

Manual de Buenas Prácticas

# WETWINE



El proyecto WETWINE (SOE1/P5/E0300) fue aprobado en la 1<sup>a</sup> Convocatoria del Programa Interreg Sudoe 2014 – 2020 y está cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional



#### Consorcio proyecto WETWINE

AGACAL  
AXENCIA GALEGA  
DA CALIDADE ALIMENTARIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Group of Environmental Engineering  
and Microbiology



El contenido de este Manual de Buenas Prácticas es responsabilidad exclusiva de los socios del proyecto WETWINE, el Programa Sudoe no se hace responsable del uso que se pueda hacer de la información y resultados obtenidos.

Copyright © 2018 | WETWINE Project

# ÍNDICE

## **1. PRESENTACIÓN DEL MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS, 5**

    ESCENARIO DE PARTIDA, 6  
    CONOCE UN POCO MÁS SOBRE EL PROYECTO WETWINE, 7  
    OBJETIVO DE ESTE MBP, 7

## **2. INTRODUCCIÓN A LA GESTIÓN DE EFLUENTES DE BODEGA, 9**

    CONSUMO DE AGUA Y GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES, 10  
    CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES, 11  
        TOMA DE MUESTRAS, 12  
    MARCO LEGAL DE LA GESTIÓN DE EFLUENTES, 12

## **3. TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE BODEGA, 13**

    PROCESOS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES, 14  
    ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, 14  
    TRATAMIENTOS CONVENCIONALES VS NO CONVENCIONALES, 16  
        TRATAMIENTOS CONVENCIONALES, 16  
        TRATAMIENTOS NO CONVENCIONALES, 16  
    ELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO IDÓNEO, 17  
        INTRODUCCIÓN AL SISTEMA WETWINE, 18

## **4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA WETWINE, 19**

    DESCRIPCIÓN GENERAL, 20  
    DIGESTOR HUSB (HYDROLYTIC UPFLOW SLUDGE BED), 20  
        LÍNEA DE TRATAMIENTO DE AGUAS, 21  
            HUMEDALES VERTICALES, 22  
            HUMEDALES HORIZONTALES, 22  
        LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS, 23  
            VENTAJAS E INCONVENIENTES, 24

## **5. RECOMENDACIONES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA WETWINE, 25**

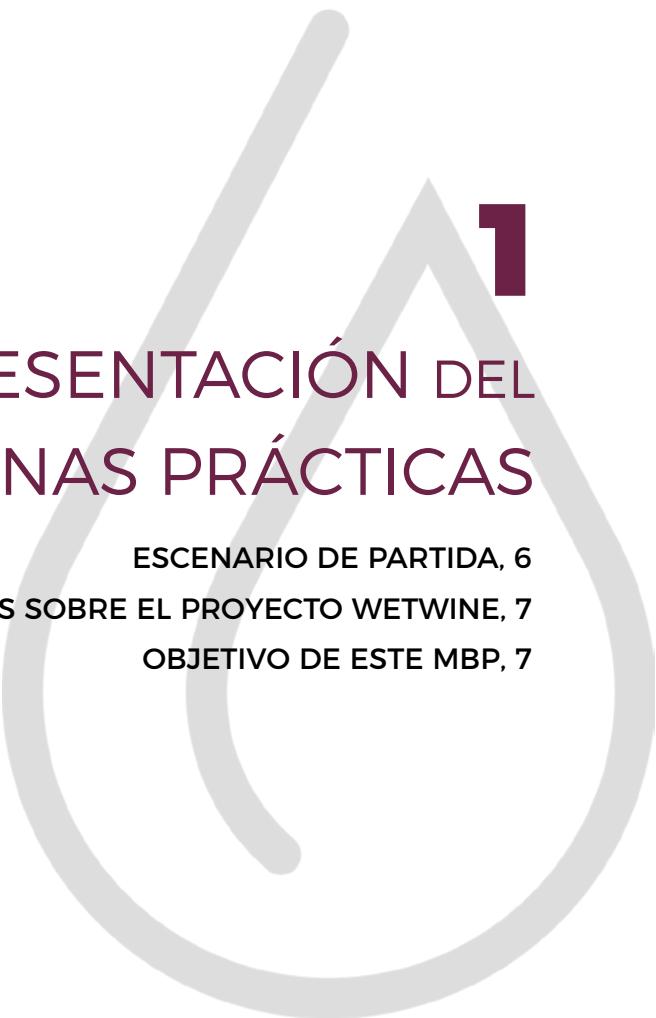
DISEÑO DEL TRATAMIENTO PRIMARIO - REACTOR HUSB,	26
MOVIMIENTO DE TIERRAS Y ESTRUCTURAS DE LOS HUMEDALES,	26
CONDUCCIONES: ALIMENTACIÓN, DRENAJE Y VENTILACIÓN,	27
HUMEDALES VERTICALES,	27
HUMEDALES HORIZONTALES,	28
HUMEDALES DE LODOS,	28
SUSTRATOS FILTRANTES,	29
HUMEDALES VERTICALES,	29
HUMEDALES HORIZONTALES,	29
HUMEDALES DE LODOS,	30
VEGETACIÓN,	30

## **6. MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA WETWINE, 31**

COMPROBACIONES PREVIAS A LA PUESTA EN MARCHA,	32
PUESTA EN MARCHA,	32
MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE LOS HUMEDALES,	33

## **7. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DEL SISTEMA WETWINE, 35**

**BIBLIOGRAFÍA, 39**



1

# PRESENTACIÓN DEL MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS

ESCENARIO DE PARTIDA, 6

CONOCE UN POCO MÁS SOBRE EL PROYECTO WETWINE, 7

OBJETIVO DE ESTE MBP, 7

# Presentación de buenas prácticas de elaboración de vino

## ESCENARIO DE PARTIDA

El sector vitivinícola tiene una gran relevancia en el ámbito Europeo, especialmente en la zona Sudoe (España, Portugal y sur de Francia), debido a su impacto socioeconómico como actividad agraria y productiva pero también desde una perspectiva medioambiental y de sostenibilidad.

Desde esta perspectiva medioambiental y de sostenibilidad, podemos considerar multitud de aspectos claves a tener en cuenta en el sector, como pueden ser: prácticas agronómicas sostenibles, biodiversidad, impacto del cambio climático, relevo generacional y otros muchos que actualmente están siendo discutidos y tratados en profundidad por parte del sector y la comunidad científica.

Sin embargo, no deja de llamar la atención que, en la actualidad, numerosas bodegas carecen de sistemas de tratamiento de aguas residuales, poseen sistemas que no se adaptan a las particularidades de la tipología y estacionalidad de sus vertidos o que directamente no funcionan por falta de mantenimiento.

