

Document downloaded from:

<http://hdl.handle.net/10251/136751>

This paper must be cited as:

Villegas Vélez, MB. (2019). Evaluación de la tratabilidad de aguas residuales de industria vinícola a escala laboratorio mediante filtros intermitentes de arena.
<http://hdl.handle.net/10251/136751>



The final publication is available at

Copyright Universitat Politècnica de València

Additional Information

Trabajo Fin de Máster

EVALUACIÓN DE LA TRATABILIDAD DE AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIA VINÍCOLA A ESCALA LABORATORIO MEDIANTE FILTROS INTERMITENTES DE ARENA.

Intensificación: TRATAMIENTO DE AGUAS

Autor:

MARÍA BELÉN VILLEGAS VÉLEZ

Tutor:

DRA. CARMEN HERNÁNDEZ CRESPO

Cotutor:

DR. MIGUEL MARTÍN MONERRIS

NOVIEMBRE, 2019



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma



Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título del TFM en español: Evaluación de la tratabilidad de aguas residuales de industria vinícola a escala laboratorio mediante filtros intermitentes de arena.

Título del TFM en inglés: Treatability assessment of sewage from the wine industry at laboratory scale through intermittent sand filters

Título del TFM en Valenciano: Avaluació de la tractabilitat d'aigües residuals d'indústria vinícola a escala laboratori mitjançant filtres intermitents de sorra.

Alumno: MARÍA BELÉN VILLEGAS VÉLEZ

Tutor: DRA. CARMEN HERNÁNDEZ CRESPO

Cotutor/es: DR. MIGUEL MARTÍN MONERRIS

Fecha de Lectura: NOVIEMBRE 2019

Resumen

En español (máximo 5000 caracteres)

Europa es el continente donde existe la mayor producción de vino en el mundo, ya que presenta una mayor superficie de viñedo con respecto a los demás continentes, siendo Italia el primer productor mundial de vino en el 2015 seguido de Francia. En el 2018 España se encuentra entre los tres primeros del ranking mundial de producción en la industria vitivinícola, situándose con una producción de 44 millones de hectolitros lo que corresponde al 15% de la producción en el mundo. El sector vitivinícola supone un 1% de producto interno bruto español. En España se encuentran alrededor de 4.093 bodegas lo cual genera un sistema económico dinámico.

Durante la elaboración del vino, las bodegas generan agua residual que contienen cargas contaminantes variables. Esta generación de agua residual en industrias vitivinícolas

proviene de diferentes actividades desarrolladas en cada proceso. En el caso de bodegas que realicen únicamente el embotellado, la producción de agua residual es relativamente constante durante el año y se caracteriza por una alta concentración de DQO entre (10000-15000) mg/l y bajada de sólidos entre (3000-5000) mg/l. En contraste, aquellas bodegas que llevan a cabo la producción de vino tienen un pico de generación de agua residual coincidiendo con la época de producción tras la vendimia. En este caso, se trata de agua residual con una concentración de DQO y SST mucho mayor, del orden de dos a cuatro veces la generada en la fase de embotellado.

Actualmente se emplean varias técnicas para el pretratamiento y tratamiento de las aguas residuales provenientes de bodegas. Normalmente bodegas con grandes instalaciones disponen de sistemas de tratamiento de las aguas residuales basados en sistemas aerobios y anaerobios. Los tratamientos anaerobios son económicos y eficaces con respecto a los tratamientos aerobios. Sin embargo, para las instalaciones pequeñas la explotación y mantenimiento de este tipo de sistema de depuración se muestra complejo y difícil de mantener. El empleo de tecnologías naturales o biotratamientos para la depuración, como son los humedales artificiales representa una alternativa a estudiar para este tipo de instalación. Son pocos los casos de estudio, pero ya existen algunos buenos ejemplos en España.

El presente trabajo final de máster tiene como objetivo evaluar la viabilidad de un sistema basado en humedales artificiales para tratar el agua residual bruta generada en bodegas vinícolas.

Para ello se plantea operar un sistema compuesto de dos filtros de arena a escala laboratorio con agua tipo facilitada por una bodega interesada en este tipo de tecnologías, que son un paso previo para el diseño e implementación de humedales artificiales. Se determinarán los ciclos y combinaciones necesarias para obtener unos niveles de materia orgánica aceptables, que permitan la reutilización del agua en la propia instalación, ya sea para riego o limpieza, así como las etapas necesarias para poder cumplir los requisitos de vertido, en el caso de que se produjera un excedente que fuera necesario evacuar de la instalación.

En valenciano (máximo 5000 caracteres)

Europa és el continent on hi ha la major producció de vi en el món, ja que presenta una major superfície de vinya respecte als altres continents, sent Itàlia el primer productor mundial de vi en el 2015 seguit de França. En el 2018 Espanya es troba entre els tres primers del rànquing mundial de producció en la indústria vitivinícola, situant-se amb una producció de 44 milions d'hectolitres el que correspon al 15% de la producció en el món. El sector vitivinícola suposa un 1% de producte intern brut espanyol. A Espanya es troben al voltant de 4.093 cellers la qual cosa genera un sistema econòmic dinàmic.

Durant l'elaboració del vi, els cellers generen aigua residual que contenen càrregues contaminants variables. Esta generació d'aigua residual en indústries vitivinícoles prové de diferents activitats exercides en cada procés. En el cas de cellers que realitzen únicament l'embotellat, la producció d'aigua residual és relativament constant durant l'any i es caracteritza per una alta concentració de DQO entre (10000-15000) mg/l i baixada de solguts entre (3000-5000) mg/l. En contrast, aquells cellers que duen a terme la producció de vi tenen un pic de generació d'aigua residual coincidint amb l'època de producció després de la verema. En este cas, es tracta d'aigua residual amb una concentració de DQO i SST molt major, de l'orde de dos a quatre vegades la generada en la fase d'embotellat.

Actualment s'empren diverses tècniques per al pretractament i tractament de les aigües residuals provinents de cellers. Normalment cellers amb grans instal·lacions disposen de sistemes de tractament de les aigües residuals basats en sistemes aerobis i anaerobis. Els tractaments anaerobis són econòmics i eficaç respecte als tractaments aerobis. No obstant això, per a les instal·lacions xicotetes l'explotació i manteniment d'este tipus de sistema de depuració es mostra complex i difícil de mantindre. L'ocupació de tecnologies naturals o biotratamientos per a la depuració, com són els aiguamolls artificials representa una alternativa a estudiar per a este tipus d'instal·lació. Són pocs els casos d'estudi, però ja hi ha alguns bons exemples a Espanya.

El present treball final de màster té com a objectiu avaluar la viabilitat d'un sistema basat

en aiguamolls artificials per a tractar l'aigua residual bruta generada en cellers vinícoles. Per a això es planteja operar un sistema compost de dos filtres d'arena a escala laboratori amb aigua tipus facilitada per un celler interessada en este tipus de tecnologies, que són un pas previ per al disseny i implementació d'aiguamolls artificials. Es determinaran els cicles i combinacions necessàries per a obtindre uns nivells de matèria orgànica acceptables, que permeten la reutilització de l'aigua en la pròpia instal·lació, ja siga per a reg o neteja, així com les etapes necessàries per a poder complir els requisits d'abocament, en el cas que es produïra un excedent que fóra necessari evacuar de la instal·lació.

En inglés (máximo 5000 caracteres)

Europe is the continent where there is the largest production of wine in the world, as it has a greater area of vineyards compared to other continents, with Italy being the first world wine producer in 2015 followed by France. In 2018, Spain is among the top three in the world production ranking in the wine industry, with a production of 44 million hectoliters, which corresponds to 15% of the world's production. The wine sector accounts for 1% of Spanish gross domestic product. In Spain there are around 4,093 wineries which generates a dynamic economic system.

During winemaking, wineries generate wastewater that contains variable pollutant loads. This generation of wastewater in wine industries comes from different activities developed in each process. In the case of wineries that only carry out bottling, wastewater production is relatively constant during the year and is characterized by a high Chemical Organic Demand (COD) and Total Suspended Solids (TSS) concentrations, 10000-15000 mg/l and 3000-5000 mg / l respectively. In contrast, those wineries that carry out wine production have a peak of wastewater generation coinciding with the time of production after the harvest. In this case, the wastewater has higher COD and OSH (indica que significan las siglas) concentration, in the order (no se si exactamente existe esta expresión en inglés, pero en todo caso me pega más con in) of two to four times that generated in the bottling phase.

Several techniques are currently used for pretreatment and treatment of wastewater from warehouses. Normally, warehouses with large facilities have wastewater treatment systems based on aerobic and anaerobic systems. Anaerobic treatments are economical and effective in these cases. However, for small installations the operation and maintenance of this type of purification system is complex and difficult to maintain. The use of natural technologies or biotreatments for purification, such as artificial wetlands, represents an alternative to study for this type of installation. There are few studies about these alternatives, although in Spain we have some good examples yet.

The purpose of this final master's project is to evaluate the viability of a system based on artificial wetlands to treat the wastewater generated in wine cellars.

To this end, it is proposed to operate a system composed of two sand filters at laboratory scale with water provided by a winery interested in this type of technologies. This kind of studies are a preliminary step for the design and implementation of artificial wetlands. The cycles and combinations necessary to obtain acceptable levels of organic matter will be determined. This treated water could be reused in the cellar facilities, for irrigation or cleaning. Also in this study it was determined the number of necessary steps to meet the discharge requirements, in the case that there was a surplus that would be necessary to evacuate from the facility.

Palabras clave español (máximo 5): Humedal artificial, DQO, filtros de arena, bodega, tratamiento de aguas

Palabras clave valenciano (máximo 5): d'aiguamolls artificials, DQO, filtres d'arena, celler, tractament de aigües.

Palabras clave inglés (máximo 5): Wetland, COD, sand filter, winery, treatment wastewater,

m



ÍNDICE

1.INTRODUCCION	7
1.1 Sector del vino	7
1.2 Proceso productivo del vino	7
1.2.1 Generación de agua residual vinícola	9
1.3 Impacto Ambiental	10
1.3.1 Alternativas de depuración	11
2.OBJETIVOS	23
2.1 Objetivo General	23
2.2 Objetivos Específicos	23
3.ESTADO DEL ARTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIA VINÍCOLAS	25
3.1 Tecnologías extensivas de aguas residuales	26
4.MATERIALES Y METODOS	29
4.1 Materiales	29
4.2 Métodos	32
4.2.1 Configuración del sistema de tratamiento	32
4.2.2 Determinación de Carga hidráulica superficial y orgánica	34
4.2.3 Volumen de vaciado	35
4.2.4 Fase 1 - Columna 1 (C1)	35
4.2.5 Fase 2 - Columna 1 y 2 (C1 y C2)	36
4.2.6 Fase 3	37
5.RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
5.1 Características del influente	39
5.2 FASE 1	40
5.2.1 Velocidad de volumen de vaciado	40
5.2.2 Carga hidráulica	41



5.2.3	Carga orgánica superficial.....	41
5.2.4	Concentraciones afluente y efluente Fase 1.....	42
5.3	FASE 2.....	47
5.3.1	Velocidad de volumen de vaciado.....	47
5.3.2	Carga hidráulica.....	49
5.3.3	Carga orgánica superficial.....	50
5.3.4	Concentraciones afluente y efluente C1 y C2 - Fase 2.....	50
5.4	FASE 3.....	57
5.4.1	Velocidad de volumen de vaciado.....	57
5.4.2	Carga hidráulica.....	59
5.4.3	Carga orgánica superficial.....	59
5.4.4	Concentraciones afluente y efluente C1 y C2 - Fase 3.....	60
6.	CONCLUSIONES.....	63
7.	REFERENCIAS.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Proceso de elaboración de vino	8
Tabla 2 Efluentes en bodega vinícola	9
Tabla 3 Característica de un efluente de bodega vinícola.....	9
Tabla 4 Comparativa entre dos bodegas vinícolas con mismo proceso productivo	10
Tabla 5 Eliminación de principios por HA.....	17
Tabla 6 Clasificación de los HA	18
Tabla 7 Proyectos implantados con sistemas extensivos	27
Tabla 8 Materiales y procedimiento DQO	31
Tabla 9 Materiales y procedimiento sólidos	32
Tabla 10 Caracterización del medio granular de la columna.....	34
Tabla 11 Características del influente	39
Tabla 12 Velocidad de vaciado Fase 1	40
Tabla 13 CHS - Fase 1	41
Tabla 14 COS - Fase 1	42
Tabla 15 Variación de [DQO]mg/l C1 Fase 1	42
Tabla 16 Variación de [SST]mg/l C1 Fase 1	43
Tabla 17 Variación de masa Fase 1	45
Tabla 18 Evaporación en Fase 1	46
Tabla 19 Velocidad de vaciado C1 - Fase 2	47
Tabla 20 Velocidad de vaciado C2 - Fase 2	48
Tabla 21 CHS - Fase 2	49
Tabla 22 COS - Fase 2	50
Tabla 23 Variación de [DQO]mg/l C1 y C2 - Fase 2	51
Tabla 24 Variación de [DQO]mg/l por columna C1 y C2 – Fase2	53
Tabla 25 Variación de [SS]mg/l – Fase 2	54
Tabla 26 Evaporación en Fase 2	55
Tabla 27 Evaporación en Fase 2	55
Tabla 28 Velocidad de vaciado C1 - Fase 3	57
Tabla 29 Velocidad de vaciado C2 - Fase 3	58
Tabla 30 CHS - Fase 3	59



Tabla 31 COS - Fase 3	60
Tabla 32 Variación de [DQO]mg/l Fase 3	60
Tabla 33 Variación de [SST]mg/l Fase 3	62
Tabla 34 Evaporación en Fase 3	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Bodegas españolas según el D.I.R.C.E. (2018)	7
Figura 2 Ventaja y desventaja de un sistema extensivo.	12
Figura 3 Humedal Artificial	17
Figura 4. Arena para la planta piloto del HA	29
Figura 5. Gravilla para la planta piloto del HA.....	30
Figura 6. Aspecto Visual del efluente	30
Figura 7. Balanza digital	31
Figura 8. Representación esquemática de la columna (filtro de arena)	33
Figura 9. Muestra de medio granular: a) arena fina, b) grava fina	34
Figura 10. Representación esquemática de la fase 1	36
Figura 11. Representación esquemática de la fase 2	37
Figura 12. Representación esquemática de la fase 3	38
Figura 13. Velocidad de vaciado Fase 1	41
Figura 14. Foto de afluente y efluente Fase 1.	43
Figura 15. Variación de [SST] mg/l Fase 1	44
Figura 16. Variación de [DQO] mg/l Fase 1	44
Figura 17. Variación de masa Fase 1	45
Figura 18. Variación de %rendimiento Fase 1	46
Figura 19. Velocidad de vaciado C1- Fase 2	48
Figura 20. Velocidad de vaciado C2 - Fase 2	49
Figura 21. Representación del experimento 1 en la Fase 2	52
Figura 22. Variación de [DQO] - Fase 2	53
Figura 23. Foto de afluente y efluente en C1 y C2 - Fase 2.	54
Figura 24. Variación de %rendimiento Fase 2	56
Figura 25. Velocidad de vaciado C1 - Fase 3	58
Figura 26. Velocidad de vaciado C2 - Fase 3	59
Figura 27. Variación de DQO (mg/l) Fase 3	61
Figura 28. Columnas necesarias para disminuir DQO (mg/l) Fase 3	62



Capítulo 1. INTRODUCCION

1.1 Sector del vino

En el continente europeo es donde existe la mayor producción de vino en el mundo, ya que presenta una mayor superficie de viñedo con respecto a los demás, siendo Italia el primer productor mundial de vino en el 2017 seguido de Francia y España; según (OIV, 2018). Por otro lado, según los cálculos de la OIV en el 2018, el continente americano registra una disminución en la superficie del viñedo en los años 2017 y 2018.

En el 2018 España se encuentra entre los tres primeros del ranking mundial de producción en la industria vitivinícola, situándose con una producción de 44 millones de hectolitros lo que corresponde al 15% de la producción en el mundo (OIV, 2018). El sector vitivinícola supone un 1% de producto interno bruto español. En España en base a los datos del Directorio central de empresas (D.I.R.C.E., 2018) existen alrededor de 4.373 bodegas lo cual genera un sistema económico dinámico ver figura 1.



Figura 1 Bodegas españolas según el D.I.R.C.E. (2018)

1.2 Proceso productivo del vino

En el proceso para la elaboración de vino se lleva a cabo por etapas entre las fases que se desarrolla en la bodega son las siguientes (De la Varga, 2014; Quintano et al, 2016):

Tabla 1 Proceso de elaboración de vino



VENDIMIA

Cosecha de la uva tradicionalmente se lo realiza en España en los meses de (Sep-Oct)

Una vez recogidos se los pesa y toma las muestras.



DESPALILLADO Y ESTRUJADO

Tras la vendimia se procede al despallado que es 100% manual.

Se separan las uvas de la parte verde del racimo.

En la estrujadora rasga el hollejo liberando la pulpa que contiene el mosto y las pepas del interior.



MACERACIÓN.

En la maceración se une la parte sólida de la uva de manera que se extrae de los hollejos el potencial aromático y gustativo de la uva.



PRENSADO

El producto sólido de la fermentación aun contiene grandes cantidades de vino por lo que es sometido a prensado, para extraer el mosto de la uva.



FERMENTACIÓN MALOLAICA

En las fermentación alcohólica el azúcar del mosto se transforma en alcohol etílico mediante la acción de levadura.

Es en proceso esencial para que el vino sea una bebida con alcohol.



TRASIEGO

Proceso en el cual el vino se cambia varias veces de recipiente con el fin de airear y eliminar sedimentos sólidos.



FILTRADO

Proceso en el que se elimina los sedimentos en el vino.

El vino queda perfectamente limpio para su embotellamiento.



EMBOTELLADO

Se embotella el vino y se lo envejece en donde el vino se estabiliza y los aromas y propiedades van adquiriendo en la bodega se equilibran.

1.2.1 Generación de agua residual vinícola

En el proceso de la elaboración de vino el agua es la fuente más afectada, el cual soporta la principal contaminación de la industria vinícola a lo largo del proceso sobre todo en operaciones de limpieza; existe una serie de procesos en las cuales se generan los efluentes (tabla 2) (De la Varga, 2014; Rodriguez, y otros, 2004).

