBO5 i DQO.

3.2.2.1. Consideracions per dissenyar un aiguamoll construït

Ahora de dissenyar un aiguamoll construït a Catalunya, s'ha de tenir en compte que hi hauran altes concentracions de DBO5, DQO i MES. A més, els aiguamolls artificials subsuperficials de flux horitzontal no estan dissenyades per eliminar nitrogen i fòsfor, amb la qual cosa, si hi ha altes concentracions de N i P, s'haurà d'utilitzar el sistema d'aiguamolls híbrids.

És recomanable utilitzar com a vegetació les *Phragmites Australis*, les quals, s'adapten a les condicions de Catalunya.

La central de depuració d'aigües residuals d'Arnes està dissenyat per l'equivalent a 1305 persones, s'utilitzen tres aiguamolls i ocupen un total de $9350m^2$. La central de depuració d'aigües residuals de Gualba està dissenyat per l'equivalent a 1.035 persones, s'utilitzen dos aiguamolls i ocupen un total de $2808m^2$. La central de depuració d'aigües residuals de Verdú està dissenyat per l'equivalent a 2000 persones, s'utilitzen cinc aiguamolls i ocupen un total de $4426m^2$. Amb la qual cosa, no és recomanable dissenyar aiguamolls construïts per servir a poblacions de més de 2000 habitants perquè llavors, la superfície total dels aiguamolls seria massa gran perquè podria superar els $10000m^2$ fent que no sigui rendible econòmicament perquè els costos per aconseguir aquesta gran quantitat de terreny i els costos de construcció seria massa grans, sense tenir en compte els costos per millorar les centrals si arriben a tenir un rendiment insuficient a conseqüència que estigui dissenyat per tractar les aigües residuals de una determinada quantitat de persones que sigui inferior a la quantitat d'habitants de la comarca per un increment d'habitants de la comarca.

4. Conclusions i reflexions

Durant el procés de recerca he après molt sobre què són exactament els aiguamolls construïts, els diferents tipus d'aiguamolls, com funcionen per depurar les aigües residuals, els factors que influeixen en el seu rendiment i les condicions per l'implementació d'aquests sistemes naturals. Aquesta recerca m'ha permès realitzar l'anàlisi del rendiment dels tres aiguamolls construïts escollits perquè m'ha permès realitzar la recerca de les dades que necessitava per fer l'anàlisi i comprendre i saber interpretar aquestes dades.

Amb aquestes dades va ser possible fer l'anàlisi i es pot arribar a la conclusió que en municipis de Catalunya amb una població de entre 100 i 2000 habitants és viable l'implementació d'aiguamolls construïts ja que amb l'anàlisi del rendiment de depuració de les tres centrals que utilitzen aiguamolls construïts es pot veure que tenen un rendiment quasi constant i alt d'eliminació de DBO5, DQO i MES que es manté sempre superior del 75% però tenen un baix rendiment d'eliminació de nitrogen i fòsfor ja que aquestes centrals utilitzen aiguamolls subsuperficials, els quals no estan dissenyats per eliminar aquests contaminants.

4.1. La viabilitat de la construcció d'un aiguamoll construït en el terme municipal de Terrassa

L'implementació d'aiguamolls construïts per la depuració de les aigües residuals de tot el terme municipal de Terrassa no és viable en qüestions econòmiques perquè hi ha un total de 223.627 habitants (a 2020), això fa que per depurar les aigües residuals que produeixen aquesta quantitat de persones s'hauria de fer una gran quantitat d'aiguamolls construïts que abarcarien més de $20000m^2$. Amb la qual cosa, s'haurien de fer una quantitat d'inversions massa gran per aconseguir el terreny necessari i per la construcció.

No obstant això, és viable si es dissenya per depurar una petita part de les aigües residuals del municipi de Terrassa, com per exemple l'equivalent a 1000 habitants. A més, hi ha rius a prop del municipi que poden servir com a punt d'abocament de les aigües, com per exemple la Riera de les Arenes. A més, donarà un major valor ambiental i paisatgístic.

5. Bibliografia

Arteaga Cortez, V. (2018) Propuesta metodológica para la construcción de humedales artificiales. Recuperat de <https://www.biopasos.com/biblioteca/Propuesta-metodologica-construccions-humedales-artificiales.pdf>

Andreo Martínez, Pedro (12-01-2015). *Evaluación y diseño de un humedal construido para la depuración de aguas residuales domésticas*. Recuperado de <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/42326>

Agencia Catalana del Agua (2014) ¿Conoces los sistemas de humedales construidos de Cataluña? iagua. Recuperado de <https://www.iagua.es/noticias/espana/agencia-catalana-agua/14/10/21/conoces-sistemas-humedales-construidos-cataluna>

Arias I., Carlos A., Brix, Hans Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Ciencia e Ingeniería Neogranadina (2003) Recuperat de <https://www.redalyc.org/pdf/911/91101302.pdf>

Biohabitats (2016) <https://www.biohabitats.com/newsletter/decentralized-wastewater-treatmentreuse/expert-qa-with-michael-ogden/>

Biotechnología: nitrificación y desnitrificación (14 de febrer de 2015). Recuperat de https://www.depuradoras.es/blog/265_biotechnologia-nitrificacion-y-desnitrificacio