Por este motivo, el proyecto WETWINE se centra en un aspecto clave directamente relacionado con el impacto medioambiental de la actividad vitivinícola como es la **valorización y reutilización de los efluentes generados en bodega**, que acerque la producción de uva y la elaboración del vino a un **modelo de economía circular más sostenible**.

Por lo tanto el proyecto WETWINE pretende alcanzar este objetivo centrándose en dos puntos clave:

**1 EL CONSUMO DE AGUA Y LA GESTIÓN DE LOS EFLUENTES PROCEDENTES DEL PROCESO PRODUCTIVO EN BODEGA.**

**2 REVALORIZACIÓN DE LOS LODOS COMO ABONO PARA EL VIÑEDO Y LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS DEPURADAS PARA RIEGO.**



## **CONOCE UN POCO MÁS SOBRE EL PROYECTO WETWINE**

WETWINE, es un proyecto del Programa de cooperación transnacional Interreg Sudoe cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) que se ha desarrollado en 12 regiones vitivinícolas del Sudoeste Europeo, en el que participan 8 socios y 3 bodegas asociadas de España, Portugal y Francia.

El objetivo principal del proyecto WETWINE es promover el uso racional de los recursos y su revalorización, limitando la generación de residuos y la contaminación de suelos y aguas de los territorios Sudoe.

Para ello, el proyecto WETWINE impulsa un sistema de tratamiento y valorización de residuos vitivinícolas basados en tecnologías naturales de bajo coste. WETWINE promueve un modelo de gestión de efluentes vitivinícolas mediante humedales construidos que permita tanto el tratamiento de las aguas residuales para su reutilización como riego como la valorización de los lodos resultantes mediante la obtención de un abono.

Para la validación de este sistema de tratamiento y valorización, WETWINE ha construido en la Bodega Santiago Ruiz, situada en el Sur de Galicia (España), una planta piloto basada en la combinación de un sistema anaerobio y uno de humedales construidos de tratamiento de aguas y lodos, que permitirá adaptar las estrategias de diseño y operación de los sistemas de humedales construidos a las características y particularidades de las aguas residuales de la bodega.

+ INFO : [wetwine.eu](http://wetwine.eu)

## **OBJETIVO DE ESTE MBP**

El objetivo de este Manual de Buenas Prácticas es difundir ampliamente el modelo de gestión de efluentes vitivinícolas propuesto en el proyecto WETWINE, incidiendo en las diferentes etapas del proceso y haciendo también hincapié en la reducción del impacto en el medio ambiente del sistema global de valorización WETWINE.

El MBP WETWINE contribuye directamente a la transferencia y difusión de los resultados del proyecto y a la concienciación medioambiental de todos los agentes involucrados en la cadena de valor del sistema vitivinícola de la región del Sudoeste Europeo.

Toda la información recabada y resultados alcanzados en esta fase de desarrollo del proyecto, como son: datos obtenidos de la construcción, puesta en marcha y operación de la planta piloto WETWINE, información recabada en las diferentes tareas y acciones realizadas en el ámbito del proyecto; así como la amplia experiencia y conocimientos técnicos en el tratamiento de efluentes y en aspectos agronómicos relacionados con la valorización y reutilización de los residuos vitivinícolas que poseen los socios participantes, han permitido la redacción de este primera versión del MBP WETWINE.

Este MBP será utilizado en las acciones de transferencia y difusión de resultados previstos en la última fase del proyecto WETWINE. Finalmente, a cierre del proyecto, se producirá una versión final del MBP WETWINE que recoja las mejoras identificadas y propuestas por los usuarios finales e incorpore los últimos resultados y avances alcanzados en el proyecto.



# 2

## INTRODUCCIÓN A LA GESTIÓN DE EFLUENTES DE BODEGA

CONSUMO DE AGUA Y GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES, 10

CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES, 11

TOMA DE MUESTRAS, 12

MARCO LEGAL DE LA GESTIÓN DE EFLUENTES, 12

## CONSUMO DE AGUA Y GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

El mayor consumo de agua en bodega está asociado a diferentes tareas del proceso productivo, entre los que podemos destacar: la limpieza, los sistemas de refrigeración o la preparación de lechos filtrantes. No obstante, se estima que el **90% del consumo de agua de una bodega está directamente relacionado con las diferentes tareas de la limpieza de depósitos, equipos, maquinaria o instalaciones.**

En referencia a las diferentes etapas del proceso productivo, se observa que la mayor parte de la carga contaminante y volumen de los efluentes vitivinícolas (cerca del 60%) están concentrados en el período de 5 semanas después del inicio de la vendimia. Aproximadamente el 40% del total corresponde a la vendimia propiamente dicha y el resto a los primeros trasiegos, con puntas diarias que pueden llegar al 2% del volumen anual (Pirra, 2008).

Es preciso puntualizar que también existen **importantes diferencias en función del tipo de vino**. Por ejemplo, entre la elaboración de vino tinto y blanco existe gran desigualdad, tanto a nivel de carga contaminante como en el consumo de agua: se estima que la carga de materia orgánica puede ser cinco veces mayor y el volumen de aguas residuales generadas puede alcanzar hasta el doble en las elaboraciones de tinto con respecto a las de blanco.

En términos generales, el **consumo de agua en las bodegas oscila entre 1 y 6 litros por cada litro de vino elaborado**. Este ratio depende de varios factores, como pueden ser: instalaciones, tipo de suelos, equipos y tecnologías de limpieza, hábitos de limpieza, costes de abastecimiento y de depuración de agua.

Alcanzar ratios de 1:1, **consumos de 1 de litro de agua por litro de vino elaborado** sin comprometer ninguna etapa o tarea ni los niveles de higiene del proceso productivo es **perfectamente viable hoy en día**. No obstante, hasta ahora los aspectos legales y económicos asociados al consumo de agua y a la depuración de efluentes no han tenido el suficiente impacto en el sector como para conseguir la reducción deseada.

Estos datos determinan que los **vertidos de una bodega tienen una gran variabilidad**, tanto desde un punto de vista cuantitativo como cualitativo, en función de la época del año, operación que origina el vertido, el tipo de elaboración/es de la bodega u otros aspectos clave, como la preocupación del personal de bodega en el ahorro de agua y en la gestión de los efluentes.

Por este motivo, es prácticamente imposible determinar el **efluente “tipo” de una bodega**, tanto a nivel de volumen como de caracterización de sus parámetros de vertido.

# CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

En la época de vendimia los contaminantes proceden mayormente de restos de mosto y restos sólidos (pepititas, hollejos y raspones), así como restos de fermentación en depósito (llás). Por norma general, los vertidos se caracterizan por tener bajos pH, altas concentraciones de sólidos en suspensión y altas cargas orgánicas fácilmente biodegradables.