Tabla 2 Efluentes en bodega vinícola

PROCESO	GENERACIÓN DE EFLUENTE
Recepción de la uva	Limpieza de la tolva de recepción
Despalillado y estrujado	Limpieza de despalilladora y estrujadora
Prensado	Limpieza de prensa
Fermentación	Limpieza de depósitos, bombas, tuberías
Trasiego	Limpieza de barricas
Filtrado	Limpieza de filtros
Embotellado	Aclarado de botellas y equipo
Todas las etapas	Limpieza de derrames y fugas de mosto o vino

En la actividad de la producción de vino se generan aguas residuales con alto contenido de carga orgánica que no pueden ser vertidos directamente a un cause (medio receptor o lago) ya que por poseer una alta demanda de oxígeno ocurriría graves desajustes en el mismo reduciéndolo hasta niveles en el que no existiría vida piscícola. Las principales características para este tipo de efluentes de bodegas vinícolas son:

Tabla 3 Característica de un efluente de bodega vinícola

Características	Rango	Fuentes
Carga orgánica (DQO)	(10000-15000) mg O ₂ /l	(De la Varga, 2014; Andrades, 2008)
	(500-45000) mg O ₂ /l	(Petruccioli et al 2002; Shepherd et al 2001; Masi F. et al 2002)
	(17000-27000) mg O ₂ /l	(Andrades, 2008)
	(10000-35000) mg O ₂ /l	Según estudio de CEMAGREF en Francia
	7642 mg O ₂ /l	(De la Varga, 2014)
	12000 mg O ₂ /l	(Serrano, 2012)
Solidos suspendidos totales (SST)	(>1000) mg/l	(De la Varga, 2014)
	(100-600) mg/l	Según estudio de CEMAGREF en Francia

Estas cargas orgánicas y sólidos que se representan en la tabla 3 varían en base a la actividad que se realiza en la bodega (vendimia, trasiego, embotellado...), de la tecnología y maquinaria y del vino a producir (blanco, tinto, u otros licores). Los valores más altos de los rangos son valores que corresponden a valores pico de concentración más no a valores medios.

1.3 Impacto Ambiental

Durante el proceso de elaboración del vino, las bodegas generan agua residual que contienen cargas contaminantes variables. Esta generación de agua residual vitivinícola proviene de diferentes actividades desarrolladas en cada proceso, mismas actividades que implican notables comportamientos medioambientales (Duarte, 2004; Petruccioli M., 2002). Durante el año esta agua residual varía en base a la carga contaminante y al caudal esto se debe al periodo de trabajo y tipo de vino (vino tinto, blanco entre otros), así como también a la preocupación por el ahorro de agua y prevención de la contaminación (WETWINE, N°1, 2017).

Según De la Varga (2014) la generación de las aguas residuales depende de la política de consumo de agua, tomando en cuenta que dos bodegas que produzcan el mismo tipo de vino generarán diferentes volúmenes de agua residual y carga orgánica ver tabla 4.

Tabla 4 Comparativa entre dos bodegas vinícolas con mismo proceso productivo

Bodega	Fecha de muestreo	Cantidad de uvas procesadas durante el período de vendimia (T)	Volumen de agua consumida (m ³)	Materia orgánica generada mensualmente (kg DQO/mes)	Materia orgánica generada por tonelada de uva (kg DQO/T uva)	Volumen de agua consumida por tonelada de uva (m ³ agua/T uva)
1	Septiembre	17,130,89	2,000,00	16,450,00	0,96	0,12
	Octubre		2,500,00	26,025,00	1,52	0,15
	Noviembre		2,000,00	17,160,00	1,00	0,12
	Total				3,48	0,38
2	Septiembre	3,800,00	600,00	6,221,10	1,64	0,16
	Octubre		1,000,00	12,152,50	3,2	0,26
	Noviembre		800,00	6,161,60	1,62	0,22
	Total				6,46	0,64

Fuente: Grupo Aema (De la Varga, 2014)

Estas aguas residuales generadas en las bodegas son una fuente significativa de contaminación ambiental, a pesar de que no contienen tóxicos si presentan grandes concentraciones de carga orgánica pudiendo ser este un causante del fenómeno de eutrofización si se lo vierte a cauces (ASEVEX, 2009).

Actualmente se emplean varias técnicas para el pretratamiento y tratamiento de las aguas residuales provenientes de bodegas, aunque existe carencia de la gestión adecuada de estas aguas en muchas de ellas (Serrano et al., 2011; WETWINE, Nº1, 2017). Normalmente bodegas con grandes instalaciones disponen de sistemas de tratamiento de las aguas residuales basados en sistemas aerobios y anaerobios.

Los tratamientos anaerobios son económicos y eficaces con respecto a los tratamientos aerobios. Sin embargo, para las instalaciones pequeñas la explotación y mantenimiento de este tipo de sistema de depuración se muestra complejo y difícil de mantener. El empleo de tecnologías naturales o bio-tratamientos para la depuración, como son los humedales artificiales representa una alternativa a estudiar para este tipo de instalación (Shepherd, 2001). Son pocos los casos de estudio, pero ya existen algunos buenos ejemplos en España (WETWINE, Nº1, 2017; WETWINE, Nº2, 2018; EIP-AGRI, 2019).

1.3.1 Alternativas de depuración

Entre las alternativas de depuración de bajo coste económico y eficaz tenemos a los sistemas de depuración no convencionales.

Una alternativa viable para el sistema de tratamiento de aguas residuales para pequeñas poblaciones son las tecnologías extensivas. Estas tecnologías actúan con bajo impacto ambiental, logrando así una reducción de carga contaminante con bajo costos de operación (velocidades naturales sin aporte de energía y en un único sistema de tratamiento) a diferencia de los sistemas tratamientos convencionales en la que los procesos transcurren de manera secuencial en tanques y reactores (velocidades aceleradas gracias al aporte de energía) (MDARU, 2008).

Los sistemas extensivos, naturales o no convencionales se basan en procesos naturales interaccionando componentes del medio (agua, suelo y plantas), con o sin ningún recurso al consumo de energía con el uso de áreas más grandes de implementación, teniendo en cuenta que la desventaja es que ocupan una gran superficie de terreno (Santos & Brito, 2001; Berland J.(OIEau), 2001).

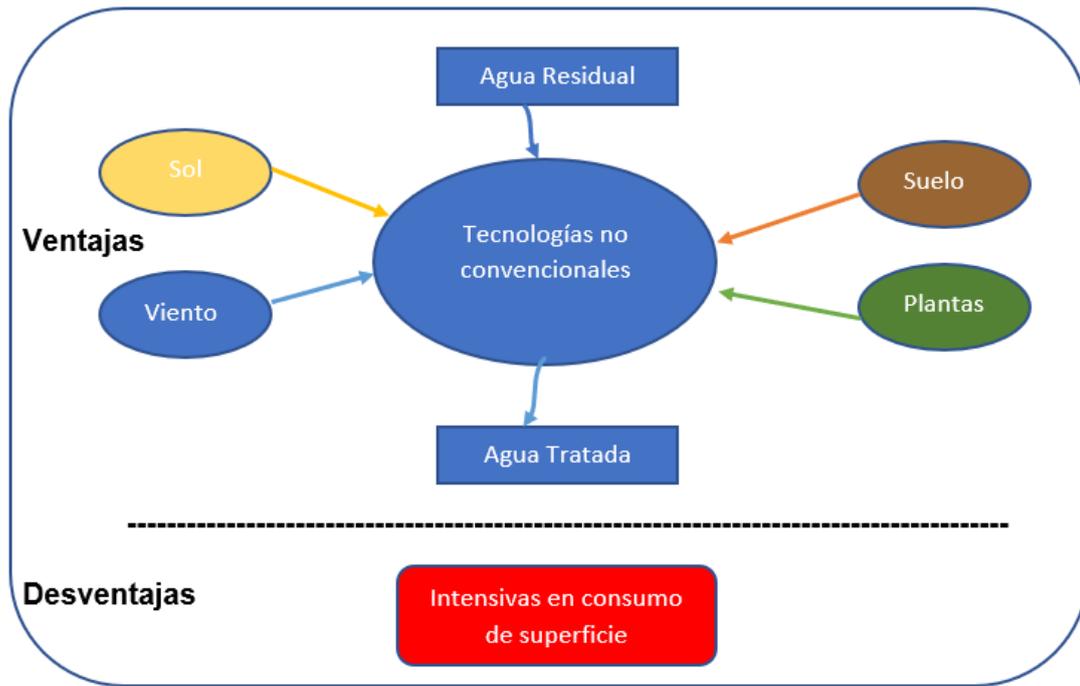


Figura 2 Ventaja y desventaja de un sistema extensivo.

Los sistemas de tratamiento extensivos (no convencionales) pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Sistemas de depuración con el empleo del suelo:
 - ✓ Sistemas superficiales: Filtros verdes.
 - ✓ Sistemas subsuperficiales: Lechos filtrantes, zanjas filtrantes, filtros intermitentes de arena.
- Sistemas de depuración que simulan condiciones propias a los humedales naturales:
 - ✓ Humedales artificiales de flujo libre.
 - ✓ Humedales artificiales de flujo subsuperficial.
- Sistemas de depuración que imitan los procesos que se dan en lagos y ríos:
 - ✓ Lagunaje

A continuación, se van a describir cada uno de los sistemas mencionados en la anterior clasificación.

1.3.1.1 Sistemas de depuración con el empleo de suelo

Las aguas residuales atraviesan mediante de manera vertical un sustrato filtrante (suelo), sobre el cual se desarrolla una película bacteriana la cual se mantiene sin saturar y en condiciones aerobias gracias a que los filtros actúan de manera discontinua. Entre los mecanismos depuradores que se desarrollan son la filtración, adsorción y oxidación biológica.

La clasificación de los filtros en base a sistemas superficial y subsuperficial es el siguiente (MDARU, 2008):

- **Filtros verdes**

Son sistemas de tratamiento superficial se desarrollan en terrenos con vegetación (especie forestal) en donde se aplica el agua residual a tratar y se consigue de manera conjunta la depuración del agua y el crecimiento de la vegetación implantada.

Con este sistema no se puede reutilizar las aguas depuradas de manera inmediata ya que mientras el agua residual percola por el terreno, un inconveniente es que mientras se percolan pueda que el efluente filtrado acabe uniéndose con las masas subterráneas.

Ventajas e inconvenientes

Ventajas

- Sencillez operativa debido a la explotación y mantenimiento se limitan a la retirada de residuos del pretratamiento.
- Inexistencia de averías al carecer de equipos mecánicos.
- Se opera sin ningún consumo energético.
- No se producen lodos en el proceso depurador.
- En la depuración alcanza rendimientos muy elevados (Sólidos Suspendidos, materia orgánica, nutrientes y patógenos).

Inconvenientes

- Exigen una gran superficie de terreno para la implementación, que sean de fácil capacidad de filtración y no presenten acuíferos cercanos.

- **Zanjas filtrantes**

La aplicación de estos tratamientos se desarrolla en sistemas de forma subsuperficial, en donde los efluentes proceden de fosas sépticas o tanques Imhoff se los lleva a través de zanjas donde permiten la dispersión de las aguas y se depuran mientras se van percolando por el terreno.

- **Lechos filtrantes**

Este sistema se desarrolla con lechos de grava excavados alimentadas con tuberías perforadas de esta manera la disposición del agua a través de la superficie filtrante va depurando el agua.

- **Filtros intermitentes de arena (FIA)**

Los filtros intermitentes de arena tienen un lecho de filtración, la arena es el medio más comúnmente usado. La superficie del lecho dosifica en forma intermitente con afluente, el cual se percola en un paso simple hasta el fondo del filtro a través de la arena, donde el efluente es conducido a una tubería para tratamiento adicional o para su disposición. Los FIA remueven los contaminantes del agua residual mediante sistemas de tratamiento físico, químicos y biológicos. Los sistemas fisicoquímicos tienen un importante papel en la remisión de varias partículas, los sistemas biológicos desempeñan el papel más importante en los filtros de arena (EPA, 1999).

Los cinco tipos de filtros más utilizados comúnmente para la filtración de aguas residuales urbanas según (Metcalf and Eddy, 2003) son:

- **Filtros convencionales de flujo descendente**

Se utilizan materiales de filtro simples duales o multimédios en los filtros convencionales de profundidad de flujo descendente. Por lo general, se utiliza arena o antracita como materiales filtrantes en filtros de medio único. Los filtros duales medios generalmente consisten en una capa de antracita sobre una capa de arena. Se desarrollaron filtros de media profundidad mono y multimedio dual y de lecho profundo para permitir que el sólido suspendido en el líquido se plegara para penetrar más en el lecho de filtro, y así utilizar más capacidad de almacenamiento de sólidos disponible dentro del lecho de filtro.

Filtro de flujo descendente de lecho profundo

Este filtro similar al filtro de flujo descendente convencional con la excepción de que la profundidad del lecho filtrante y el tamaño del medio filtrante son mayores que los valores correspondientes en un filtro convencional. Debido a la mayor profundidad y al tamaño es más grande, se pueden almacenar más sólidos dentro del filtro y se puede extender la longitud del camino.

Filtro de retro-lavado continuo de flujo ascendente de lecho profundo

El agua residual por filtrar se introduce en el fondo del filtro, donde fluye hacia arriba a través de una serie de tubos ascendentes y se distribuye uniformemente en el lecho de arena a través del fondo abierto de una campana de distribución de entrada. El agua fluye hacia arriba a través del movimiento descendente.

Filtro de lecho pulsado

Es un filtro de gravedad de flujo descendente patentado con una capa superficial de arena fina no estratificada como medio filtrante. El lecho poco profundo se utiliza para el almacenamiento de sólidos, a diferencia de otros filtros de lecho poco profundo donde los sólidos se almacenan principalmente en la superficie de la arena. Una característica inusual de este filtro es el uso de un pulso de aire para alterar la superficie de la arena y así permitir la penetración del sólido suspendido en el lecho.

Filtro de puente móvil

Es un filtro continuo de flujo descendente de retrolavado automático de medio granular y de profundidad media. El lecho del filtro se divide horizontalmente en largas celdas de filtros independientes. Cada celda de filtro cuenta con aproximadamente 280 mm de medio. Las aguas residuales tratadas fluyen a través del medio por gravedad y salen a la cámara impetuosa a través de una placa porosa de drenaje de polietileno.

1.3.1.2 Sistemas de depuración que imitan los procesos que se dan en lagos y ríos:

- **Lagunaje**

El sistema de tratamiento de lagunaje es una tecnología de medio artificial (balsas, conducciones, etc.), diseñados para que en este sistema se den procesos de autodepuración que tiene lugar en ríos y lagos. Las aguas residuales pasan por un pretratamiento (desbaste, desarenador y desengrasador) y mediante ingresan a las lagunas anaerobias en donde se sedimentan y estabilizan los sólidos decantados, mediante los conducen a las lagunas facultativas en donde se desarrolla la degradación aerobia de la materia orgánica y por último se dirigen a la laguna de maduración en donde su objetivo es la eliminación de patógenos.

1.3.1.3 Sistemas de depuración que simulan condiciones propias a los humedales naturales:

- **Humedales artificiales**

Los humedales poseen procesos naturales de autodepuración de las aguas residuales que pasan por él, dicho proceso lo realizan los seres vivos que coexisten en equilibrio aprovechando así las sustancias disueltas o en suspensión que existen en el agua residual (Andrades, 2008).

Los humedales artificiales o naturalizados son sistemas de depuración de las aguas residuales que cuentan con una combinación de un estanque o laguna con filtros de grava rodeado de un área en donde se desarrollan plantas macrófitas (superiores), la profundidad de los HA son menos de 1 metro; en la parte superficial del sistema se desarrollan el proceso aerobio de degradación mientras que en la parte inferior se desarrolla la fermentación de la materia orgánica llevado a cabo por los microorganismos anaerobios gracias a la ausencia de oxígeno. En la parte superficial donde se encuentran las plantas, ellas son las encargadas de extraer los nutrientes que necesitan para su crecimiento que se ha generado en la descomposición (Quintano et al 2016; MBP-WETWINE, 2018).

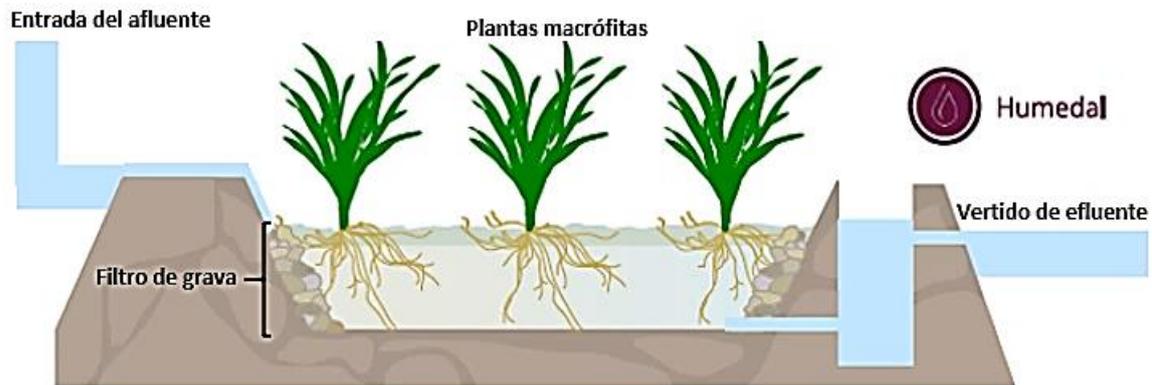


Figura 3 Humedal Artificial

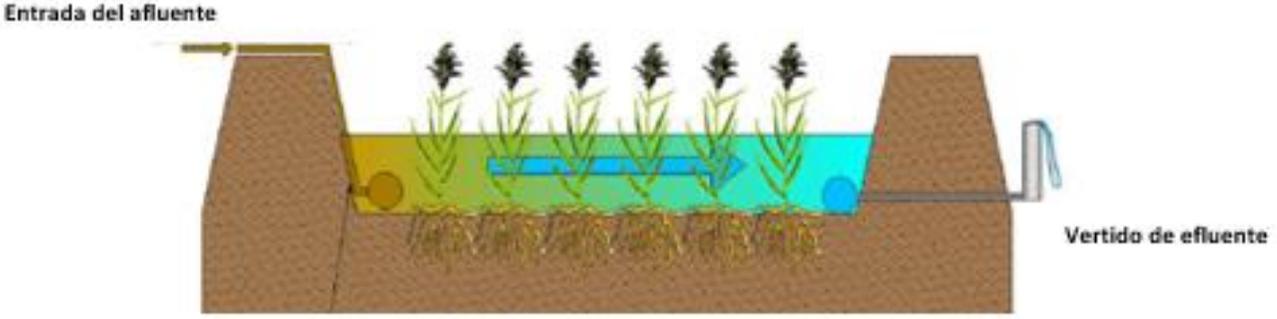
Los humedales artificiales depuran las aguas residuales eliminando diversos principios como se muestra en la siguiente tabla 3. (De la Varga, 2014; MBP-WETWINE, 2018)

Tabla 5 Eliminación de principios por HA

Principio	Método	Descripción
Materia orgánica	Sedimentación y filtración	Las partículas se quedan entre los espacios de grava y las raíces. En este proceso intervienen microorganismos aerobios o anaerobios. La sedimentación se debe a la baja velocidad de circulación del agua y al tamizado que se desarrolla en los espacios intersticiales del medio granular.
Sólidos en suspensión	Filtración entre el sustrato y las raíces	Los sólidos en suspensión son eliminados en los primeros metros de distancia desde que ingresan
Organismos patógenos	Adsorción	Los organismos se quedan adsorbidos sobre partículas de sustrato. La acción depredadora de bacteriófagos y protozoos.
Nitrógeno	Proceso por microorganismos	El nitrógeno se encuentra normalmente como N. orgánico o amoniacal el cual en estas condiciones se generan procesos de nitrificación y desnitrificación desarrollado por diferentes microorganismos.
Fosforo	Adsorción	Retienen el fósforo al contactar el fluido con el sustrato.