Buono Arzuaga, L i Origoni Galiazzo, M (2014). Tecnologías sostenibles en relación a los mega-eventos. Recuperado de <http://www.fadu.edu.uy/tesinas/files/2015/07/TESINA-Tecnolog%C3%ADas-sostenibles.pdf>

Biohabitats. *Cold Climate Constructed Wetlands*. Recuperat de <https://www.biohabitats.com/wp-content/uploads/ColdClimateConstructedWetlands.pdf>

Dra. Heike Hoffmann, Dr.-Ing. Christoph Platzter, Dra.-Ing. Martina Winker, Dra. Elisabeth von Muench (2011) *Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas*. Data de visualització: 14-08-2021 <https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/Revision-Tecnica-de-Humedales-Artificiales.pdf>

ElZein, Z., Abdou, A. i Abd ElGawad, I. (2016) *Constructed Wetlands as a Sustainable Wastewater Treatment Method in Communities*. Recuperat de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029616300755>

El-Refaie, G. (2010) *Temperature impact on operation and performance of Lake Manzala Engineered Wetland, Egypt*. Recuperat de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209044791000002X>

Felipe Fernández, Luis (2017). Historia de los humedales artificiales para depuración de aguas. Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/luis-felipe-fenandez-fernandez/historia-humedales-artificiales-depuracion-aguas-0>

Gorgoglione, A. i Torretta, V. (2018) *Sustainable Management and Successful Application of Constructed Wetlands: A Critical Review*. Recuperat de <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/11/3910/htm>

Hans, B. i Carlos A. Arias I. (2003). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5313926>

Haiming, W., Jian, Z., Huu Hao, N., Wenshan, G., Zhen, H., Shuang, L., Jinlin, F. i Hai, L. (2015) *A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation*. Recuperat de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852414014904>

José Salas, J. (2018) Introducción a los Humedales Artificiales como tratamiento de las aguas residuales. Iagua. Recuperat de <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/introduccion-humedales-artificiales-como-tratamiento-aguas-residuales>

José Obiols (2014). Qué son las tecnologías sostenibles y cómo ayudan al progreso. Recuperado de <https://www.inacatalog.com/blog/desarrollo-sostenible-y-nuevas-tecnologias>

J Welz, P. (2015) *Treatment of winery wastewater in unplanted constructed wetlands*. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/295911870_Treatment_of_winery_waste_water_in_unplanted_constructed_wetlands

Jan Vymazal (2010) *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment* Recuperado de <https://www.mdpi.com/2073-4441/2/3/530>

Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández (2008). Depuración con Humedales Construidos: Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial. Recuperado de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/2474/JGarcia_and_ACorzo.pdf;sequence=1

Kennedy, G. i Mayer, T. (2002) *Natural and Constructed Wetlands in Canada: An Overview*. Recuperat de <https://iwaponline.com/wqrj/article/37/2/295/39455/Natural-and-Constructed-Wetlands-in-Canada-An>

María Alejandra Maine, Gabriela Cristina Sánchez, Hernán Ricardo Hadad, Sandra Ester Caffaratti, María del Carmen Pedro, Gisela Alfonsina Di Luca, María de las Mercedes Mufarrege (2016). *Humedales construidos para tratamiento de efluentes de industrias metalúrgicas en Santa Fe, Argentina*. Recuperado de <http://revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/1146/1050>

Mateu Romero, B. (2015) *Estudio y dimensionado experimental de humedales artificiales para la mejora de la calidad de aguas de cursos fluviales eutrofizados*. Recuperat de <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2712/1/Mateu%20%20Romero%2C%20Cristian%20Borja.pdf>

Matamoros, V i M. Bayona, J (2007). *Els aiguamolls construïts: una tecnologia sostenible per a l'eliminació de fàrmacs i productes d'higiene personal d'aigües residuals domèstiques*. Departament de Química Ambiental IIQAB-CSIC. p 21-28
Recuperado de <https://www.raco.cat/index.php/RevistaSCQ/article/view/153549/205448>

Md Saat, S. (2006) *Subsurface flow and free water surface flow constructed wetland with magnetic field for leachate treatment*. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/49909821_Subsurface_flow_and_free_water_surface_flow_constructed_wetland_with_magnetic_field_for_leachate_treatment

Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis Fernando Pérez i Mauricio Andrade (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
Data de visualització: 23-06-2021

Rabat Blázquez, J (2016) *Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración*. Recuperado de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/57213/1/Analisis_de_los_modelos_de_diseño_de_los_sistemas_na_Rabat_Blazquez_Jorge.pdf

Data de visualització: 19-07-2021

Song, X., Magnus Ehde, P. i Weisner, S. (2019) *Effects of Water Depth and Phosphorus Availability on Nitrogen Removal in Agricultural Wetlands*. Recuperat de <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/12/2626/htm>

Stefanakis I., A. (2016) *Constructed Wetlands: Description and Benefits of an Eco-Tech Water Treatment System*. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/283046086_Constructed_Wetlands_Description_and_Benefits_of_an_Eco-Tech_Water_Treatment_System

Samsó Campà, R y García Serrano, J. (novembre de 2011). Modelització dels processos físics, químics i biològics en aiguamolls construïts per al tractament d'aigües. Recuperat de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/11637>

Salas Rodríguez, J., Pidre Bocardo, J. i Sánchez Fernández, L. (2007). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales capítulo IV: Humedales Artificiales*