El resto de operaciones de bodega fuera de la época de vendimia engloban multitud de procesos con gran diversidad en la composición de los contaminantes, influidos por los productos enológicos y de limpieza utilizados. En general, se puede considerar que los vertidos tienen una mayor variabilidad en pH en función de la operación y una menor concentración en sólidos en suspensión y cargas orgánicas.

La caracterización de los efluentes de bodega es fundamental para: acotar la variabilidad desde el punto de vista de un correcto diseño de un sistema de gestión de efluentes, comprobar el funcionamiento correcto de una planta en operación o controlar la calidad de los vertidos tras la depuración.

Los parámetros más habituales para la caracterización de las aguas de vertido y el control del sistema de tratamiento son los que se detallan a continuación. Estos parámetros tienen una alta variabilidad, no obstante entre paréntesis se indica a modo orientativo el rango en el que se suele situar los valores en cada uno de ellos:

**pH - potencial de hidrógeno:** es una medida de acidez o alcalinidad que indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones. La escala de pH varía de 0 a 14. Son ácidas las disoluciones con pH menores que 7 y alcalinas las de pH superior a 7, mientras que se consideran neutras cuando su pH es igual a 7. El pH es un parámetro fundamental en el desarrollo de las bacterias en los sistemas biológicos de depuración [4 - 6,5].

**DBO<sub>5</sub> - demanda biológica de oxígeno:** parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido en la degradación de la materia orgánica de una muestra líquida. Se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg O<sub>2</sub>/l) y es un parámetro de interés en muestras de agua que contienen una cantidad apreciable de materia orgánica [1.500 - 6.000 mg O<sub>2</sub>/l].

**DQO - demanda química de oxígeno:** mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg O<sub>2</sub>/l) y, al igual que la DBO<sub>5</sub>, también permite medir principalmente la concentración de materia orgánica, pero teniendo en cuenta las sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas. Al igual que la DBO<sub>5</sub> es muy útil para el diseño y control de los sistemas de depuración y son una medida del impacto que tendría el vertido sobre los niveles de oxígeno del cauce receptor [2.000 - 10.000 mg O<sub>2</sub>/l].

**SST - sólidos en suspensión totales:** indica la cantidad de sólidos presentes en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos, como por ejemplo la filtración en vacío o la centrifugación del líquido. Se expresa en miligramos por litro (mg/l) y es un parámetro habitual en la calificación de la calidad del agua y en el tratamiento de aguas residuales. Cuantifica el impacto de los sólidos en el cauce receptor, cuya acumulación da lugar a turbidez y a la formación de fangos [1.000 - 2.500 mg/l].

**NTK - nitrógeno total Kjeldahl:** Refleja la cantidad total de nitrógeno en el agua analizada, suma del nitrógeno orgánico en sus diversas formas y el ión amonio NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; y es un parámetro importante en estaciones depuradoras de aguas residuales que mide el nitrógeno total capaz de ser nitrificado a nitritos y nitratos. El nitrógeno es necesario para el crecimiento de los microorganismos, pero también contribuye al agotamiento del oxígeno y la eutrofización de las aguas cuando se encuentra en elevadas concentraciones [20 - 200 mg/l].

**P<sub>total</sub> - fósforo total:** El fósforo total es la suma de los compuestos de las tres formas de fósforo: ortofosfatos solubles, polifosfatos inorgánicos y fosfatos orgánicos. Se expresa en miligramos por litro (mg/l) y se trata de otro componente del agua residual importante para el crecimiento biológico de los microorganismos. Tanto el NTK como el P<sub>total</sub> son parámetros representativos para la medida de nutrientes de la eutrofización (crecimiento excesivo de algas y otras plantas) del cauce receptor [10 - 50 mg/l].

## TOMA DE MUESTRAS

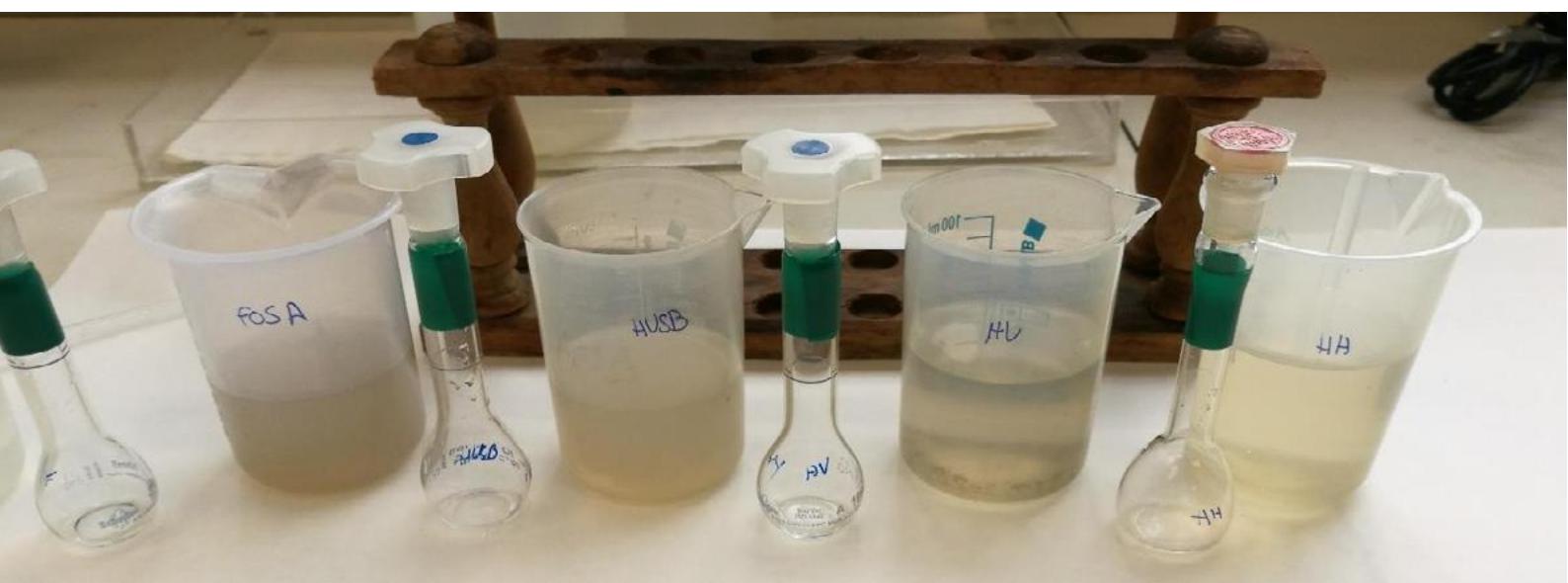
El proceso de muestreo es también una tarea determinante en la caracterización de los efluentes. Los muestreos deben seguir un protocolo de recogida de forma que la toma no afecte al resultado final.