Existen dos tipos de humedales artificiales que se diferencian por el tipo de flujo circulante, teniendo así los humedales de flujo superficial y subsuperficial ver tabla 6 (MBP-WETWINE, 2018; Berland J.(OIEau), 2001; MDARU, 2008).

Tabla 6 Clasificación de los HA

Tipo	Descripción
<p>Superficial</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El agua está expuesta a la atmósfera directamente • El agua circula a través de los tallos y las hojas preferentemente. • Estos HA se entienden como una modificación de lagunaje natural. • Con profundidades de 0.3 a 0.4 metros con plantas. • Suelen aplicarse para mejorar la calidad de efluentes que han sido tratados previamente con depuradora. <div data-bbox="638 662 1915 981" style="text-align: center;">  <p>Entrada del afluente</p> <p>Vertido de efluente</p> </div>

Subsuperficial

Vertical

Son fundamentalmente aerobios.

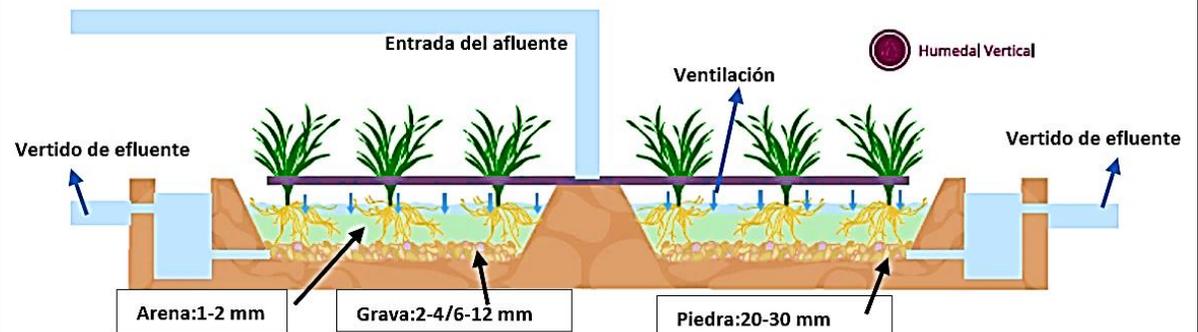
Asumen cargas contaminantes elevadas.

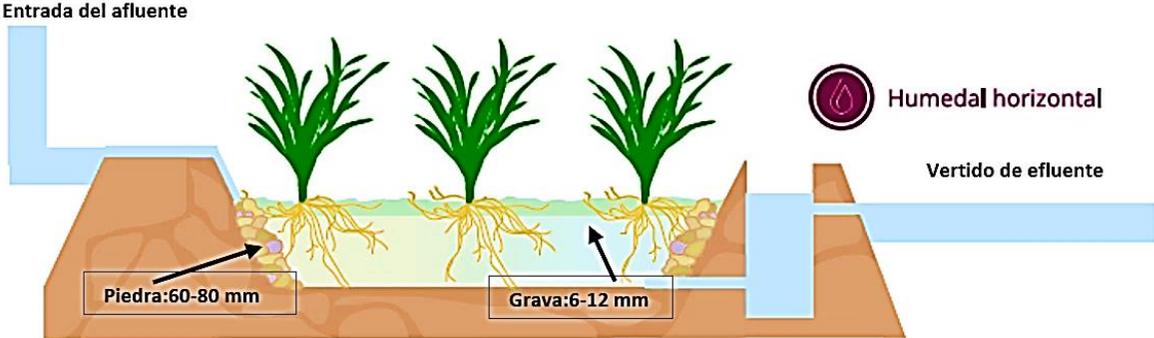
Consiste en varias **celdas** que se alimentan de manera intermitente y secuencial alterando periodos de dosificación y descanso.

En general los sistemas verticales se combinan con los horizontales para que suceda de manera progresiva la eliminación de nitrógeno (nitrificación y desnitrificación).

Tiene lugar a pulsos es decir no está permanentemente inundado ni saturado.

Mayor **capacidad de tratamiento** que los de flujo horizontal (requieren una menor superficie para tratar una determinada carga orgánica). La **profundidad del medio granular** es de 0.5-0.8 metros. El **medio granular** es heterogéneo (tres capas horizontales con diferente granulometría), la capa superficial es de arena gruesa, la intermedia es de grava y la del fondo es grava gruesa.



<p>Subsuperficial</p>	<p>Horizontal</p>	<p>Tiene zonas aerobias y anaerobias su combinación aumenta la degradación del número de contaminantes.</p> <p>El agua circula de manera horizontal a través del medio granular, los rizomas y raíces de las plantas.</p> <p>El medio granular debe ser limpio (exento de finos), homogéneo, duro, durable y capaz de mantener su forma a largo plazo. El diámetro alrededor de 5-8 mm (buen resultado).</p> <p>La profundidad del agua es de 0.3 y 0.9 metros.</p> <p>Su funcionamiento es permanentemente inundado y saturado.</p> <p>Vegetación: Las especies utilizadas son las macrófitas emergentes de zonas húmedas como el carrizo, espadaña o juncos.</p> 
------------------------------	--------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Las principales ventajas de los sistemas de flujo subsuperficial respecto a los de flujo superficial son:

- Mayor capacidad de tratamiento (admiten mayor carga orgánica).
- Bajo riesgo de contacto del agua con las personas y de aparición de insectos.
- Menor utilidad para proyectos de restauración ambiental debido a la accesibilidad de lámina de agua.

Ventajas de los humedales artificiales

- Son tecnologías de operación simple.
- Escasa producción de lodos residuales.
- Inexistencia de averías al carecer de equipos mecánicos.
- El agua residual llega por gravedad al tratamiento.
- Apenas consumo energético (bomba para llevar el agua a cabecera de la planta).
- No necesitan la adición de químicos.
- La infraestructura para la construcción es simple y accesible.
- El mantenimiento es fácil y económico.

Desventajas de los humedales artificiales

Existen razones por las que estos sistemas de tratamiento no se han extendido como:

- Los HA son sistemas extensivos y solo son aptos para depuración de aguas residuales con poblaciones pequeñas.
- Los HA requieren una extensa superficie para su instalación (es mayor mientras mayor sea la carga orgánica del agua residual).

Según (De la Varga, 2014; Masi et al, 2002; WETWINE, 2018; Quintano et al, 2016) los humedales artificiales (HA) son considerados como una opción de tratamiento para efluentes de bodegas; ya que son basados en el funcionamiento natural de los ecosistemas, asimilan amplias variaciones de caudal y de carga contaminante, además de tener un mantenimiento escaso y bajos costes de operación, lo que hacen atractivo a este sistema y ya lo han puesto en marcha y probado con éxito diversas bodegas para la gestión de efluentes vinícolas.



Capítulo 2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Evaluar la viabilidad de un sistema piloto basado en humedales artificiales para tratar el agua residual bruta tanto en etapa de embotellamiento como en la de producción.

2.2 Objetivos Específicos

- Evaluación de un sistema biológico de filtros intermitentes de arena a escala piloto de laboratorio.
- Determinar el número de ciclos (o recirculaciones) y de etapas necesarias para alcanzar los límites de vertido a cauce.
- Establecer criterios de diseño de humedales artificiales, como pueden ser la carga hidráulica superficial o la carga orgánica superficial, para el tratamiento de las aguas residuales generadas en la industria vitivinícola.



Capítulo 3. ESTADO DEL ARTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIA VINÍCOLAS

Para el tratamiento de las aguas residuales proveniente de empresas vinícolas, requiere de un conocimiento extenso de las mismas para encontrar soluciones de tratamiento más adecuadas al problema ya sean tanto a nivel técnico como económico.

En la actualidad existen ya tecnologías de pretratamiento y tratamiento para gestión de aguas residuales provenientes de bodegas vinícolas, que se las realiza de manera ordenada y secuencial (De la Varga, 2014).

Luego de un pretratamiento se emplean técnicas basadas en tratamiento biológico del efluente, siendo estos tratamientos aerobios o anaerobios o su combinación.

Entre los sistemas de tratamiento aerobios que se utilizan para tratar el agua residual vinícola se tiene:

- Sistemas de fangos activos (elevado coste de inversión y operación y problemas de bulking).
- Lagunas aerobias (utilizan grandes superficies y riesgo de malos olores).
- Filtros percoladores, biodiscos, entre otros.

Los sistemas de tratamiento anaerobios requieren trabajar con altas cargas orgánicas y control riguroso. Estos sistemas suponen altos costes de inversión y operación para el tratamiento de aguas residuales vinícolas, debido al alto volumen y su variabilidad, entre estos sistemas se tiene:

- Digestión anaerobia
- Reactores UASB
- Lagunas y filtros anaerobios

Básicamente después de un sistema anaerobio viene un aerobio para poder verter las aguas a cauces o a la naturaleza. Existen muchas tecnologías con métodos anaerobios para el tratamiento de las aguas residuales de bodegas vinícolas, su rendimiento en digestión anaerobia es alto hasta 90-95% de la eliminación de DQO mg/l (Moletta, 2005).

Existen estudios realizados con la digestión anaerobia que han dado buenos resultados, uno de ellos es el proyecto (WETWINE, N°1, 2017) que resulta de la combinación de dos tecnologías de tratamiento de aguas residuales provenientes de bodegas vinícolas; la digestión anaerobia hidrolítica y los humedales construidos verticales y horizontales.

El digester anaerobio hidrolítico es un sistema de tratamiento biológico de alta carga en el que se consigue buen rendimiento de depuración (50-80%) a bajos tiempos de retención (4-8h), su objetivo es eliminar sólidos y materia orgánica a diferencia de los digestores anaerobios convencionales que su finalidad es producir biogás (Alvarez, Ruíz, & Soto, 2008). Los humedales construidos son balsas profundas de flujo superficial y subsuperficial según su dirección de flujo, en los horizontales el lecho de grava se encuentra saturado de agua, mientras que en el vertical no lo está permitiendo transferencia de aire al dosificar el agua verticalmente favoreciendo condiciones aerobias.

Otro de los proyectos con sistemas de tratamiento anaerobios y extensivos como los humedales construidos es el proyecto de Pazo de Señoráns (Masi, Rochereau, Troesch, Ruiz, & Soto, 2015; De la Varga, 2014), en el que mostraron una gran superioridad de los humedales de flujo vertical para el tratamiento de efluentes de bodegas vinícolas, alcanzando velocidades de eliminación más de 10 veces a la de los humedales horizontales; el sistema de digestión anaerobia hidrolítica se lo colocó como sistema de pretratamiento para evitar de manera eficaz la colmatación de los lechos filtrantes.

3.1 Tecnologías extensivas de aguas residuales

Normalmente un sistema de tratamiento consiste en una diversidad de procesos para la gestión de las aguas residuales de bodegas vinícolas, al igual que una gama extensa de sus posibles combinaciones ya sean físicos, químicos y biológicos.

La infiltración rápida es un proceso de tratamiento en suelo es semejante a la infiltración intermitente de arena (León, 2013). El agua residual se trata mediante procesos físico, químico y biológicos a medida que percola por el filtro de arena.

Para el tratamiento de estas aguas residuales, con amplias variaciones en el caudal y altas cargas orgánicas se consideran una opción los sistemas de tratamiento

extensivo como los humedales artificiales (De la Varga, 2014; Masi F., 2002; Masi, Rochereau, Troesch, Ruiz, & Soto, 2015).

Los humedales artificiales son canales o balsas poco profundos, en donde el agua a tratar pasa por medio de un filtro de arena y grava. La capa más superficial es de arena y la siguiente capa es de grava, esta disposición se adopta para que el paso del agua residual por el medio filtrante o lecho no sea excesivamente rápido o lento (De la Varga, 2014).

En la siguiente tabla se menciona algunos de los sistemas extensivos implementados (WETWINE, N°3, 2019):

Tabla 7 Proyectos implantados con sistemas extensivos

Proyecto	Sistema	Descripción	Fuente
Wetwine	Humedal de flujo vertical y horizontal	Las aguas resultantes del digestor anaerobio hidrolítico circulan a través de una batería de humedales verticales y horizontales plantados con carrizos donde, mediante diversos procesos biológicos, físicos y químicos que se llevan a cabo de forma simultánea, se produce el tratamiento de las aguas residuales hasta obtener un efluente con parámetros analíticos aptos para vertido o incluso para su uso como riego.	(WETWINE, N°3, 2019)
Pazo de Señoráns	Humedal subsuperficial vertical y 3 humedal subsuperficial horizontal en paralelo	Los humedales de flujo vertical (VF) alcanzaron velocidades de eliminación de sólidos en suspensión y materia orgánica (DQO, DBO5) más de 10 veces a la de los humedales de flujo horizontal (HF) y sin efecto negativo a elevadas velocidades de carga.	(WETWINE, N°1, 2017; De la Varga, 2014)
Grupo Sogrape-Quinta do Sairrão	Humedal reactivo	Está formado por cuatro compartimentos diferenciados con regulación de su caudal de salida y un estanque regulador del agua de salida. Los compartimentos se localizan en superficies aplanadas descendentes, siguiendo las curvas de nivel y los bancales existentes, a lo largo del talweg por el que salen las aguas tratadas.	(Edafotec, 2015)



Capítulo 4. MATERIALES Y METODOS

Los materiales utilizados y métodos que se emplearon para la realización del presente proyecto de investigación son los siguientes:

4.1 Materiales

- **Arena:** La arena que se utilizó para la fase de experimentación es arena sílica lavada, con un diámetro menor entre 0.1 y 0.2mm aproximadamente.

Características de arena de sílice para tratamiento de aguas residuales

Las arenas son utilizadas como lecho filtrante para depuración y potabilización de las aguas (para la retención de los flósculos de tamaños muy pequeños que no son separados por decantación) y por su dureza son utilizados para la fabricación de lejías, abrasivos industriales y arenados.

La arena sílica o arena de sílice es un compuesto resultante de la combinación de sílice con el oxígeno. Su composición química está formada por un átomo de sílice y dos átomos de Oxígeno, formando una molécula muy estable: SiO (M., 1920).



Figura 4. Arena para la planta piloto del HA

- **Gravilla:** El diámetro medio de la gravilla lavada es de 2 a 4 mm, pero algunas son mayores a 4 mm.



Figura 5. Gravilla para la planta piloto del HA

- **Agua de estudio:** El agua de estudio proviene de una bodega vinícola y presentó como líquido turbio oscuro con tonos marrones (figura 6) con un olor dulce, no desagradable, fuerte, con olor característico a uvas y azúcares del proceso de fermentación.

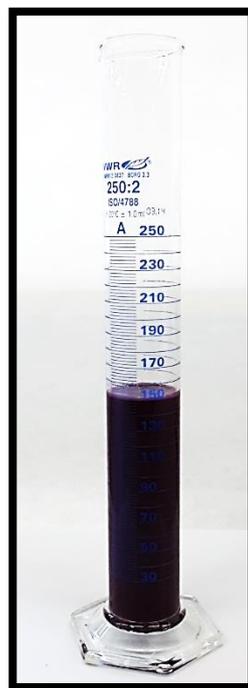


Figura 6. Aspecto Visual del efluente

- **Balanza:** La balanza se utilizó para medir el volumen de vaciado de cada fase de experimentación.



Figura 7. Balanza digital

Como variables indicadoras del sistema de tratamiento se tomaron la demanda química de oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales y Volátiles (SST y SSV) respectivamente. A continuación, detallaremos los materiales y procedimientos para su análisis:

Los materiales y procedimientos analíticos para DQO:

Tabla 8 Materiales y procedimiento DQO

Materiales	Procedimiento
Cubeta de reacción para la DQO.	El intervalo de medida (25-1500) mg/l de DQO. 1. Tomar 5ml de la muestra madre y diluirla para que pueda medirse en el rango específico establecido. 2. Agitar por balanceo la cubeta de reacción para poner en suspensión el sedimento. 3. De la muestra preparada (diluida) tomar 3ml y verter cuidadosamente mediante la pipeta sobre el reactivo en la pared interna de la cubeta de reacción mantenida inclinada. 4. Cerrar firmemente la cubeta con la tapa enroscada. 5. Calentar la cubeta por 120 minutos a 148°C en el termorreactor precalentado. 6. Sacar del termorreactor la cubeta caliente y colocarla en un soporte para tubos de ensayos hasta que se enfríe. 7. Medir en el fotómetro.
Pipeta graduada.	
Termorreactor	
Fotómetro	

Los materiales y procedimientos analíticos para SST y SSV:

Tabla 9 Materiales y procedimiento sólidos

Materiales	Procedimiento
Equipo de filtración al vacío: Consiste en una bomba al vacío, matraz Kitasato, embudo de vidrio, placa poros y pinzas de sujeción.	1. El filtro de vidrio y la capsula de porcelana son acondicionados durante 24h en la estufa de 100°C y hora en el desecador previo a la filtración y su peso en la balanza analítica determinado en gramos (M1).
Filtros de microfibra de vidrio de 47mm de diámetro y 1.0 µm de diámetro de poro (partículas de retención).	2. Se coloca un determinado volumen(V) (previamente medido y tomado con agitación de manera que este homogéneo) es filtrado a través del filtro (previamente pesado), colocado en el montaje de filtración a vacío.
Crisoles de porcelana resistentes a 550°C.	3. El filtro se seca en la estufa a 100°C para asegurar la correcta evaporación del agua hasta peso constante, luego se retira de la estufa y se deja alcanzar a temperatura ambiente en el desecador y se pesa en balanza analítica (gramos)M2(para determinar los sólidos suspendidos totales de la siguiente manera.
Estufa.	
Mufla.	
Desecador.	
Balanza analítica.	
Probetas.	$SST \text{ (mg/l)} = ((M1-M2) / V) * 10^6$ <p>4. Se coloca el filtro M2 en la mufla durante 24 horas a 550°C, luego se lo coloca en el desecador para obtener temperatura ambiente y poder pesarlo M3 y proceder a la determinación de los sólidos suspendidos volátiles de la siguiente manera.</p> $SSV \text{ (mg/l)} = ((M2-M3) / V) * 10^6$ <p>5. Se coloca un blanco para estimar la pérdida por calcinación de filtro y de la capsula.</p>

4.2 Métodos

La experimentación de la depuración de las aguas residuales procedentes de bodegas vinícolas cargadas de materia orgánica se llevó a cabo durante los meses de julio, septiembre y octubre con temperatura entre (23-26°C) y se realizadas en tres fases.