**Como recomendaciones generales** para el muestreo: deben utilizarse botes limpios de 1 a 2 litros, posteriormente refrigerar las muestras para evitar alteraciones físico-químicas y microbiológicas, finalmente deben ser analizadas en un periodo no superior a las 48 horas.

Los sistemas de muestreo pueden diferenciarse en función de **cómo se toma la muestra**, que puede ser: puntual, compuesta o proporcional al caudal (siendo estas últimas las más representativas)

**La época y periodicidad** también es determinante: se recomienda la mayor frecuencia de muestreos en vendimia, una frecuencia intermedia en periodos anteriores y posteriores a la vendimia y una menor frecuencia durante el resto del año.

En cualquier caso los procedimientos y frecuencias de la toma de muestras deberán adaptarse a las **características y particularidades de cada bodega y sistema de depuración**.



## MARCO LEGAL DE LA GESTIÓN DE EFLUENTES

La legislación de aplicación en el ámbito de la gestión de los efluentes es muy amplia y compleja, dependiente de las respectivas cuencas hidrográficas y diversas normativas de ámbito municipal, regional y/o nacional.

La **Directiva de la UE 91/271/CEE** es la base del desarrollo normativo y de la trasposición al ordenamiento jurídico de los diferentes estados miembros. La **Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE)** es otra normativa de referencia, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

Así mismo, deben contemplarse todas aquellas normativas de aplicación en la reutilización de las aguas resultantes de los procesos de depuración o en el aprovechamiento de los lodos como abono.

Dada la complejidad, el objetivo de este MBP no es recopilar la totalidad de referencias normativas de aplicación, que están disponibles en detalle en la Guía de Políticas Públicas WETWINE y, en función de la localización de cada bodega, en el **simulador WETWINE**.

# 3

## TRATAMIENTOS DE EFLUENTES DE BODEGA

PROCESOS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES, 14

ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, 14

TRATAMIENTOS CONVENCIONALES VS NO CONVENCIONALES, 16

TRATAMIENTOS CONVENCIONALES, 16

TRATAMIENTOS NO CONVENCIONALES, 16

ELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO IDÓNEO, 17

INTRODUCCIÓN AL SISTEMA WETWINE, 18

## PROCESOS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

Los contaminantes del agua residual se pueden eliminar por medios físicos, químicos y biológicos. Normalmente un sistema de tratamiento (o fase de proceso) es una combinación de todos ellos. A efectos de clasificación se considera el proceso predominante.

**Procesos físicos:** métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos (aplicación de fuerzas gravitatorias, centrífugas, retención física, etc.). En este grupo se pueden incluir: desbaste de sólidos, desengrasado, desarenado, sedimentación, evaporación, desinfección y absorción.

**Procesos químicos:** métodos de tratamiento en los que la eliminación de contaminantes se provoca mediante la adición de productos químicos o por otras reacciones químicas. Entre estos se encuentran: floculación y coagulación, neutralización, oxidación, reducción, intercambio iónico, absorción y desinfección (cloro, ozono).

**Procesos biológicos:** métodos de tratamiento en los que los contaminantes son eliminados mediante una actividad biológica. El tratamiento biológico se utiliza principalmente para eliminar las sustancias orgánicas biodegradables (coloidales o disueltas) presentes en el agua residual. Básicamente, estas sustancias se transforman en gases que pueden escapar a la atmósfera y en tejidos celulares biológicos, que pueden posteriormente eliminarse por sedimentación. En este grupo se pueden incluir: reactor biológico secuencial (SBR), lechos bacterianos, depuración por humedales, lagunaje, biodiscos y sistemas de aplicación al suelo.

## ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La gestión de todos los efluentes en este caso también los de origen vitivinícola, se realiza de forma ordenada y secuencial a través de diferentes etapas que proporcionan un adecuado tratamiento. La diversidad de procesos de gestión de efluentes, así como sus posibles combinaciones, es muy amplia. Las que tienen una mayor aplicación se pueden agrupar en las siguientes etapas:

**Pretratamiento:** Operaciones físicas y mecánicas que separan los elementos que puedan perjudicar las etapas posteriores del tratamiento (sólidos, arenas, grasas, etc.). Entre los diferentes tipos de pretratamiento podemos destacar como más habituales:

— **Desbaste:** Intercepción en rejas y/o tamices del agua residual de manera que se eliminan sólidos de tamaño variable entre grueso y pequeño.

— **Desarenador:** Separación de los sólidos (arenas, gravas, etc.) con el fin de reducir las deposiciones en conducciones y proteger posteriores elementos mecánicos de la abrasión.

**Homogenización:** tiene el objetivo de conseguir un caudal más o menos constante. Suele llevarse a cabo en un tanque.

**Tratamiento primario:** también llamado sedimentación primaria, consiste en la eliminación de la mayor parte posible de los sólidos sedimentables y flotantes y de parte de la materia orgánica. Entre los diferentes tipos de tratamientos primarios destacan como más habituales:

— **Decantador primario:** Tanque de forma circular o rectangular donde los sólidos decantan por gravedad.

— **Digestor UASB:** (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) Reactor biológico anaerobio (en ausencia de oxígeno) que opera en régimen continuo y en flujo ascendente donde la materia orgánica en forma de flóculos o gránulos decanta fácilmente. También se puede generar biogás.

— **Fosa séptica:** Tanque donde se lleva a cabo la separación y transformación físico-química de la materia orgánica contenida en las aguas residuales.

**Tratamiento secundario:** Proceso mediante el cual se elimina la materia orgánica biodegradable disuelta o en forma coloidal, así como el resto de sólidos y componentes presentes y el agua tratada se clarifica.

Entre los diferentes equipos de tratamientos secundarios predominan como más habituales:

— **Reactor biológico (tanque de aireación):** Tanque donde se asimila la materia orgánica disuelta por parte de las bacterias que hay en el interior del reactor en condiciones aerobias. Existen varios tipos de reactores (de mezcla completa, de flujo en pistón, etc.).

— **Decantador secundario:** Tanque de forma circular o rectangular donde se lleva a cabo un proceso de clarificación del afluente separando los sólidos suspendidos.

— **Laguna aerobia:** Reactor construido mediante un estanque artificial excavado en el terreno en el cual hay una aportación mecánica externa de oxígeno para degradar la materia orgánica.

— **Humedales construidos:** Excavaciones en el terreno en las que se coloca un medio granular, se planta una vegetación y se instalan una serie de conducciones. El agua residual circula a través del medio mientras tienen lugar una serie de mecanismos y procesos físicos, químicos y biológicos que logran la depuración de las aguas residuales.