4.2.1 Configuración del sistema de tratamiento

El sistema de tratamiento consiste en un filtro de arena intermitente construido de flujo vertical a escala laboratorio. En la figura 8 se representa los componentes del

sistema. La depuración de las aguas residuales de bodegas vinícolas se lleva a cabo en la columna, la cual se ha diseñado para simular un filtro de arena de flujo vertical; consta de un tanque cilíndrico transparente con una sección transversal de 41.37cm^2 , longitud de la circunferencia es de 22.8cm y radio de columna 3.6cm con una altura de 18cm . El afluente atraviesa por le medio granular, y desciende por gravedad hasta el final de la columna, donde se recoge el efluente ya tratado en una probeta.

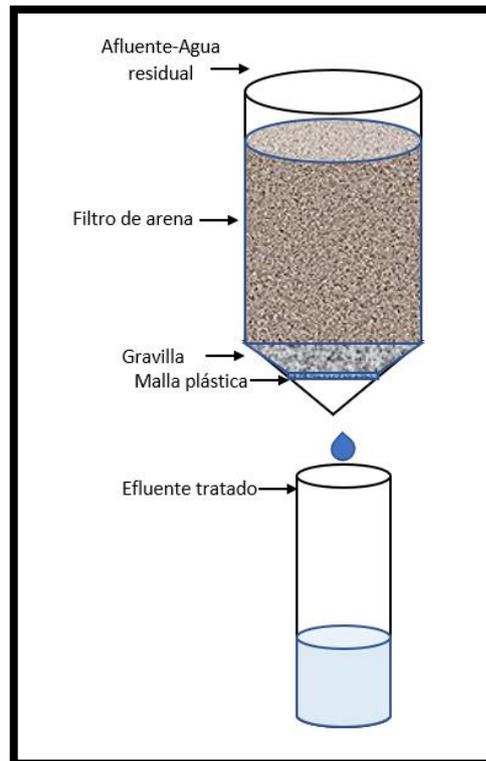


Figura 8. Representación esquemática de la columna (filtro de arena)

El sistema de tratamiento se alimenta con un caudal de 150ml , lo que supone una carga de $37.5\text{ l/m}^2\cdot\text{d}$, el volumen administrado pasa a través del medio filtrante durante un día.

El medio granular es la parte esencial de la columna, ya que en él es donde se va a desarrollar la depuración, por lo que debe ser químicamente inerte. El medio filtrante está constituido por dos capas: filtrante y drenante. En la tabla 10 se muestra las características y granulometrías de estas dos capas.

Tabla 10 Caracterización del medio granular de la columna

Característica	Capa filtrante	Capa drenante
Tipo de grano	Arena fina	Grava fina
Granulometría (mm)	1-2	2-4 y >4
Altura (cm)	15	3

En la figura 9 se muestran los tipos del medio granular en el laboratorio.

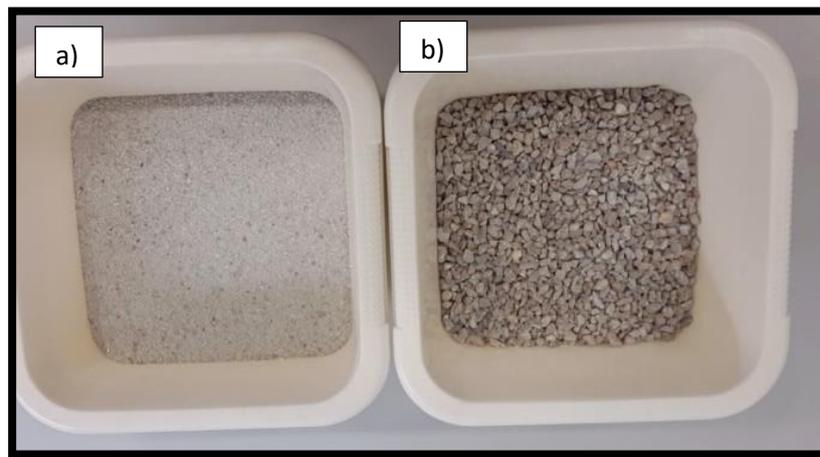


Figura 9. Muestra de medio granular: a) arena fina, b) grava fina

4.2.2 Determinación de Carga hidráulica superficial y orgánica

La tasa de carga hidráulica superficial para los sistemas de tratamiento de aguas residuales en humedales de flujo vertical (CHS) de un volumen específico está basado en el caudal afluente (Q_i) y en este caso se lo cálculo de la siguiente manera:

$$CHS \left(\frac{m^3}{m^2 \cdot d} \right) = \frac{Q_i}{A} \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde:

Q_i = Caudal afluente (m^3/d)

A = Superficie de la columna (m^2)

La carga orgánica superficial es la cantidad de carga orgánica que va a depurar mi sistema (filtro de arena) en este caso se ha calculado así:

$$COS \left(\frac{g}{m^2 \cdot d} \right) = \frac{M}{T \cdot A} \quad \text{Ecuación 2}$$

En donde:

M= Masa de DQO tratada(g)

T= Tiempo en el que se trata (d)

S= Superficie de la columna (m²).

4.2.3 Volumen de vaciado

Para el monitorear el volumen de vaciado se realiza los siguientes pasos:

- Se coloca el volumen establecido (150ml) en la columna (filtro de arena intermitente).
- Se coloca una probeta de 250ml en la balanza para saber el volumen idóneo que ha de contener la probeta una vez salga el agua filtrada.
- Se toma el tiempo y volumen de cada ciclo en cada una de las fases.

4.2.4 Fase 1 - Columna 1 (C1)

Conociendo la cantidad de alimentación infiltrada en la columna, se toman datos cada 5 minutos durante los 30 primeros minutos y cada 30 minutos hasta llegar a las 2 horas, de la misma manera se procede con las 3 fases.

La modalidad de alimentación de una columna de sistema vertical consiste en los siguientes pasos:

- Analizar la DQO antes de ingresar en la planta piloto (filtro vertical).
- Analizar Sólidos antes de ingresar a la planta piloto.
- Colocar un volumen de 150ml del agua residual (efluente de la bodega vinícola).
- Medir el volumen que sale a través del filtro.
- Recircular el volumen (segundo ciclo).
- Analizar la DQO que sale cada dos ciclos, realizar esto durante 5 días (10 ciclos).
- Una vez acabada los 10 ciclos analizar sólidos de la salida final.

A continuación, se presenta un esquema del sistema de alimentación de la Fase 1:

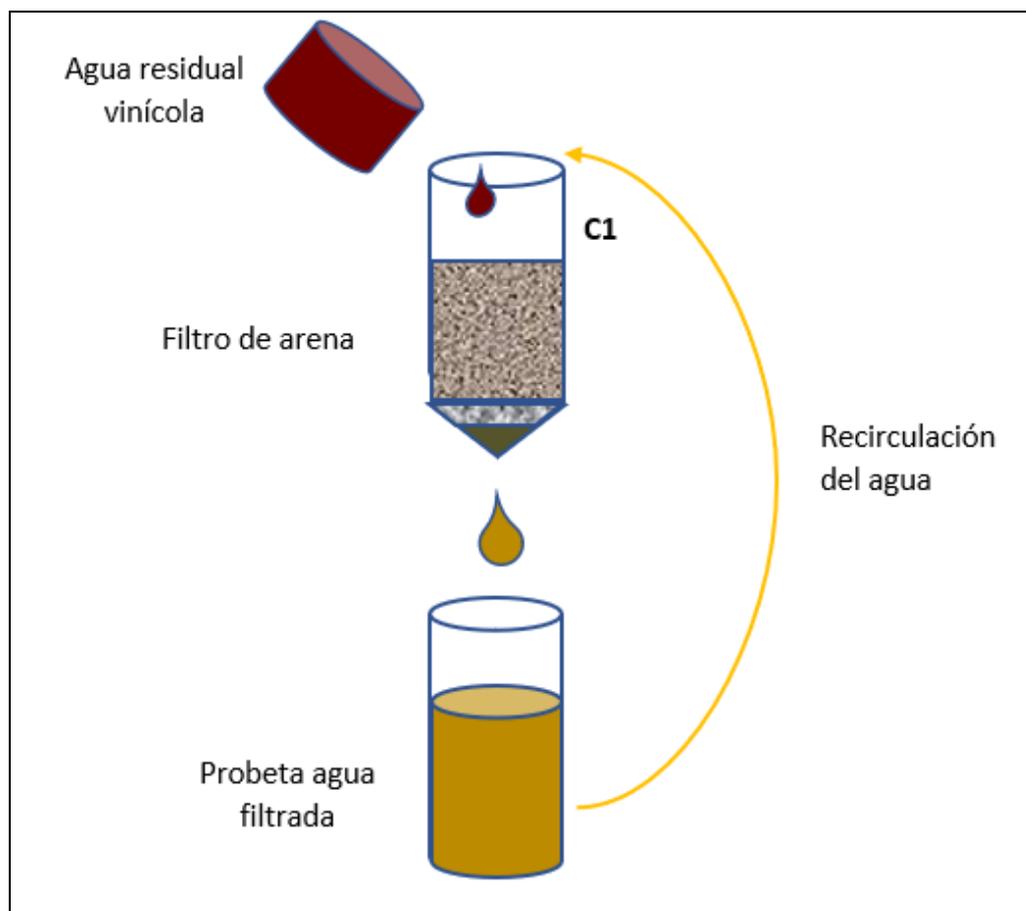


Figura 10. Representación esquemática de la fase 1

4.2.5 Fase 2 - Columna 1 y 2 (C1 y C2)

La modalidad de alimentación de dos columnas de sistema vertical consiste en los siguientes pasos:

- Analizar DQO y sólidos antes de ingresar a la planta piloto (C1).
- Colocar un volumen de 150ml de agua residual (efluente de la bodega vinícola) en el filtro vertical (C1).
- Medir el volumen que sale del filtro C1 y analizar DQO.
- El volumen que sale de la columna C1 filtrarla en la columna C2 (filtro de arena nuevo).
- Medir el volumen que sale de la C2 y analizar DQO.
- Una vez que acabe se repite el mismo procedimiento; el agua que sale de la C2 se colocará en la C1.
- Una vez que se acabe el procedimiento durante los 5 días es decir 10 ciclos se analiza sólidos de salida final.

A continuación, se presenta un esquema del sistema de alimentación de la Fase 2:

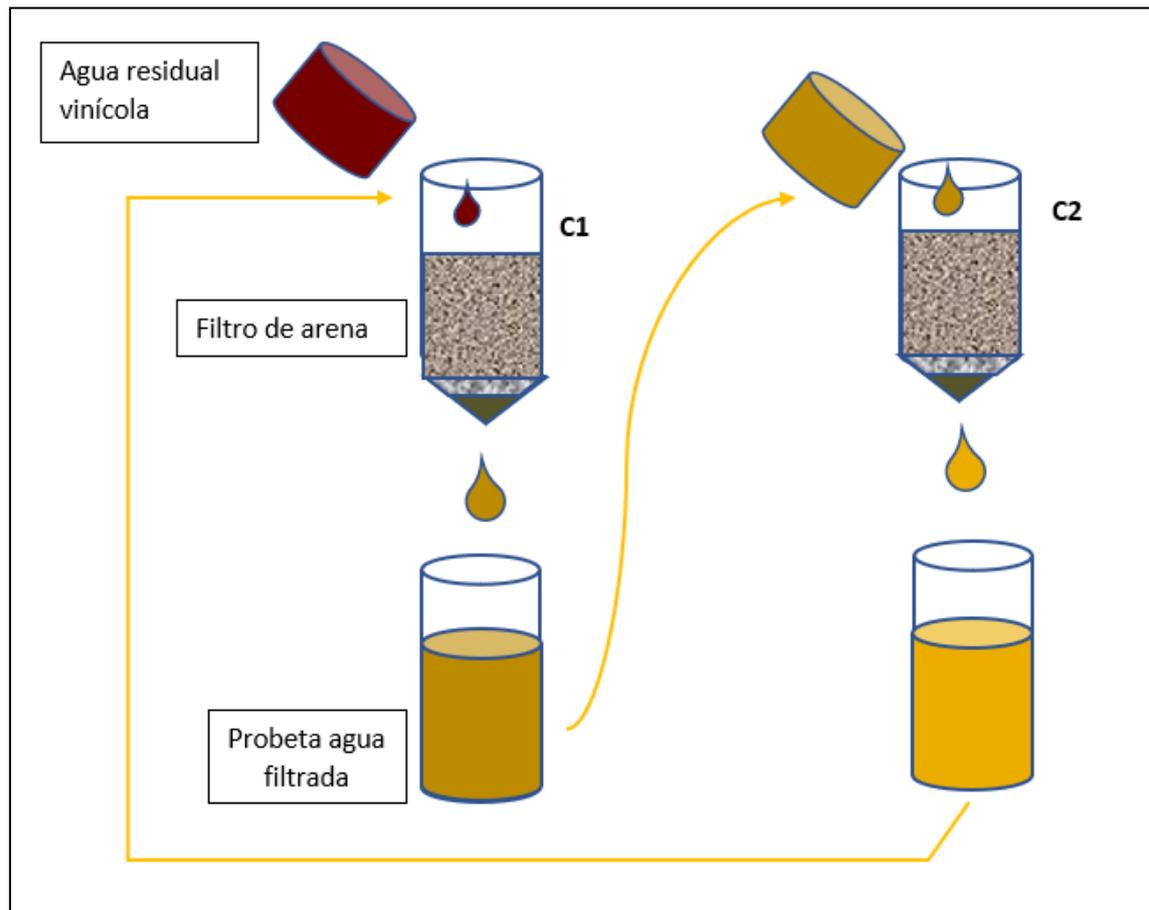


Figura 11. Representación esquemática de la fase 2

4.2.6 Fase 3

En esta fase de la experimentación se realizó de la siguiente manera:

- Analizar DQO y sólidos antes de ingresar a la planta piloto (C1).
- Colocar un volumen de 150ml de agua residual (efluente de la bodega vinícola) en el filtro vertical (C1).
- Medir el volumen que sale del filtro C1.
- Analizar DQO y sólidos del agua de salida de C1.
- Recircular el volumen que sale de la columna C1 en la columna C2 (filtro de arena nuevo).
- Medir el volumen que sale de la C2.
- Analizar DQO y sólidos del agua de salida de C2.
- Desechar en agua.
- Repetir el mismo procedimiento 5 veces.

A continuación, se presenta un esquema del sistema de alimentación de la Fase 3:

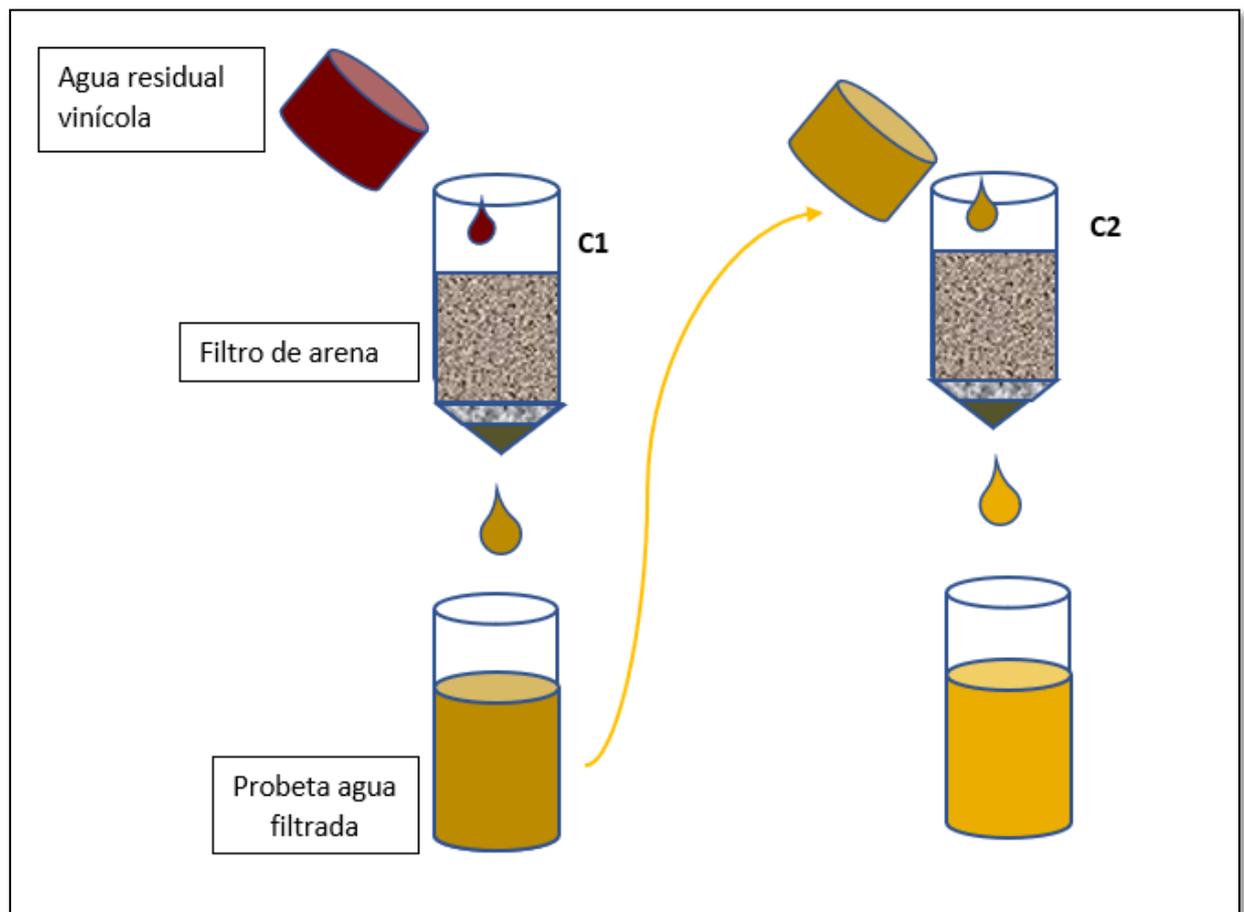


Figura 12. Representación esquemática de la fase 3

Capítulo 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la realización del presente trabajo de investigación se necesita conocer las caracterizaciones del agua de estudio, para que a partir de su análisis se proceda a su tratamiento en las 3 fases.