**Tratamiento terciario:** Proceso en el que se higieniza y adecúa el agua tratada para que pueda ser vertida en zonas con requisitos más exigentes o para ser regenerada para algún uso en concreto. De forma general, esta etapa busca la eliminación de nutrientes y patógenos. Entre los diferentes tipos de tratamientos terciarios predominan:

— **Lagunas:** Estanques artificiales excavados en el terreno con participación o no de algas. Pueden ser de tipo aerobio, anaerobio o facultativo.

— **Filtros de arena:** Reactor lleno de material granular que permite la separación de sólidos y partículas mediante la circulación del afluente a través del reactor.

— **Desinfección:** Proceso físico o químico que inactiva posibles agentes patógenos presentes en el agua por medio del uso de reactivos (por ejemplo, cloro).

**Tratamiento de fangos:** tiene por objetivo el espesamiento, estabilización, acondicionamiento y deshidratación de los fangos generados durante el proceso de depuración para su posterior uso agrícola. Los lodos contienen entre un 40 y un 80% de materia orgánica, así como nitrógeno y fósforo, nutrientes fundamentales para su potencial fertilizante.



## TRATAMIENTOS CONVENCIONALES vs NO CONVENCIONALES

En la etapa de tratamiento biológico (secundario) puede realizarse una diferenciación entre las tecnologías de tratamiento convencionales y tecnologías no convencionales.

### Tratamientos convencionales

Las tecnologías convencionales se caracterizan por necesidades constructivas elevadas y especialización para su operación.

Las transformaciones biológicas de contaminantes normalmente se producen en recipientes de hormigón, plástico o hierro y funcionan por aireación prolongada, mezclas mecánicas y una gran variedad de productos químicos.

Por la gran intensidad de estas reacciones, el espacio físico que se requiere en estos procesos es mucho menor que en los procesos que se desarrollan de forma natural, es decir, un uso intensivo de la energía provoca que estos sistemas sean compactos.

Existen distintos tipos de tratamientos convencionales:

- Sistemas de Ventilación Biológica Extensa,
- Estaciones de Tratamiento de Lodos Activados,
- Biodiscos (RBC),
- Reactores Biológicos continuos Secuenciales (SBR),
- Reactores Biológicos de Membrana (MBR)



Uno de los procesos comúnmente utilizados en bodegas son los reactores biológicos secuenciales SBR (*Sequential Batch Reactor*). Es un sistema de tratamiento de lodos activado operado en fases de llenado y vaciado. En este tipo de instalaciones el efluente desbastado se introduce directamente en la aireación sin necesidad de decantación previa, por lo que generalmente se diseñan sin tanques de sedimentación primaria, lo cual supone un factor de ahorro en su instalación.

Es una tecnología competitiva desde el punto de vista económico y más sencilla de manejar que otros procesos convencionales, lo que la convierte en una alternativa para las bodegas entre las tecnologías convencionales disponibles en el mercado.

No obstante, durante la explotación, son varios los problemas ocasionados por operaciones de mantenimiento complejas y costosas, la necesidad de operarios cualificados o reparaciones costosas, lo que produce que, al no tener una correcta conservación, muchas veces estas depuradoras no operan a los rendimientos esperados y no cumplen los objetivos para los que han sido diseñadas.

### Tratamientos no convencionales

Los sistemas no convencionales, llamados también naturales, se caracterizan por su simplicidad de construcción y operación. En el caso de estas tecnologías, las aguas residuales se tratan por la interacción de componentes del medio natural (suelo, plantas, agua).

La depuración natural utiliza y maximiza una serie de procesos que se dan de forma natural en el medio, en un emplazamiento controlado. Pretende crear un espacio en el que se puedan desarrollar una serie de ecosistemas que permitan la recuperación de las aguas residuales.

Se trata, por lo tanto, de un proceso natural que no necesita de un aporte externo de productos químicos y un nulo o bajo gasto energético (existente sólo en el caso de realizarse bombeos en la cabecera). A estas ventajas se suma la escasa mano de obra necesaria para su mantenimiento.

Todo ello ha llevado a un aumento gradual del uso de estos sistemas naturales, ya que estas características lo convierten en una competitiva inversión.



Los sistemas naturales pueden clasificarse en dos categorías según el lugar donde ocurra el tratamiento:

- **En el terreno**: Aplicación superficial o subsuperficial, filtros de arena, zanjas y lechos filtrantes, filtros verdes y humedales construidos de flujo subsuperficial
- **En una masa de agua**: Sistemas con plantas flotantes; lagunaje natural y humedales construidos de flujo superficial.

El limitante más importante de los sistemas de depuración no convencionales son los mayores tiempos de permanencia de los vertidos en el sistema para lograr la correcta depuración, lo que motiva que estos sistemas necesiten mayores superficies para su operación comparado con las tecnologías convencionales.

## ELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO IDÓNEO

En base a lo previamente expuesto y teniendo en cuenta las particularidades específicas de gran parte de las bodegas (volúmenes de vertido, situación en entornos naturales o de protección, limitaciones en el acceso a redes de saneamiento públicas o colectivas) a la hora de decantarse por la solución más adecuada para el tratamiento de las aguas residuales se deben priorizar los siguientes aspectos:

-  Elección de sistemas que permitan el **tratamiento del afluente *in situ***, evitando transportes y la dependencia de gestores externos que generan un mayor coste de operación e impacto medioambiental.
-  Elección de sistemas que presenten un **bajo consumo energético**, evitando, o minimizando en lo posible, el empleo de dispositivos de bombeo y electromecánicos en favor del uso de sistemas de oxigenación naturales.
-  Elección de sistemas con **bajo mantenimiento y tareas de explotación simples**, evitando la necesidad de productos químicos u otros consumibles, así como de personal especializado para su correcta operación.
-  Elección de sistemas que garanticen un **funcionamiento eficaz y estable frente a los picos de caudal y carga contaminante** de las aguas residuales asociados al periodo de vendimia, garantizando la calidad requerida de las aguas de vertido en función del destino o medio receptor.
-  Elección de sistemas que simplifiquen la **gestión de los lodos generados en los procesos de depuración**, permitiendo en la medida de lo posible su valorización y reutilización, favoreciendo la economía circular en la gestión de la bodega.
-  Elección de sistemas que presenten un **bajo impacto ambiental**, no produzcan ruido ni olores, no favorezcan la aparición de mosquitos y tengan una buena integración en el entorno natural.

En base a los criterios expuestos, el sistema WETWINE se presenta como una alternativa de interés para la gestión de los efluentes de origen vitivinícola de las bodegas.