5.1 Características del influente

La caracterización del influente (agua residual de bodegas vinícolas) se lleva a cabo una vez llegada la muestra:

Tabla 11 Características del influente

Parámetro	Valor
DQO (mg/l)	38400
DBO (mg/l)	21666.7
N Total (mg/l)	233.3
Amonio (mg/l)	0.12
Nitritos (mg/l)	0.67
Nitratos (mg/l)	26.8
P total (mg/l)	59.2
SS (mg/l)	6316
SSV (mg/l)	6168
Turbidez (NTU)	1750
Temperatura (°C)	16.9
pH	3.57
OD (mgO₂/l)	8.13
DBO₅/DQO	0.56

En la tabla 11 se puede observar, que la concentración de materia orgánica es muy elevada, así como la de sólidos en suspensión y coinciden con los valores mencionados por (De la Varga, 2014; Petruccioli M., 2002). La relación DBO₅/DQO es de 0.56, lo que indica que la materia orgánica es medianamente biodegradable y estos resultados son viables para aplicar un sistema de tratamiento biológico.

5.2 FASE 1

5.2.1 Velocidad de volumen de vaciado

En la tabla 12 se muestran los valores de las velocidades de volumen de vaciado, en los 3 experimentos con respecto al tiempo en el que salió el efluente, por ejemplo, el valor que corresponde a 90 minutos es el volumen que ha salido del minuto 60 hasta el minuto 90 dividido por el tiempo transcurrido (30 minutos) por la superficie de la columna. Los valores del experimento 3 (B3) son medianamente altos durante los primeros minutos esto se puede deber a que se lo el experimento se lo realizo después de un mes que la columna ha quedado inhabilitada.

Tabla 12 Velocidad de vaciado **Fase 1**

TIEMPO (min)	B1	B2	B3
	Vel.vac (ml/m ² min)	Vel.vac (ml/m ² min)	Vel.vac (ml/m ² min)
5	1.0E-04	1.5E-04	2.3E-04
10	3.5E-04	1.3E-04	2.3E-04
15	1.5E-04	1.5E-04	2.0E-04
20	2.5E-04	2.5E-04	2.0E-04
25	3.0E-04	2.3E-04	3.5E-04
30	1.5E-04	2.5E-04	2.0E-04
60	3.3E-05	2.7E-04	1.1E-04
90	9.2E-05	9.2E-05	1.3E-05
120	8.3E-06	2.5E-05	2.1E-05

En la figura 13 se puede observar la variación de las velocidades de los 3 experimentos (B1, B2 y B3). En el experimento B3 se observa que durante los primeros minutos aumenta ligeramente, esto se debe a que la columna durante el mes de agosto se encontraba en reposo.

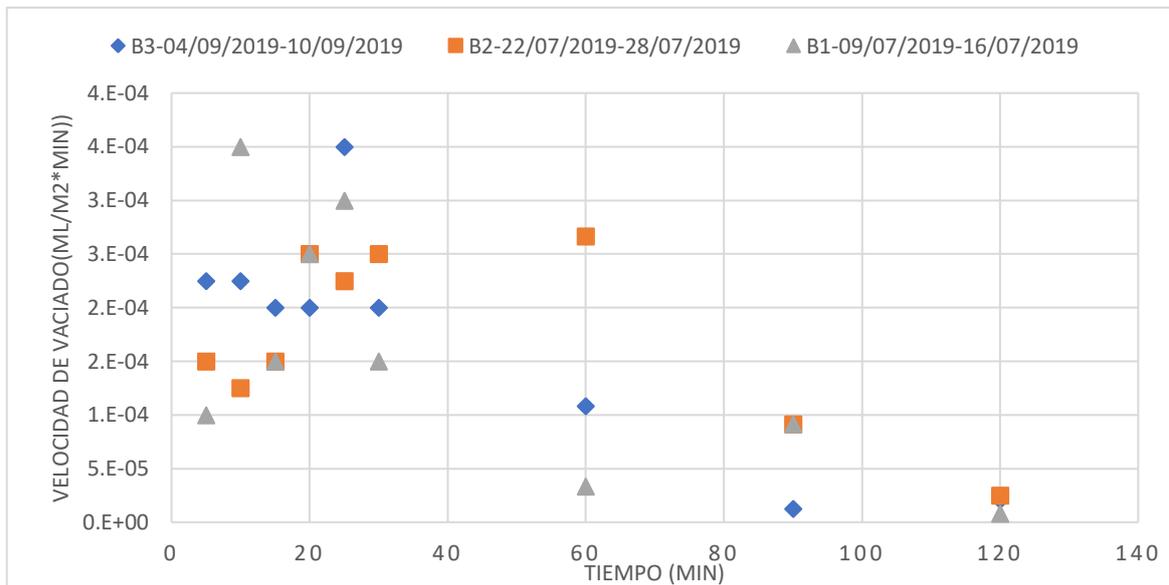


Figura 13. Velocidad de vaciado Fase 1

5.2.2 Carga hidráulica

En la tabla 13 se observa los valores de la carga hidráulica para los 3 experimentos (B1, B2 y B3), en donde 5.6 litros se han tratado por m² durante un día en la fase 1.

Tabla 13 CHS - Fase 1

Experimento	CHS l/(m ² *d)
B1	5.3
B2	5.1
B3	5.6

5.2.3 Carga orgánica superficial

En la tabla 14 se observa los datos de masa de DQO que se trata por tiempo y superficie, obtenidos a partir del balance de materia orgánica del afluente y efluente en cada experimento (B1, B2 y B3), el dato del experimento B3 es un dato anómalo ya que la columna se ha dejado en reposo durante el mes de agosto. Al tener valores de materia orgánica alta ingresada en cada experimento de valores entre 1300 y 1600 (g/m²*d), se puede mencionar que es un valor alto frente a 27 (g/m²*d) que es el valor que se suele admitir en humedales artificiales verticales para tratar aguas residuales urbanas.

Tabla 14 COS - Fase 1

Experimentos	Fechas	Afluyente DQO(g)	Efluente DQO(g)	COS (g/m ² *d)
B1	09/07/2019-16/07/2019	6.62	0.11	1654
B2	22/07/2019-28/07/2019	5.58	0.11	1369
B3	04/09/2019-10/09/2019	5.56	0.15	1365

5.2.4 Concentraciones afluyente y efluente Fase 1

En la tabla 15 se muestra los resultados obtenidos de las concentraciones de DQO mg/l, durante el mes de julio, tras pasar por el filtro de arena en la columna 1 (C1). La puesta en marcha tuvo lugar desde (09/07/2019-16/07/2019) para el experimento B1, (22/07/2019-28/07/2019) experimento B2 y (04/09/2019-10-09/2019) experimento B3. Las cargas orgánicas de los afluentes al ingresar a al lecho filtrante con 150ml es de 1360-1600 (kg/m²*d), este valor es alto con respecto a 27 (g/m²*d) que es el valor que se suele admitir en humedales artificiales verticales para tratar aguas residuales urbanas.

Tabla 15 Variación de [DQO]mg/l C1 Fase 1

Ciclos DQO (mg/l)	0	COS aplicada (g/m ² /d)	2	4	6	8	10
	B1	30802	1654	12515	8350	5490	2200
B2	27742	1369	14135	9830	5350	3400	2415
B3	23102	1365	26000	10840	6040	3200	

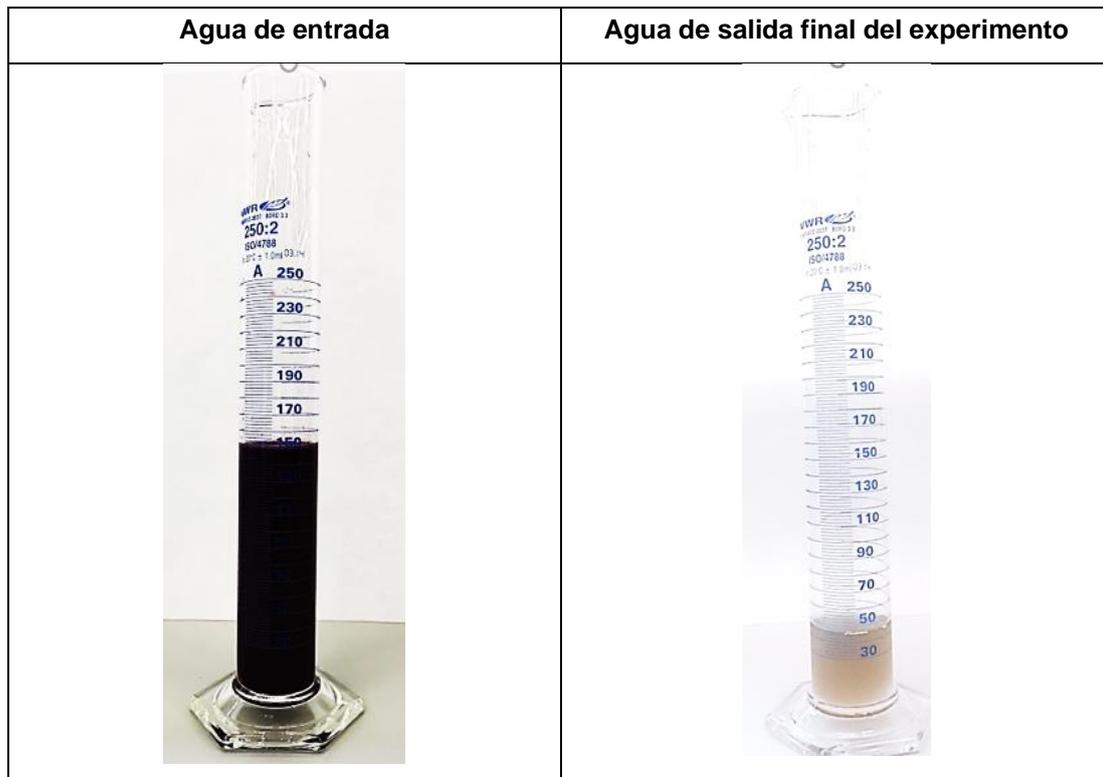


Figura 14. Foto de afluente y efluente **Fase 1.**

En la figura 14 se puede ver el influente con sus características turbia de color marrón oscuro y concentración de sólidos altos entre 6000 mg/l como se puede ver en la tabla 16, y una vez que ingresa al filtro de arena los sólidos suspendidos quedaran retenidos en el medio filtrante, y agua depurada tendrá un color más claro y menor cantidad de sólidos con valores medios entre 200 y 300 mg/l. Los valores del ultimo experimento tienen un ascenso, esto se debe a que la columna se quedó en reposo durante el mes de agosto y el drenaje fue mayor.

Tabla 16 Variación de [SST]mg/l C1 **Fase 1**

Ciclo	[SS] mg/l		
	B1	B2	B3
0	6850	6316	9215
10	253	210	379

En la figura 15 se muestra la evolución frente al tiempo de los sólidos suspendidos totales presentes en el afluente y efluente. Durante la puesta en marcha que son los primeros experimentos B1 y B2, los valores de los SST presentan valores ligeramente bajos y estables, mientras que en el experimento 3 (B3) tiene un ascenso debido que la columna se quedó sin funcionamiento en el mes de agosto.

Solo se tiene un valor de SST a la salida debido a que no se puede quitar más volumen de la muestra que se está depurando.

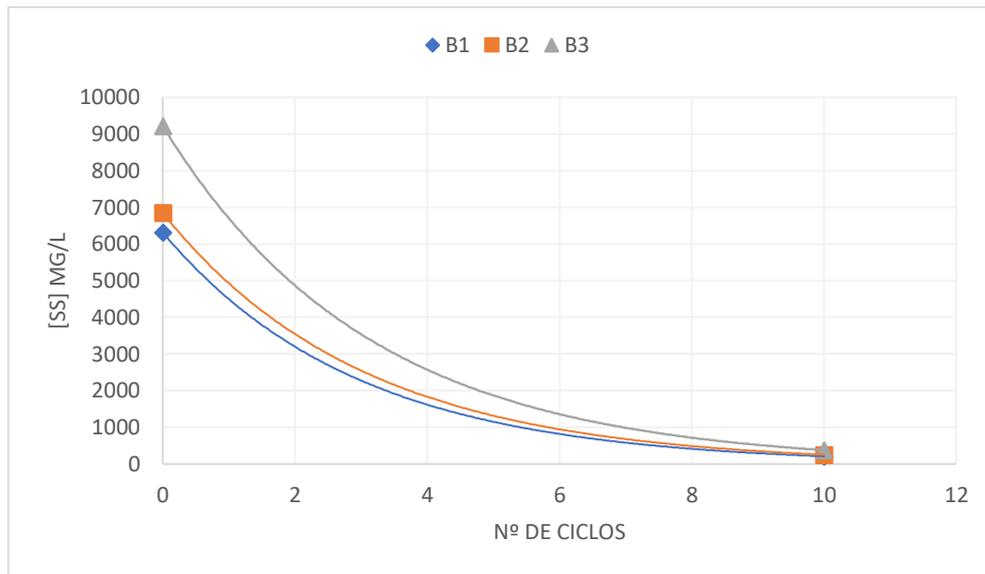


Figura 15. Variación de [SST] mg/l Fase 1

En la figura 16 se puede observar la representación gráfica de las concentraciones frente al número de ciclos, la concentración va disminuyendo tras cada ciclo. Se obtuvo la ecuación ($r^2=0.98$) $DQO = 23799e^{-0.238 \cdot (N.º \text{ de ciclos})}$ de la línea exponencial que se ajusta más con el experimento B3, para obtener una concentración que se pueda ser vertida al alcantarillado se deberá realizar 14 ciclos teniendo una concentración de 850mg/l y para cumplir los límites de vertido de agua depurada se deberán realizar 22 ciclos y obteniendo una concentración de 127mg/l.

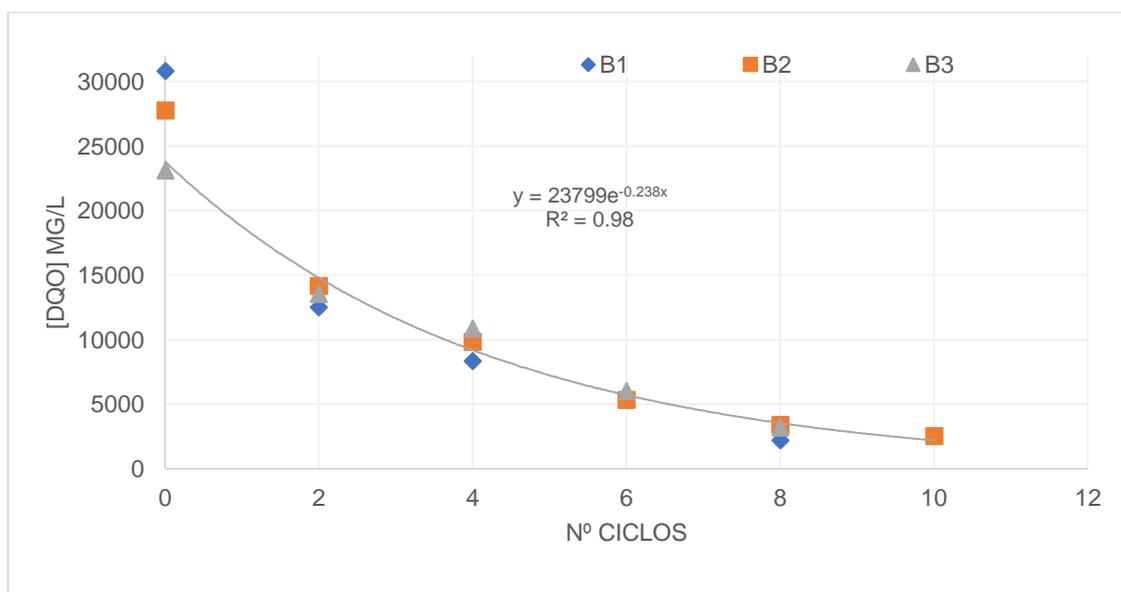


Figura 16. Variación de [DQO] mg/l Fase 1

En la tabla 17 se muestra los valores calculados en términos de masa, en donde la carga orgánica en (mg) se encuentra ya estable en el experimento 3 (B3).

Tabla 17 Variación de masa Fase 1

Ciclos Masa(mg)	0	2	4	6	8	10
B1	6615	1452	722	390	106	
B2	5475	1860	1081	524	289	110
B3	5460	1352	921	393	154	

En la figura 17 se puede observar la variación de la masa de materia orgánica con el número de ciclos para los 3 experimentos realizados (B1, B2 Y B3). La ecuación que más se ajusta para la extrapolación de los datos en términos de masa es la correspondiente al experimento B3 cuya expresión es ($r^2=0.97$) DQO (mg)= $4470.1 \cdot e^{-0.419 \cdot (N.º \text{ de Ciclos})}$.

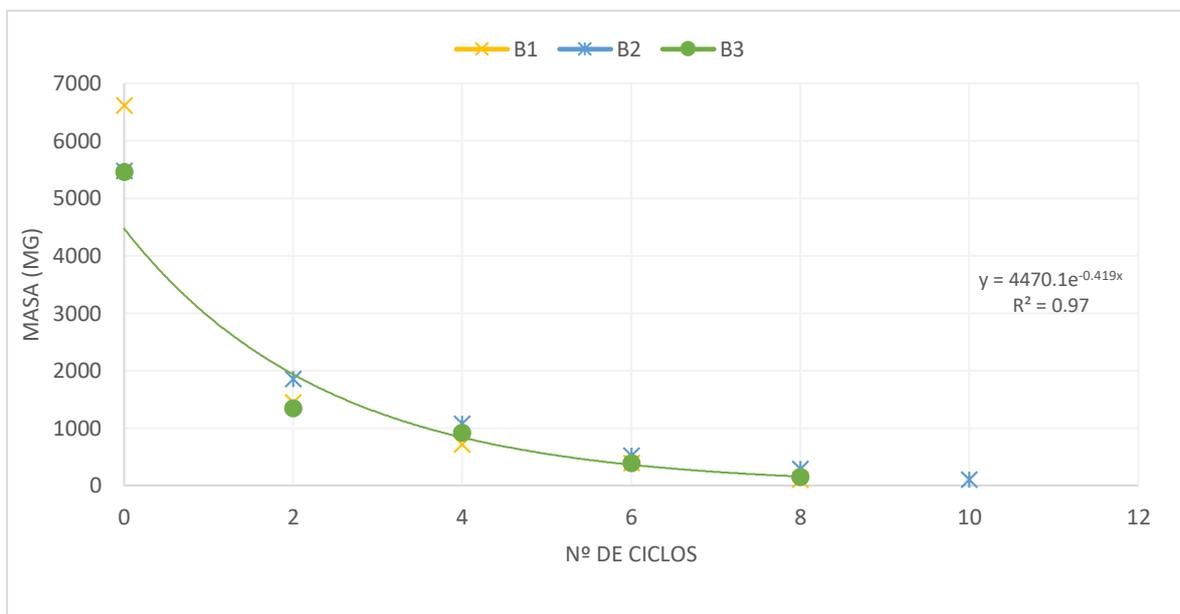


Figura 17. Variación de masa Fase 1

En la tabla 18 se observa los volúmenes de evaporación, alcanzando un porcentaje del 58% del agua aplicada al sistema de filtración, cabe mencionar que es importante saber que, mientras más evaporación existe existirá menos cantidad de volumen para gestionar y menos coste.