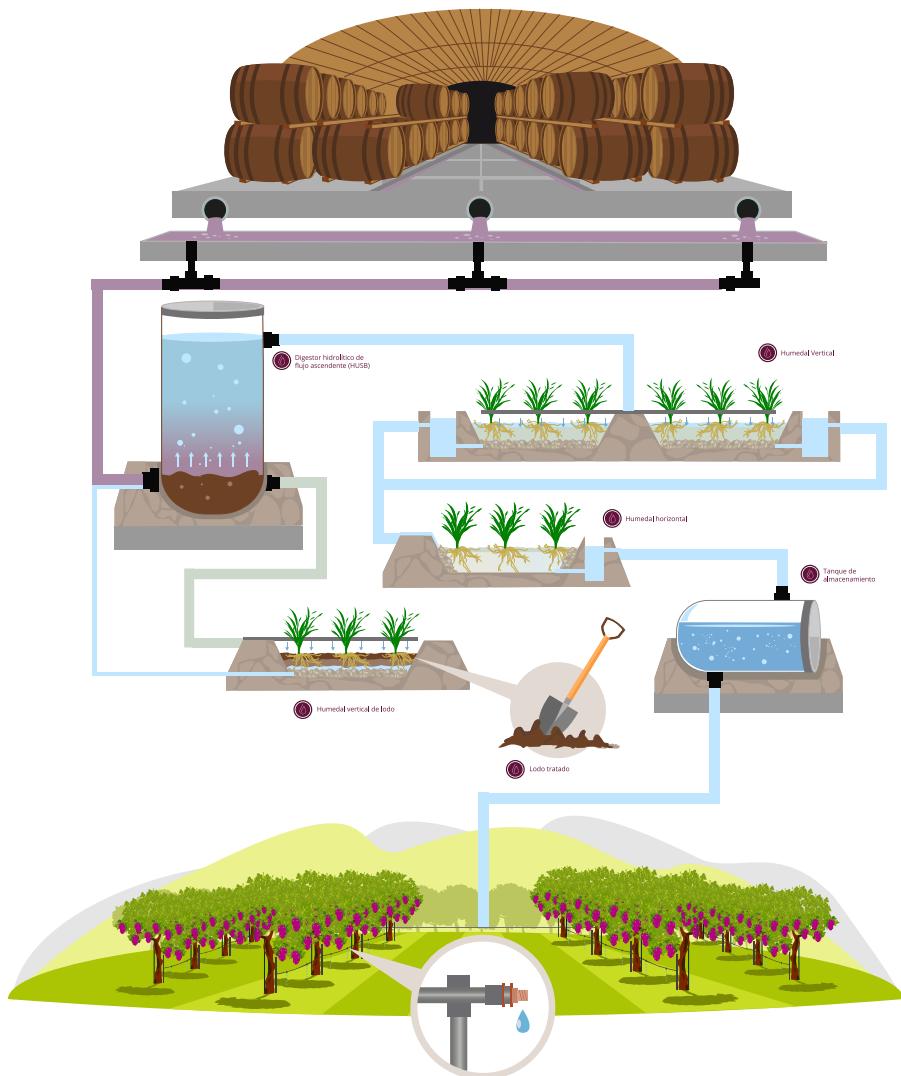
## INTRODUCCIÓN AL SISTEMA WETWINE

El proyecto WETWINE ha adaptado tecnologías naturales de tratamiento de aguas residuales a las necesidades específicas de los efluentes del sector vitivinícola. Para ello ha construido una planta piloto en la Bodega Santiago Ruiz donde se valida el uso de tecnologías naturales de humedales construidos como una interesante alternativa para el tratamiento tanto de las aguas residuales y lodos.

Básicamente, el sistema WETWINE es una combinación de una unidad de tratamiento primario anaeróbico (reactor HUSB) con un conjunto de humedales construidos de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas y lodos.

En la etapa de tratamiento primario, que tiene lugar en el reactor HUSB, los sólidos se retienen y se hidrolizan o descomponen con una eficiencia del 70-80%. A continuación, las aguas resultantes 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.

Paralelamente, los sólidos retenidos en el reactor HUSB se tratan en humedales de **lodos** donde, mediante procesos físicos, biológicos y químicos, se produce una reducción del volumen de lodos así como su estabilización y mineralización para su posterior utilización como abono en el viñedo.



# 4

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA WETWINE

DESCRIPCIÓN GENERAL, 20

DIGESTOR HUSB (HYDROLYTIC UPFLOW SLUDGE BED), 20

LÍNEA DE TRATAMIENTO DE AGUAS, 21

HUMEDALES VERTICALES, 22

HUMEDALES HORIZONTALES, 22

LÍNEA DE TRATAMIENTOS DE LODOS, 23

VENTAJAS E INCONVENIENTES, 24

## DESCRIPCIÓN GENERAL

La primera etapa del sistema WETWINE es la de tratamiento anaerobio, donde se separará el vertido en dos fases: una líquida y una sólida (los lodos).

La fase líquida será tratada mediante la tecnología de humedales construidos de flujo subsuperficial que permite la depuración de las aguas residuales por medio de procesos naturales, sin necesidad de utilización de productos químicos y con un consumo de energía bajo o nulo.

La fase sólida será tratada en los humedales de tratamiento de lodo, donde se produce su estabilización a través de procesos físicos, biológicos y químicos para obtener un producto final adecuado para su reutilización directa como abono.

En base a esta diferenciación podemos distinguir las principales unidades que componen el sistema WETWINE:

- 1 UN TRATAMIENTO PRIMARIO A TRAVÉS DE UN REACTOR ANAEROBIO HUSB (HYDROLYTIC UPFLOW SLUDGE BED).**
- 2 UNA ETAPA DE TRATAMIENTO SECUNDARIO DE HUMEDALES CONSTRUIDOS, COMBINANDO HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL Y HORIZONTAL, QUE DENOMINAREMOS LÍNEA DE TRATAMIENTO DE AGUAS.**
- 3 UNA ETAPA DE TRATAMIENTO DE FANGOS MEDIANTE HUMEDALES DE LODO, QUE DENOMINAREMOS LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS.**

A continuación se describen con mayor detalle cada una de las etapas del sistema WETWINE:

### DIGESTOR HUSB (HYDROLYTIC UPFLOW SLUDGE BED)

El tratamiento primario consiste en un digestor hidrolítico de flujo ascendente (HUSB), cuyas principales funciones son la retención de sólidos y la hidrólisis o descomposición de compuestos difícilmente biodegradables en otros más sencillos. En esta etapa de tratamiento se separarán las dos fases: una líquida, que será tratada en los humedales construidos, y los lodos, que serán tratados en los humedales de lodos.

Los principales procesos físicos que tienen lugar en un reactor HUSB son la sedimentación, la filtración y al absorción. En estos reactores se persigue fundamentalmente la retención de sólidos suspendidos.



## LÍNEA DE TRATAMIENTO DE AGUAS

La línea de tratamiento de aguas se basa en la combinación de tecnologías de humedales construidos de flujo subsuperficial verticales y horizontales.

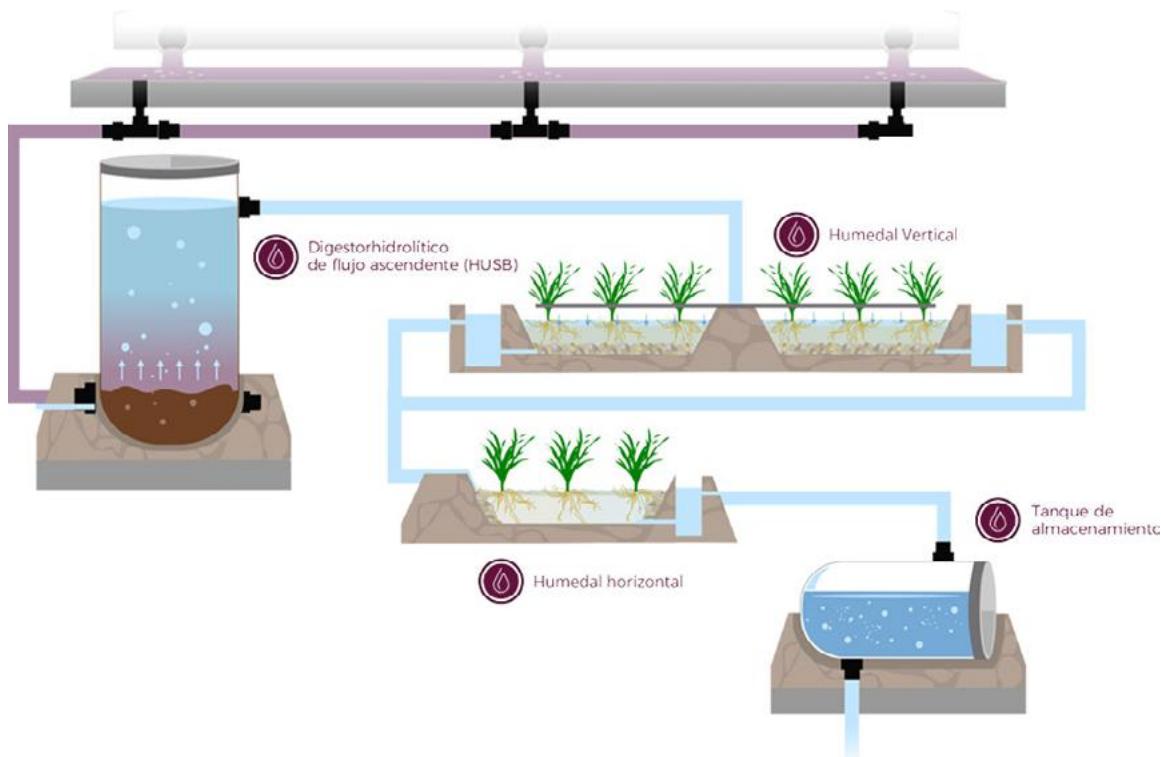
Se trata de sistemas naturales de depuración diseñados para potenciar la eliminación de contaminantes en el agua residual con mecanismos que se dan de forma espontánea en la naturaleza, tanto a nivel físico-químico como biológico. En estos sistemas, los procesos de descontaminación tienen lugar mediante la interacción entre el agua, el medio granular, los microorganismos y la vegetación.

Los humedales del sistema WETWINE son de flujo subsuperficial, en los cuales la circulación del agua es de tipo subterráneo a través de un medio granular y en contacto con las raíces y rizomas de las plantas. La biopelícula que crece adherida al medio granular y a las raíces y rizomas de las plantas tiene un papel fundamental en los procesos de descontaminación del agua.

La depuración de las aguas residuales en los humedales construidos se basa en diversos principios, de los cuales cabe destacar:

- **Eliminación de materia orgánica** por sedimentación y filtración de partículas entre los espacios de grava y las raíces. En este proceso intervienen diversos microorganismos (esencialmente bacterias), que pueden ser aerobios o anaerobios.
- **Eliminación de sólidos en suspensión** por fenómenos de filtración entre el sustrato y las raíces. Los sólidos en suspensión son eliminados en los primeros metros de distancia desde la entrada.
- **Eliminación de organismos patógenos** mediante la adsorción sobre partículas del sustrato. También intervienen la acción depredadora de bacteriófagos y protozoos que habitan en el sustrato.
- **Eliminación de nitrógeno**, el cual normalmente, se encuentra en forma de nitrógeno orgánico o amoniacal. En estas condiciones se generan procesos de nitrificación-desnitrificación desarrollados por diferentes microorganismos y otros procesos de transformación de nitrógeno como el anammox. La siega de las plantas del humedal aumenta los rendimientos en este aspecto.
- **Eliminación de fósforo** que sucede al contactar el fluido que contiene el fósforo, afluente, y el sustrato. En estas circunstancias se producen fenómenos de adsorción que retienen el fósforo, si bien esta reducción es muy baja.

Los dos tipos de humedal que se plantean en el sistema WETWINE se diferencian por el tipo de flujo circulante, dividiéndose así entre los humedales de flujo subsuperficial vertical y de flujo horizontal.

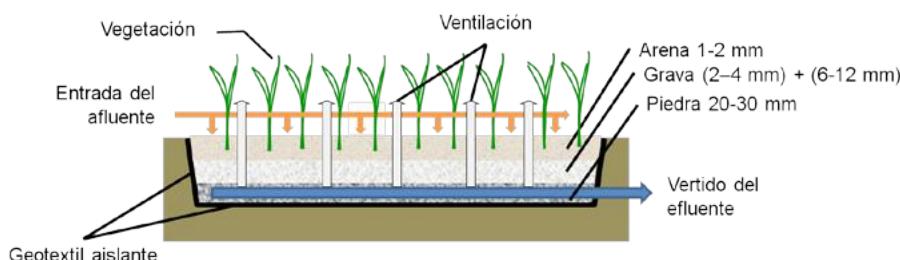


## Humedales verticales

Los humedales verticales son fundamentalmente aerobios y pueden asumir cargas contaminantes más elevadas. Es por esto que se situará en cabeza del tratamiento secundario, para recibir el agua residual más cargada procedente de la salida digestor HUSB. Estos sistemas consisten en varias celdas que se alimentan de forma intermitente y secuencial, alternando periodos de dosificación y descanso.