Tabla 18 Evaporación en **Fase 1**

Experimentos	# Días (d)	Vol. evaporado (l)
B1	8	0.087 (58%)
B2	8	0.085 (57%)
B3	7	0.087 (58%)

En la figura 18 se muestra el aumento del rendimiento que se obtuvo en la fase 1 calculada con la diferencia de la masa inicial y la de cada dos ciclos dividida para la inicial teniendo así el porcentaje de rendimiento en términos de masa aplicada.

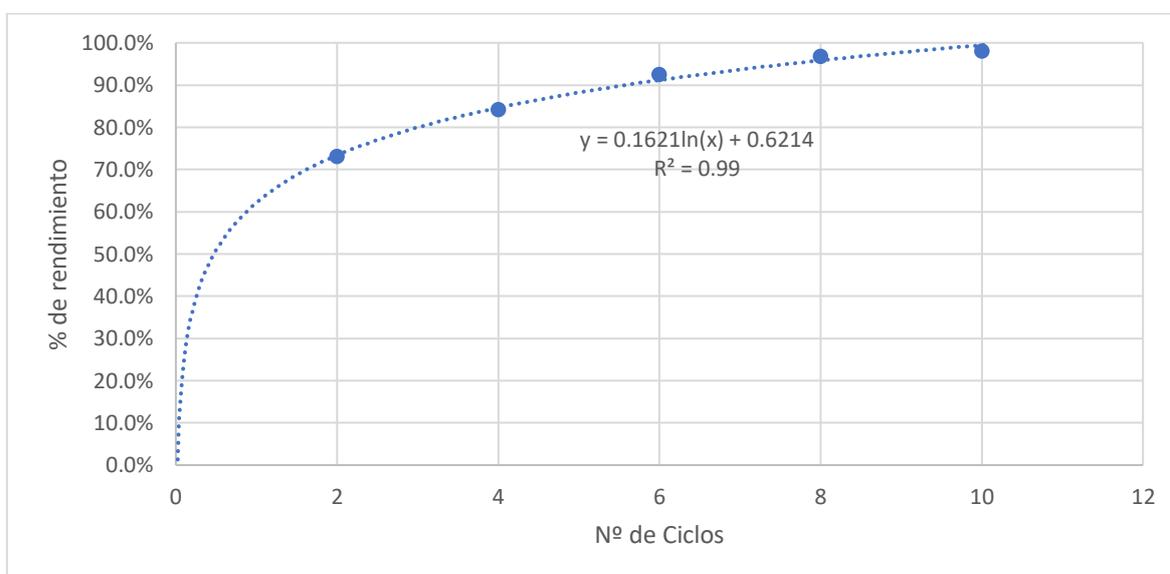


Figura 18. Variación de %rendimiento **Fase 1**

5.3 FASE 2

5.3.1 Velocidad de volumen de vaciado

En la tabla 19 se puede observar los datos de velocidades de vaciado, para la columna 1 C1 con respecto al tiempo en el que salió el volumen para los 4 experimentos (Exp.1, Exp.2, Exp.3 y Exp.4), en donde se puede decir que el valor que corresponde al minuto 90 es el volumen que ha salido del minuto 60 hasta el minuto 90 dividido por el tiempo transcurrido (30 minutos) por la superficie de la columna.

Tabla 19 Velocidad de vaciado C1 - Fase 2

TIEMPO (min)	Exp.1	Exp.2	Exp.3	Exp.4
	Vel.vac (ml/m ² *min)	Vel.vac (ml/m ² *min)	Vel.vac (ml/m ² *min)	Vel.vac (ml/m ² *min)
5	3.8E-04	1.5E-04	3.5E-04	4.5E-04
10	4.3E-04	1.0E-04	5.5E-04	3.5E-04
15	3.0E-04	1.3E-04	5.5E-04	5.0E-04
20	5.0E-04	7.5E-05	4.0E-04	4.5E-04
25	5.0E-04	1.0E-04	6.0E-04	4.5E-04
30	3.0E-04	1.5E-04	8.5E-04	9.0E-04
60	3.4E-04	1.4E-04	4.1E-04	4.0E-04
90	2.4E-04	2.0E-04	1.4E-04	1.6E-04
120	8.3E-05	1.1E-04	5.0E-05	4.2E-05

En la figura 19 se puede observar los datos de volumen de vaciado con respecto al tiempo de la columna 1 (C1) con los 4 experimentos (Exp.1, Exp.2, Exp.3 y Exp.4), en donde se puede decir que la velocidad a crecido ligeramente con respecto a la primera fase, esto se debe a que a la columna C1 se encuentra más cargada orgánicamente, esto quiere decir que cada vez que se realiza un experimento, a esta columna es a la que se le ingresa el afluente con alta carga para cada experimento.

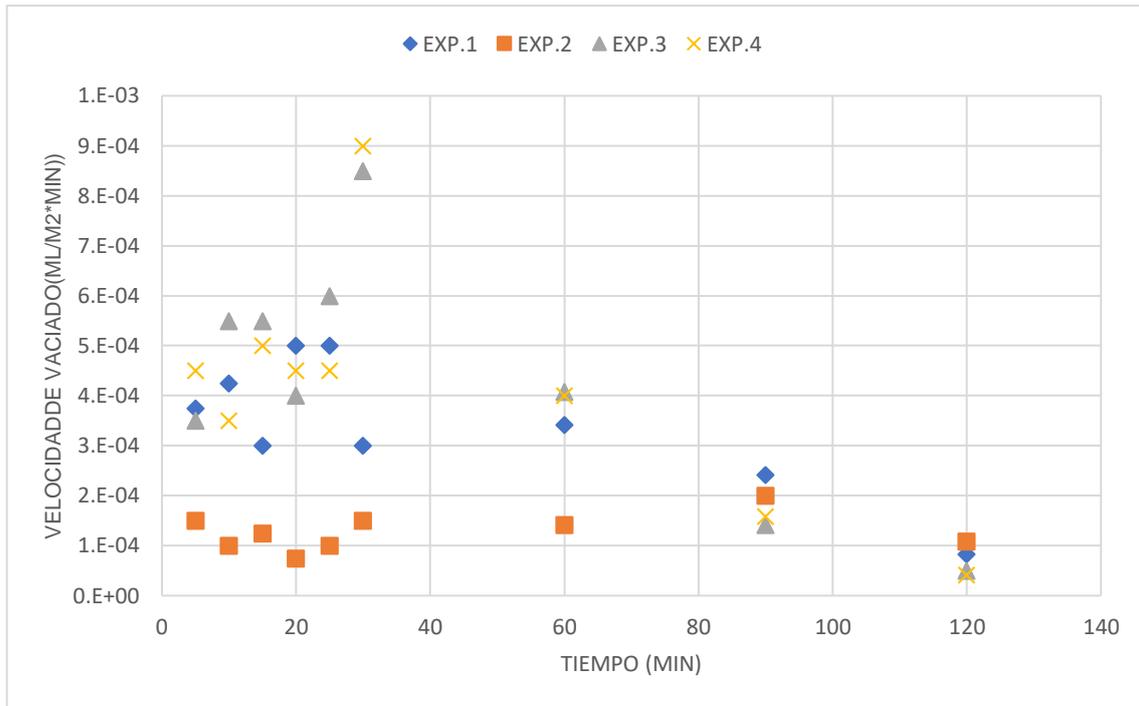


Figura 19. Velocidad de vaciado C1-Fase 2

En la tabla 20 se puede observar los datos de velocidades de carga hidráulica, para la columna 2 C2 con respecto al tiempo en el que salió el volumen para los 4 experimentos (Exp.1, Exp. 2, Exp.3 y Exp.4), en donde se puede decir que el valor que corresponde al minuto 90 es el volumen que ha salido del minuto 60 hasta el minuto 90 dividido por el tiempo transcurrido (30 minutos) por la superficie de la columna.

Tabla 20 Velocidad de vaciado C2 - Fase 2

TIEMPO (min)	Exp.1	Exp.2	Exp.3	Exp.4
	Vel.vac (ml/m2*min)	Vel.vac (ml/m2*min)	Vel.vac (ml/m2*min)	Vel.vac (ml/m2*min)
5	1.5E-03	1.6E-03	2.3E-03	1.8E-03
10	1.4E-03	1.2E-03	1.7E-03	1.1E-03
15	1.5E-03	1.3E-03	1.1E-03	1.2E-03
20	9.3E-04	1.0E-03	7.5E-04	6.0E-04
25	3.5E-04	4.8E-04	3.5E-04	4.5E-04
30	1.8E-04	2.0E-04	1.5E-04	3.5E-04
60	3.3E-05	3.3E-05	2.5E-05	5.0E-05
90	8.3E-06	8.3E-06		

En la figura 20 se puede observar los datos de volumen de vaciado con respecto al tiempo de la columna 2 (C2) con los 4 experimentos (Exp.1, Exp.2, Exp.3 y Exp.4), en donde se puede decir que la columna 2 tiene más bajas las velocidades de vaciado esto se debe a que el filtro de arena es totalmente nuevo y al ser virgen la velocidad de paso es menor.

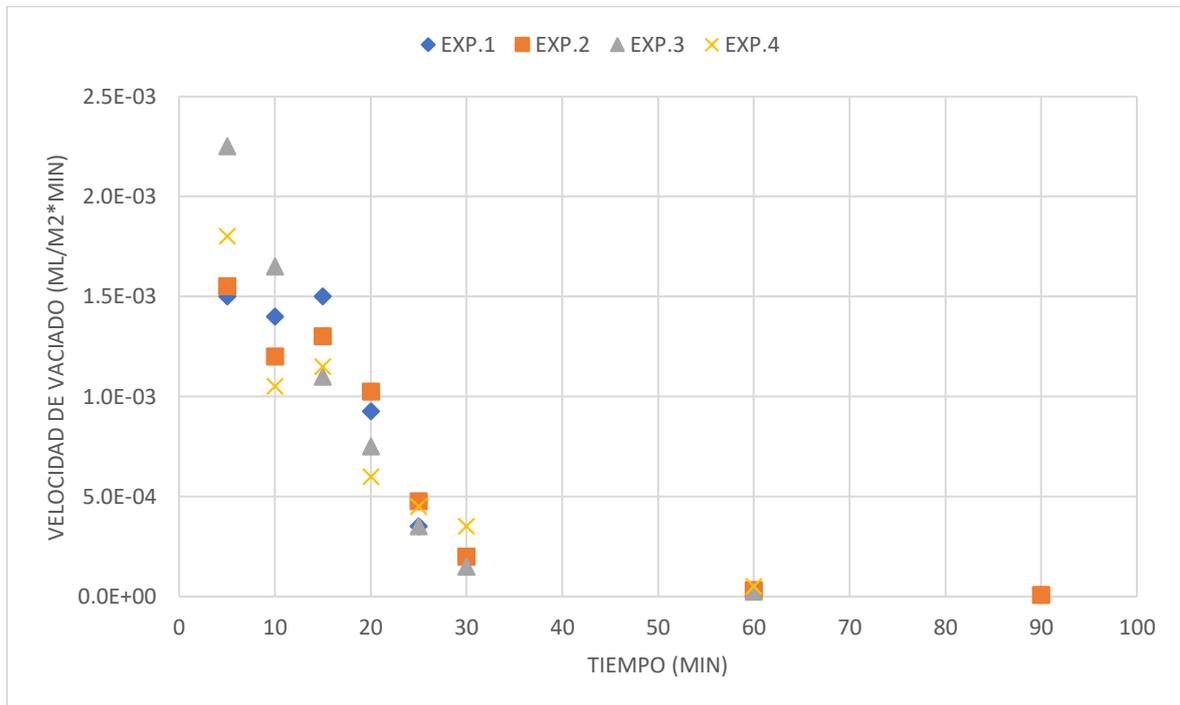


Figura 20. Velocidad de vaciado C2 - Fase 2

5.3.2 Carga hidráulica

En la tabla 21 se observa los valores de la carga hidráulica para los 4 experimentos (B1, B2 y B3), en donde para el experimento 4 se han tratado 5.8 litros por m² durante un día en 10 ciclos.

Tabla 21 CHS - Fase 2

Experimento	CHS l/(m ² *d)
Exp.1	5.4
Exp.2	5.6
Exp.3	4.5
Exp.4	5.8

5.3.3 Carga orgánica superficial

En la tabla 22 se observa los datos de masa de DQO que se trata por tiempo y superficie, obtenidos a partir del balance de materia orgánica del afluente y efluente en cada experimento (Exp.1, Exp.2, Exp.3 y Exp.4). Al tener valores de materia orgánica alta ingresada en cada experimento de valores entre 1200 y 1260 ($\text{g/m}^2\cdot\text{d}$), se puede mencionar que es un valor alto frente a 27 ($\text{g/m}^2\cdot\text{d}$) que es el valor que se suele admitir en humedales artificiales verticales para tratar aguas residuales urbanas. Esto se debe a que las aguas residuales de bodegas vinícolas tienen altos valores de materia orgánica.

Tabla 22 COS - Fase 2

Experimentos	Fechas	Afluente DQO(g)	Efluente DQO(g)	COS ($\text{g/m}^2\cdot\text{d}$)
Exp.1	18/09/2019-24/09/2019	4.99	0.15	1249
Exp.2	26/09/2019-02/10/2019	4.82	0.17	1204
Exp.3	03/10/2019-10/10/2019	5.04	0.17	1260
Exp.4	15/10/2019-21/10/2019	4.99	0.11	1249

5.3.4 Concentraciones afluente y efluente C1 y C2 - Fase 2

En la tabla 23 se puede observar los datos de experimentación con dos columnas en donde los valores de las concentraciones de los afluentes ingresados en la columna C1, es decir la C0 (24542mg/l) tienen altas cargas orgánicas entre 1200-1250 $\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, mismas que se quedarán una gran parte retenida en el filtro, el efluente de la C1 (13600mg/l) será ingresada en la C2 teniendo así valores más bajos (6350mg/l), este volumen ingresa nuevamente el C1 como segundo ciclo y sube la concentración (14320mg/l), esto se debe a que el filtro está siendo lavado y la concentración que se quedó retenida con la carga orgánica alta seguirá saliendo a medida que se ingrese volumen y llegue a establecerse, como se puede ver en el experimento 4 que los valores están más estables.

Tabla 23 Variación de [DQO]mg/l C1 y C2 - **Fase 2**

	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
Columna	DQO (mg/l)	DQO (mg/l)	DQO (mg/l)	DQO (mg/l)
C0	24542	21493	26223	22501
C0 - CO aplicado g/(m²·d)	1249	1204	1260	1249
C1	13600	10600	8760	9330
C2	6350	5270	5620	5540
C1	14320	13610	10030	9220
C2	9360	5070	6490	7240
C1	7410	5740	6870	6290
C2	10680	7680	6780	6860
C1	5540	3780	5460	5160
C2	11180	6820	6160	5950
C1	4900	4700	4430	4190
C2	9020	7220	5600	5020

En la figura 21 se muestra de manera esquemática como se realiza la experimentación en la fase 2. C0 es la concentración del afluente que ingresa en la columna C1, posterior a ello el efluente de la C1 se incorporará en la C2, el efluente que sale de la C2 se colocará en la C1, repitiendo así de esta manera hasta que se cumplan los 5 ciclos por cada columna.

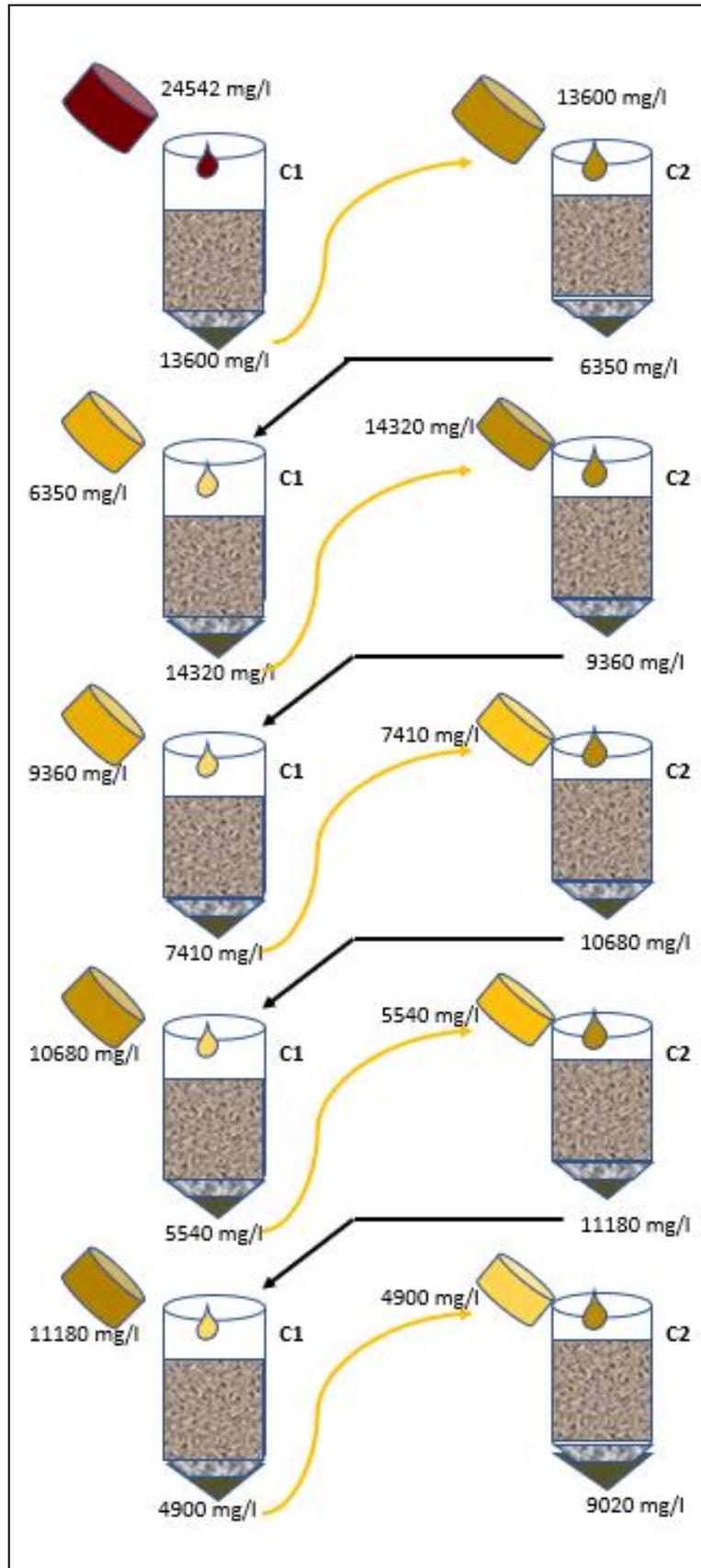


Figura 21. Representación del experimento 1 en la Fase 2

En la figura 22 se puede observar que el experimento 4 es la ecuación que se ajusta más a línea exponencial con la ecuación ($r^2=0.60$) $DQO= 12014e^{-0.106*(N.^{\circ}$ de ciclos), correspondiente al experimento 4. Para obtener una concentración que se pueda ser vertida al alcantarillado se deberá realizar 24 ciclos teniendo una concentración de 944 mg/l y para cumplir los límites de vertido de agua depurada se deberán realizar 44 ciclos y obteniendo una concentración de 113mg/l.

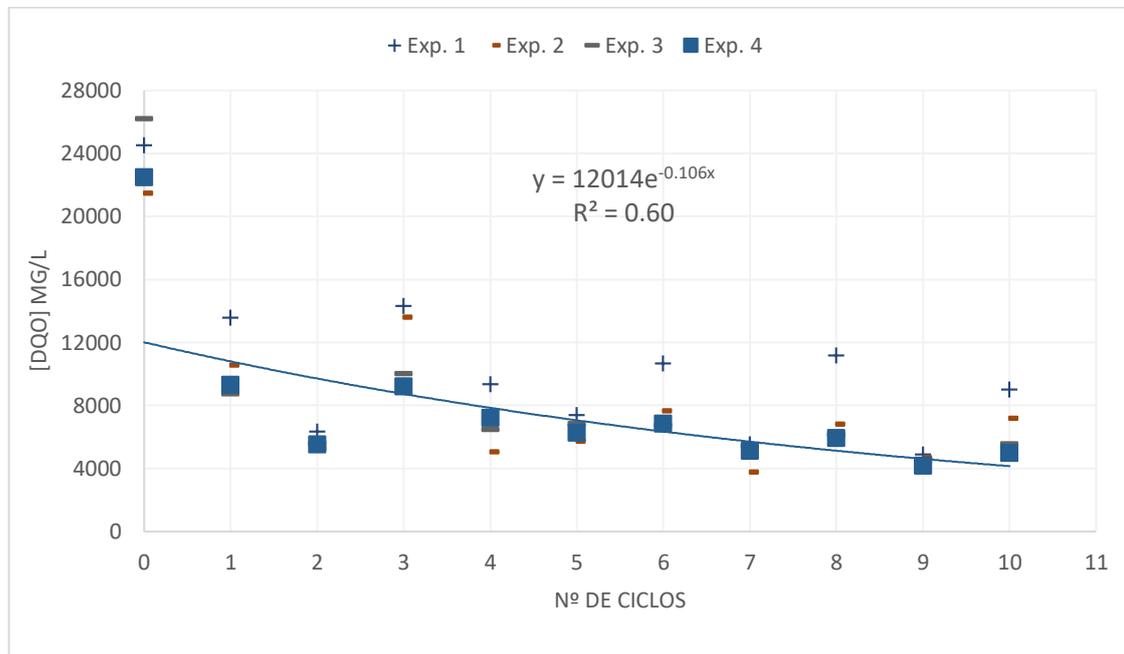


Figura 22. Variación de [DQO] - Fase 2

En la tabla 24 se puede observar que se presentan valores ligeramente altos en los primeros experimentos de cada columna, estos datos son variables por ser los experimentos de la puesta en marcha de la fase 2. En los experimentos finales ya existe una estabilidad en los datos llegando así a concentraciones de 5000mg/l con 10 ciclos, lo que en la fase 1 con 10 ciclos se llega a la mitad.

Tabla 24 Variación de [DQO]mg/l por columna C1 y C2 – Fase2

COLUMNA 1					COLUMNA 2				
Ciclos	EXP 1	EXP 2	EXP 3	EXP 4	Ciclos	EXP 1	EXP 2	EXP 3	EXP 4
Ciclo 1	13600	10600	8760	9330	Ciclo 1	6350	5270	5620	2540
Ciclo 2	14320	13610	10030	9220	Ciclo 2	9360	5070	6490	7240
Ciclo 3	7410	5740	6870	6290	Ciclo 3	10680	7680	6780	6860
Ciclo 4	5540	3780	5460	5160	Ciclo 4	11180	6820	6160	5950
Ciclo 5	4900	4700	4430	4190	Ciclo 5	9020	7220	5600	5020

En la figura 23 se muestra la diferencia de color del agua depurada en el primer ciclo de las dos columnas, en el lado izquierdo se muestra el agua residual a tratar con color marrón oscuro con alta concentración de sólidos como se muestra en la tabla 25 con valores entre 5000 y 7000 mg/l, al salir de la C1 tiene un color más claro, pero al salir de la C2 tiene un color muy similar del que se observa en la fase 1 al final del experimento. Los valores de los sólidos al final de los 10 ciclos son de 300 y 400 mg/l similar en la fase 1. Los sólidos del primer experimento no se los realizó porque fue la primera puesta en marcha de la columna.

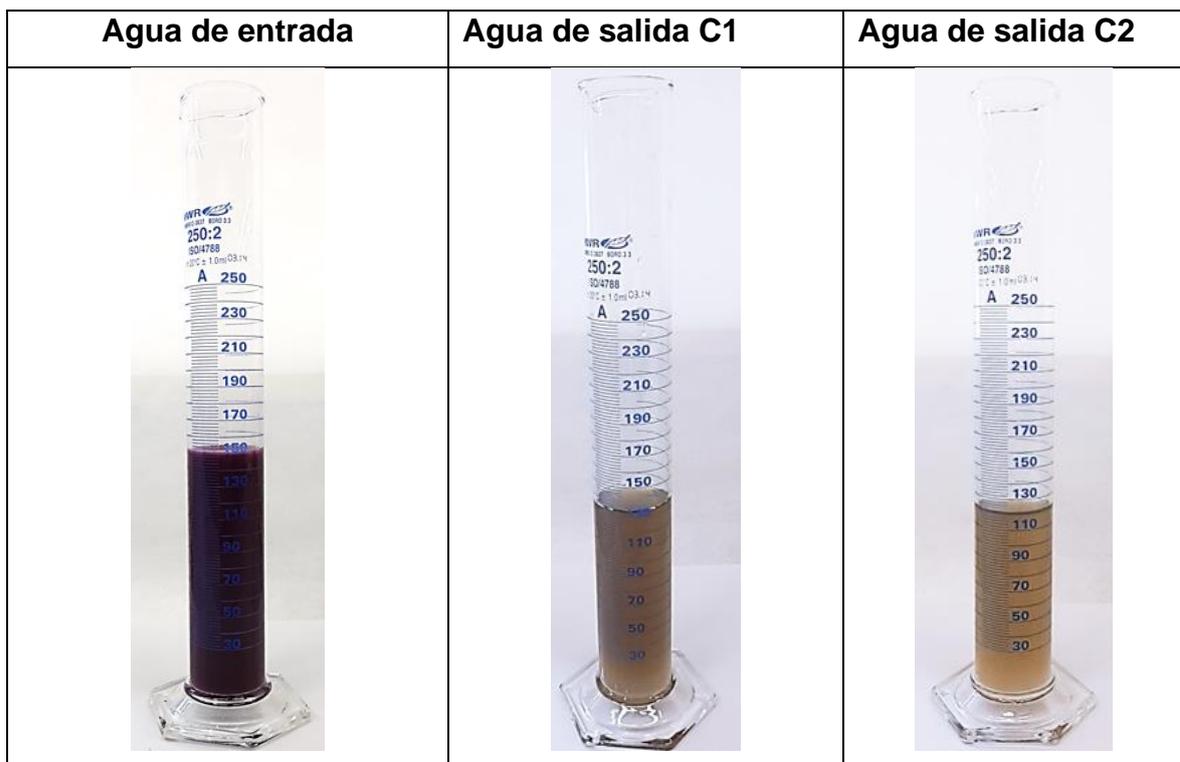


Figura 23. Foto de afluente y efluente en C1 y C2 - Fase 2.

Tabla 25 Variación de [SS]mg/l – Fase 2

Ciclo	[SST] mg/l		
	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
0	7420	5105	7560
10	385	253	450

En la tabla 26 se muestra los valores calculados en términos de masa, en donde la carga orgánica en (mg) en el experimento 4, para cada columna C1 y C2 ya se encuentra estable y a medida que se realizan los experimentos la disminuye la carga por ejemplo en la C1 se observa que de 154mg en el exp.1 baja a 130mg en el exp.4.

Tabla 26 Evaporación en **Fase 2**

		18/09/2019	26/09/2019	03/10/2019	15/10/2019
		Exp.1	Exp.2	Exp.3	Exp.4
Columna	Ciclo	DQO (mg)	DQO (mg)	DQO (mg)	DQO (mg)
C0		4995	4815	5040	4995
C1	1	1782	1410	1235	1269
C2		775	632	714	654
C1	2	1475	1388	1143	1014
C2		899	507	668	746
C1	3	615	465	618	503
C2		812	484	536	460
C1	4	328	193	366	289
C2		503	307	351	268
C1	5	154	155	199	130
C2		609	170	168	105

En la tabla 27 se puede observar los volúmenes de evaporación, en donde los valores son casi similares que en la fase 1, lo que cabe recalcar que es importante la evaporación de manera que se puede llegar a disminuir volumen para gestión de tratamiento en caso de que no se cumplan los límites de vertido.

Tabla 27 Evaporación en **Fase 2**

	# Días (d)	Vol. evaporado (l)
Exp. 1	7	0.079 (52%)
Exp. 2	7	0.082(54%)
Exp. 3	8	0.075(50%)
Exp. 4	7	0.084(56%)

En la figura 24 se muestra el aumento del rendimiento que se obtuvo en la fase 2 calculada con la diferencia de la masa inicial y la de cada salida de columna (C1 y C2) dividida para la inicial teniendo así el porcentaje de rendimiento en términos de masa aplicada.

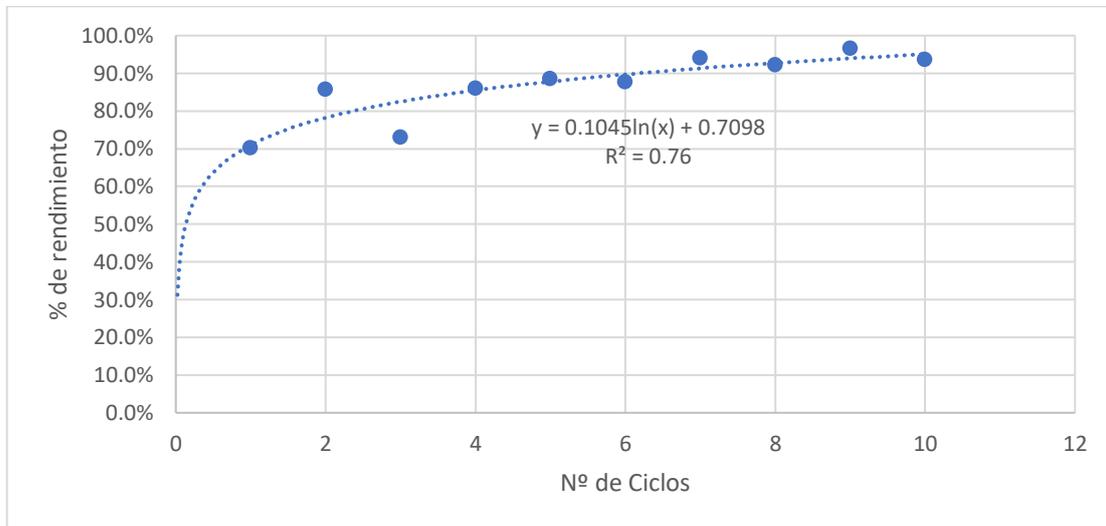


Figura 24. Variación de %rendimiento **Fase 2**

5.4 FASE 3

5.4.1 Velocidad de volumen de vaciado

En la tabla 28 se puede observar los datos de velocidades de carga hidráulica, para la columna 1 C1 con respecto al tiempo en el que salió el volumen para los 5 experimentos (A1, A2, A3, A4 y A5), en donde se puede decir que el valor que corresponde al minuto 90 es el volumen que ha salido del minuto 60 hasta el minuto 90 dividido por el tiempo transcurrido (30 minutos) por la superficie de la columna. Se observan valores bajos de velocidad que en las dos fases anteriores esto se puede deber a que la columna recibe altas cargas. Los datos son ligeramente bajos en los primeros minutos el drenaje y a medida que circula por el filtro disminuye la velocidad.

Tabla 28 Velocidad de vaciado C1 - Fase 3

TIEMPO (min)	Exp.1	Exp.2	Exp.3	Exp.4	Exp.5
	Vel.vac (ml/m ² *min)				
5	1.0E-04	4.0E-04	1.5E-04	2.5E-04	5.0E-05
10	7.5E-05	7.5E-05	5.0E-05	1.5E-04	1.0E-04
15	5.0E-05	1.8E-04	5.0E-05	6.7E-05	8.3E-05
20	3.8E-05	1.0E-04	5.0E-05	5.0E-05	3.8E-05
25	3.0E-05	5.0E-05	2.0E-05	3.0E-05	3.0E-05
30	1.7E-05	5.0E-05	1.7E-05	3.3E-05	3.3E-05
60	9.6E-05	1.2E-04	7.9E-05	7.5E-05	7.5E-05
90	1.9E-05	4.2E-05	3.9E-05	1.1E-04	3.3E-05
120	1.9E-05	5.6E-05	3.3E-05	4.2E-05	2.9E-05

En la figura 25 se puede observar los datos de volumen de vaciado con respecto al tiempo de la columna 1 (C1) con los 4 experimentos (Exp.1, Exp. 2, Exp.3 y Exp.4), en donde se puede decir que la velocidad a crecido ligeramente con respecto a las dos fases anteriores, esto se debe a que a la columna C1 se encuentra más cargada orgánicamente. Calculando la masa total que se encuentra en C1 de 134.8g y calculando cuanto por metro cuadrado tenemos 33699833 g /m². Estos valores nos ayudan a saber por qué existe menos velocidad de vaciado, al pasar el agua residual cada vez por la columna.

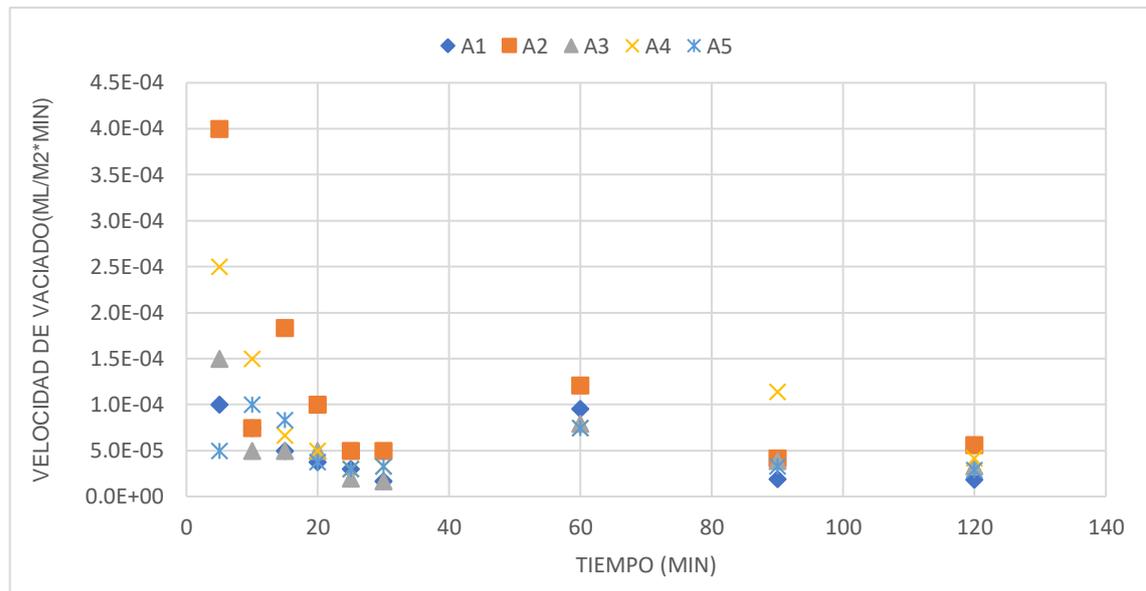


Figura 25. Velocidad de vaciado C1 - Fase 3

En la tabla 29 se puede observar los datos de velocidades de carga hidráulica, para la columna 2 C2 con respecto al tiempo en el que salió el volumen para los 4 experimentos (A1, A2, A3, A4 y A5), en donde se puede decir que el valor que corresponde al minuto 90 es el volumen que ha salido del minuto 60 hasta el minuto 90 dividido por el tiempo transcurrido (30 minutos) por la superficie de la columna. En donde se puede observar bajos valores de las velocidades a los primeros minutos y a medida que circula por el filtro su sistema de drenaje es mayor.

Tabla 29 Velocidad de vaciado C2 - Fase 3

TIEMPO (min)	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5
	Vel.vac (ml/m ² *min)				
5	9.0E-04	1.5E-03	1.8E-03	9.5E-04	9.3E-04
10	2.3E-04	6.8E-04	4.0E-04	2.8E-04	1.4E-04
15	1.2E-04	2.8E-04	2.0E-04	1.7E-04	5.0E-05
20	5.0E-05	1.1E-04	6.3E-05	7.5E-05	2.5E-05
25	6.0E-05	6.0E-05	2.0E-05	1.0E-04	9.0E-05
30	1.7E-05	3.3E-05	4.2E-05	7.5E-05	1.7E-05
60	2.5E-05	1.3E-05	3.8E-05	1.3E-04	3.8E-05
90	4.4E-05	2.5E-05	3.3E-05	3.3E-05	3.3E-05
120	4.0E-05	2.1E-06			2.1E-05

En la figura 26 se puede observar que los datos de volumen de vaciado con respecto al tiempo en la columna 2 (C2) con los 5 experimentos (A1, A2, A3, A4, A5).

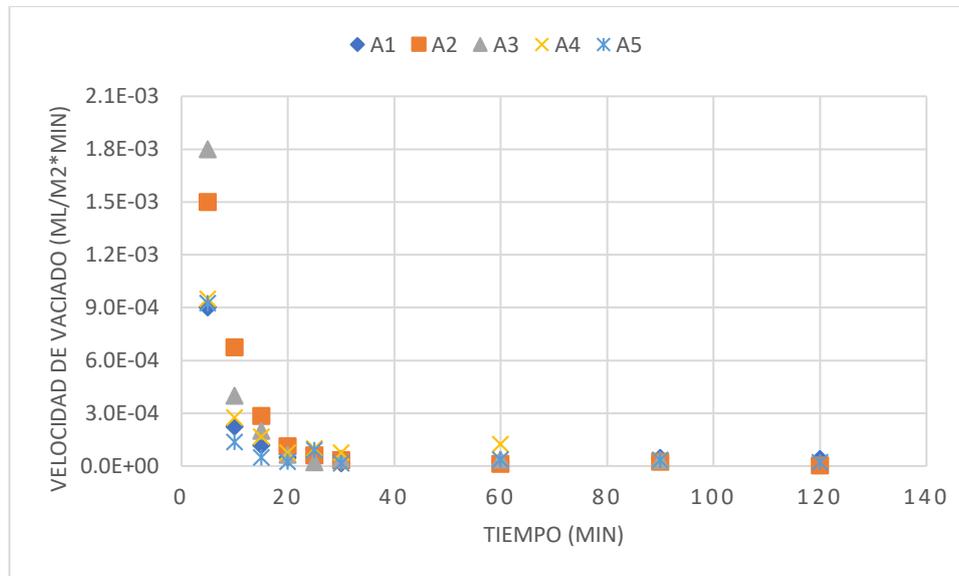


Figura 26. Velocidad de vaciado C2 - Fase 3

5.4.2 Carga hidráulica

En la tabla 30 se observa los valores de la carga hidráulica para los 5 experimentos (A1, A2, A3, A4 y A5), en donde para el experimento 5 se han tratado entre 5.8 litros por m² durante un día en un experimento.

Tabla 30 CHS - Fase 3

Experimento	CHS l/(m ² *d)
A1	6.3
A2	6.8
A3	4.8
A4	6.3
A5	5.8

5.4.3 Carga orgánica superficial

En la tabla 31 se observa los datos de masa de DQO que se trata por tiempo y superficie, obtenidos a partir del balance de materia orgánica del afluente y efluente en cada experimento (A1, A2, A3, A4 y A5). Al tener un valor de entre 900-1000 (g/m²*d) de carga orgánica, se puede mencionar que es un valor alto frente a 27

(g/m²*d) que es el valor que se suele admitir en humedales artificiales verticales para tratar aguas residuales urbanas. Esto se debe a que las aguas residuales de bodegas vinícolas tienen altos valores de materia orgánica.

Tabla 31 COS - Fase 3

Experimentos	Fechas	Afluyente DQO(g)	Efluyente DQO(g)	COS (g/m ² *d)
A1	22/10/2019	4.97	0.31	1163
A2	23/10/2019	4.94	0.50	1109
A3	24/10/2019	4.82	1.14	919
A4	25/10/2019	6.47	1.26	1301
A5	28/10/2019	5.49	1.47	1006

5.4.4 Concentraciones afluyente y efluente C1 y C2 - Fase 3

A partir de la Fase 2 teniendo buenos resultados en el ciclo 1 de la columna 2 se decide realizar la Fase 3. Se filtra el agua por la columna 1 y luego el agua que salga de ella pasarla por la columna 2 y hasta ahí llega el experimento, se realizan 5 experimentos para observar su rendimiento. En la tabla 32 se puede observar que las concentraciones iniciales C0 tienen un valor similar, pero en los 2 últimos experimentos se aumenta la concentración debido a que son los últimos volúmenes del bidón. A medida que se realiza la filtración por la C1 aumenta la concentración debido a que al ingresar una alta concentración queda una parte de aquella en el filtro para más tarde salir en el siguiente experimento de igual manera sucede en la C2.

Tabla 32 Variación de [DQO]mg/l Fase 3

Experimentos	[DQO] mg/l		
	C0	Columna C1	Columna C2
A1	33100	4040	2790
A2	32900	12520	4480
A3	32100	13350	9910
A4	43100	14830	11260
A5	36600	17450	12980

En la figura 27 se puede observar la variación de concentraciones de DQO (mg/l) en la Fase 3 con 5 experimentos. Se obtuvo las ecuaciones de extrapolación exponencial para cada experimento: para el experimento A1 $DQO=24796e^{-1.237*(N^{\circ} \text{ Columnas})}$, A2 $DQO=33239e^{-0.997*(N^{\circ} \text{ Columnas})}$, A3 $DQO=29145e^{-0.588*(N^{\circ} \text{ Columnas})}$, A4 $DQO=37774e^{-0.671*(N^{\circ} \text{ Columnas})}$ y para A5 $DQO=33985e^{-0.518*(N^{\circ} \text{ Columnas})}$.

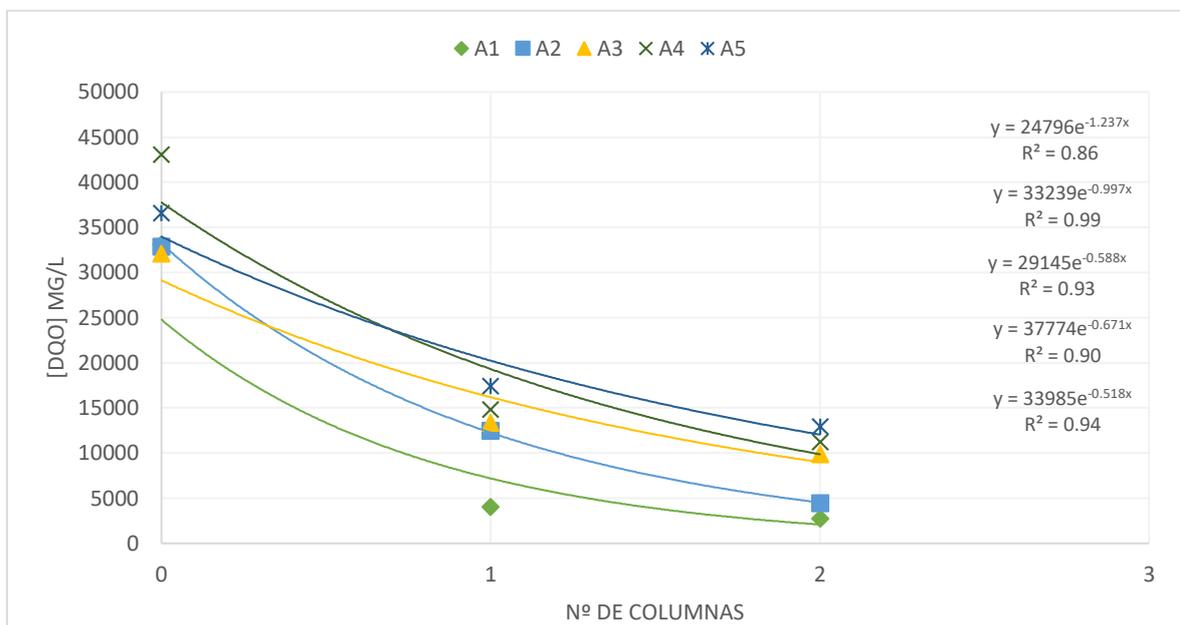


Figura 27. Variación de DQO (mg/l) Fase 3

En la figura 28 se puede observar la concentración con relación a los experimentos, en base a las ecuaciones de las concentraciones de materia orgánica se puede determinar que con 6 columnas (C6) se puede llegar a concentraciones de 1519mg/l en el experimento 5(A5) que se asemeja a los valores que pueden ser vertidos al sistema de alcantarillado.

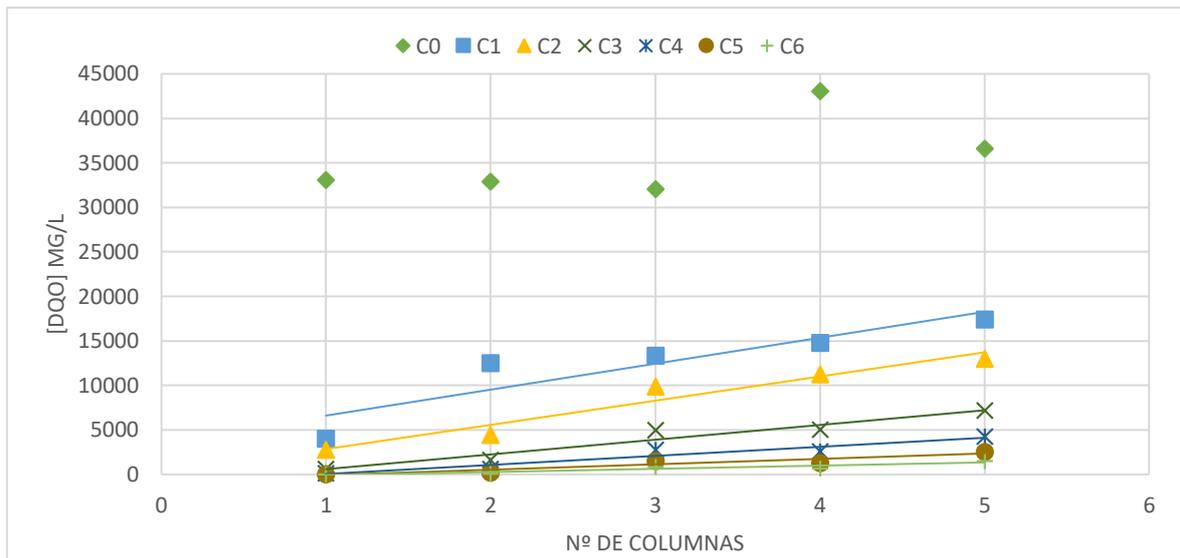


Figura 28. Columnas necesarias para disminuir DQO (mg/l) Fase 3

En la tabla 33 se puede observar que en términos de sólidos suspendidos totales las concentraciones si bajan de valores medios de 7000mg/l a valores medios de 250mg/l, los valores altos de sólidos en los 2 últimos experimentos se debe a que quedaron solidos al final del bidón y esta es la causa de la subida de sólidos.

Tabla 33 Variación de [SST]mg/l Fase 3

Ciclo	[SST] mg/l				
	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5
C0	7430	6120	7035	12940	11455
C1	270	790	395	185	320
C2	450	470	395	270	265

En la tabla 34 se muestran los datos de evaporación en cada experimento teniendo valores bajos con relación a las otras fases esto se debe a que cada experimento se lo realizo en un día.

Tabla 34 Evaporación en Fase 3

Experimentos	# Días (d)	Vol. evaporado (l)
A 1	1	0.013 (9%)
A 2	1	0.014(9%)
A 3	1	0.010(7%)
A 4	1	0.013(9%)
A5	1	0.012(8%)

Capítulo 6. CONCLUSIONES

- Se ha comprobado que un filtro intermitente de arena es capaz de eliminar, dependiendo de su modo de operación cerca del 90%, en términos de masa, de la DQO de aguas residuales procedentes de la industria vinícola.
- Ese alto grado de eliminación no es suficiente para conseguir el límite de 1000 mg/l de DQO para vertido a red de saneamiento o de 125 mg/l a cauce público a no ser que se realicen un gran número de ciclos de recirculación.
- Para cumplir límites de vertido, en la fase 1 se necesitan 22 ciclos en 44 horas y para la fase 2 se necesitan 44 ciclos en es decir el doble de tiempo que la fase 1.
- El sistema con recirculación del efluente tuvo un efecto beneficioso cuando se aplicó con una sola columna durante el tratamiento de agua residual de concentración alta, llegando a concentraciones más bajas que las demás fases.
- La configuración de dos columnas en serie con recirculación no presenta ventajas significativas frente a una columna con recirculación.
- La fase sin recirculación con dos columnas no se considera un sistema para tratamiento de estos afluentes ya que con cada repetición del tratamiento aumenta su concentración en el efluente.
- La eliminación de SST en los mismos ensayos para la DQO sí que muestra una reducción significativa en masa y concentración, quedando en valores similares a un agua residual urbana típica.
- El elevado aporte de sólidos ha afectado a la velocidad de infiltración, como cabía esperar, aunque el volumen de 150 ml sigue filtrando prácticamente en dos horas.
- Ese aporte se ha acumulado en cada ingreso de agua teniendo 134.8g en la columna y es por ello por lo que la velocidad ha disminuido, al quedar la columna cargada orgánicamente.
- La evaporación juega un papel importante en estos sistemas ya que al perderse del orden del 55% del volumen de entrada se produce un efecto de



concentración de los contaminantes. Por ello es también difícil alcanzar las concentraciones de límite de vertido.

- La carga que ingresa es de $37.5 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ este valor es bajo frente a carga que se suele admitir en humedales artificiales verticales para tratar aguas residuales urbanas que son de $80 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.
- La carga orgánica calculada es del orden de $1600 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, alcanzando a tasas de eliminación superficial alrededor de $160 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, llegando a eliminaciones del 90% siendo así un valor que supera los $27 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ que se suele admitir en humedales artificiales verticales para tratar aguas residuales urbanas.

Capítulo 7. REFERENCIAS

- Metcalf and Eddy. (2003). *Wastewater Engineering-Treatment and reuse* (4 ed.). Boston.
- Alvarez, J., Ruíz, I., & Soto, M. (2008). Anaerobic digesters as a pretreatment for constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 33, 54-67.
- Andrades, J. (2008). Características y tratamientos de las aguas residuales industriales por sectores: agrícolas y alimentarias II. Instalaciones bodegueras, bebidas alcohólicas y elaboración de azúcar de remolacha. 2-41.
- ASEVEX. (2009). Proyecto: Integración del factor ambiental en el sector vinícola de Extremadura. (*Asociación de Empresas Vinícolas de Extremadura*).
- Berland J.(OIEau), B. C. (2001). *GUIA- PROCESOS EXTENSIVOS DE DEPURACION DE LAS AGUAS RESIDUALES-ADAPTADAS A LAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS COLECTIVIDADES (500-5000 H.E.)*. Luxembourg: Oficina Internacional del agua.
- D.I.R.C.E. (2018). “*Estructura y dinamismo del tejido empresarial en España*”. Instituto Nacional de Estadística. Obtenido de www.ine.es/prensa/prensa.htm
- De la Varga, D. (2014). Depuración de aguas residuales en digestores anaerobios y humedales construidos: Aplicación a la industria vinícola. Tesis de doctorado. *Fundación AQUAE. Universidad A Coruña*, 20-245.
- DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN DIGESTORES ANAEROBIOS Y HUMEDALES CONSTRUIDOS: APLICACIÓN A LA INDUSTRIA VITIVINÍCOLA. (2014). *Fundación AQUAE*, 20-245.
- Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Stein, O., & Sperling, M. (2017). Treatment Wetlands. En *Biological Wastewater Treatment Series. IWA Task Group on Mainstreaming the Use of Treatment Wetlands* (Vol. 7, págs. 1-172). London SW1H 0QS, UK.
- Duarte, E. R. (2004). Implementation of an environmental management plan towards the global quality concept-A challenge to the winery sector. In: *Proceeding of*

the 3rd International Specialised Conference on Sustainable Viticulture and winery management. Barcelona.

Edafotec. (2015). *Diseño y construcción de un humedal reactivo para tratamiento de aguas de bodega. Quinta do Sairrão, Alto Douro, Portugal*. Obtenido de <https://www.edafotec.com/proyecto/tratamiento-de-aguas-de-bodega/>

EIP-AGRI. (2019). "Opportunities for farm diversification in the circular bioeconomy".

EPA. (1999). U.S. Environmental Protection Agency Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Filtros intermitentes de arena. EPA 832-F-99-067. Washington, D.C., 20460.

Flores, L., García, J., Pena, R., & Garfí, M. (2019). Constructed wetlands for winery wastewater treatment: A comparative Life Cycle Assessment. *Elsiever*, 659, 1567-1576.

León, K. (2013). *SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SANITARIAS, POR FITODEPURACIÓN CON LECHO FILTRANTE*. Mexico.

M., S. (1920). *Silice Serral S.L.* Obtenido de <https://silicesserral.com/>

Masi F., C. G. (2002). Winery high organic content wastewaters treated by constructed wetlands in Mediterranean climate.

Masi, F., Rochereau, J., Troesch, S., Ruiz, I., & Soto, M. (2015). Wineries wastewater treatment by constructed wetlands: a review. *Water Science & Technology*, 71 (8), 1113-1127.

MBP-WETWINE. (2018). *Manual de Buenas Prácticas*.

MDARU. (2008). MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS. En *Alianza por el agua-Monográficos Agua en Centroamérica* (Ideasmares ed., Vol. 3, págs. 1-264).

Moletta, R. (2005). Winery and distillery wastewater treatment by anaerobic digestion. *Water Science and Technology*, 51 (Nº1), 137-144.

Mottier V., B. F. (2000). Wastewater treatment by infiltration percolation: a case study, in *Water Science and Technology*.

- OIV. (2018). *International Organisation of Vine and Wine. Situation report for The World Vitivinicultural Sector in 2018*. Obtenido de Organisation Internationale de la Vigne et du Vin: <http://www.oiv.int/fr/organisation-internationale-de-la-vigne-et-du-vin>
- Petruccioli M., D. C. (2002). Aerobic treatment of winery wastewater using a jet-loop activated sludge reactor. *Process Biochemistry*, 37, 821-829.
- Quintano, J., Fuentelsaz, F., & Peiteado, C. (2016). GUIA DE BUENAS PRÁCTICAS EN VIÑEDOS. (WWF/Adema, Ed.) *MISION POSIBLE (CONSERVAR EL AGUA DE LA MANCHA)*, 1-68.
- Rodriguez, A., Moreira, P., Oliveira, J., Oliveira, M., Melo, L., & Brito, A. (2004). TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS NA INDÚSTRIA ALIMENTAR: O CASO DOS SECTORES VINÍCOLA E CERVEJEIRO.
- Rodriguez, J., Bordas, M., Espinosa, G., & Puig, A. (2007). *Manual para la gestión de vertidos - Autorización de vertido*. Secretaria General Técnica - Ministerio del Ambiente.
- Ruiz F. (2010). Tratamiento de efluentes en bodegas. *Interempresas (INDUSTRIA VINICOLA)*.
- Santos, D., & Brito, C. (2001). *Tratamento de efluentes por processos naturais*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10400.1/45>
- Serrano et al. (2011). Winery wastewater treatment in a hybrid constructed wetland. 746-750.
- Serrano, D. (2012). Tratamiento anaerobio acidogénico de efluentes de la industria vitivinícola. Universidad Castilla-La Mancha.
- Shepherd, H. G. (2001). Treatment of High-Strength Winery Wastewater Using a Subsurface-Flow Constructed Wetland. *Water Environment Research*, 73(4), 394-403.
- Vieira, R. (2009). Contribuição para o estudo do tratamento de efluentes da indústria vinícola. Dissertação de Mestrado: Engenharia do Ambiente, perfil Sanitária - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Nova de Lisboa. 97.



WETWINE. (2017). Nº1. 10-36. Obtenido de <http://wetwine.eu/revista-wetwine/>

WETWINE. (2018). Nº2. .

WETWINE. (2019). Nº3.