Originalmente esta tipología de humedales fue desarrollada como alternativa a los humedales horizontales para producir efluentes nitrificados. En general los sistemas verticales se combinan con horizontales (sistemas híbridos) para que se sucedan de forma progresiva los procesos de nitrificación y desnitrificación y se consiga así eliminar nitrógeno, obteniendo un efluente de mejor calidad.

La circulación del agua es de tipo vertical descendente y tiene lugar a pulsos, de manera que el medio granular no está permanentemente inundado ni saturado, permitiendo así que los procesos de descontaminación en estos sistemas sean prevalentemente aerobios.

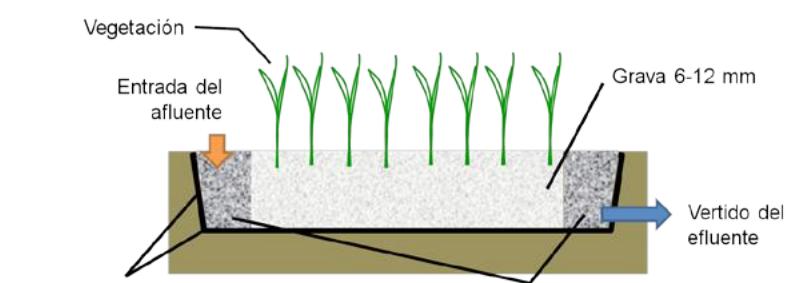


Humedal construido de flujo subsuperficial vertical

## Humedales horizontales

Posteriormente se sitúa un humedal de flujo horizontal, con zonas aerobias y anaerobias, para que, mediante la combinación de ambos ambientes, se degrade un mayor número de contaminantes. Este humedal horizontal asumirá el tratamiento del efluente de los humedales verticales, que vendrá parcialmente depurado y oxigenado.

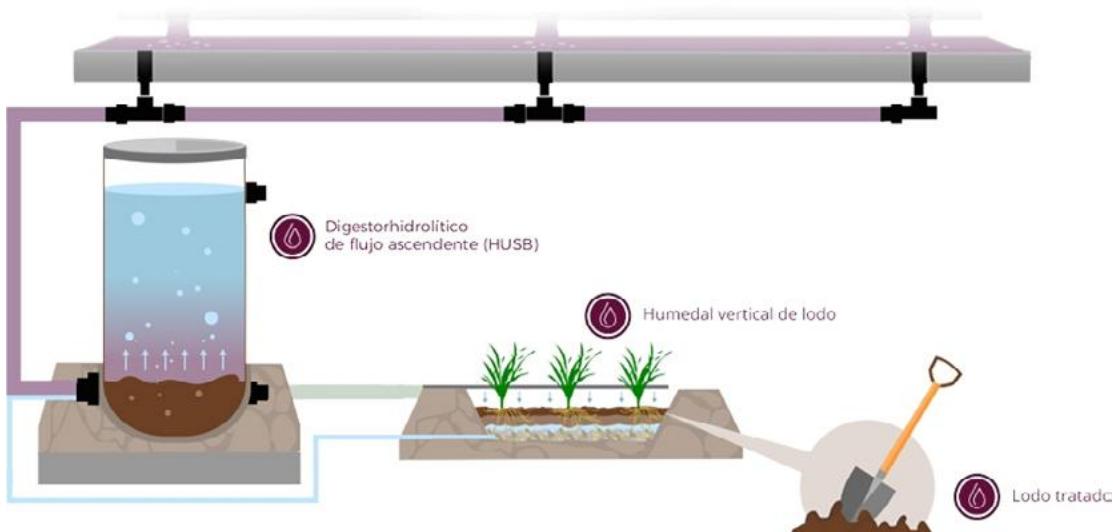
En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular y los rizomas y raíces de las plantas. La profundidad del agua es de entre 0,3 y 0,9 m y se caracterizan por funcionar permanentemente inundados y saturados.



Humedal construido de flujo subsuperficial horizontal

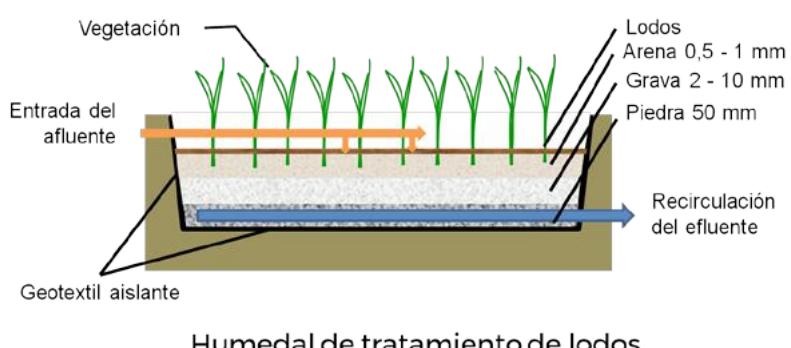
## LÍNEA DE TRATAMIENTOS DE LODOS

Los humedales de tratamiento de lodo son un tipo de humedal vertical desarrollado para tratar los fangos provenientes del digestor HUSB. Estos sistemas consisten en varias celdas en las cuales los fangos homogeneizados son bombeados intermitentemente y secuencialmente, alternando regímenes de dosificación y de descanso.



Los períodos de descanso dependerán de las condiciones de diseño y de las condiciones climáticas, pero los intervalos entre alimentaciones deben ser suficientes para permitir el drenaje del agua contenida en el lodo.

Según se va acumulando el lodo en la parte superior del lecho y la capa va creciendo, los rizomas de las plantas se van desarrollando y penetrando en la capa de lodo, incrementando la deshidratación mediante un proceso de evapotranspiración.



Humedal de tratamiento de lodos

Una vez se alcanza la capacidad de almacenamiento de lodo en los humedales, y tras los procesos físicos (secado) y biológicos (mineralización), que permiten su estabilización, se obtiene un producto final con un contenido en materia seca superior al 25% adecuado para una reutilización directa como abono (teniendo en cuenta las limitaciones legales de cada territorio).

## VENTAJAS E INCONVENIENTES

Los humedales construidos constituyen una interesante alternativa para el tratamiento de las aguas residuales de bodegas debido a su bajo coste, bajo consumo energético y fácil operación y mantenimiento respecto a otros sistemas “convencionales”.

De forma general, se puede afirmar que las tecnologías convencionales realizan un **tratamiento de las aguas residuales de forma intensiva** a través de procesos físicos, químicos y biológicos que consiguen **velocidades de reacción y tratamiento más acelerados**, pero con costes de operación y mantenimiento más altos, lo que se traduce en un elevado consumo energético, de productos químicos y necesidad de personal especializado. A su vez, los sistemas convencionales presentan **dificultades para adaptarse a la alta variabilidad de cargas orgánicas y de caudales** que presentan las industrias vitivinícolas a lo largo del año, por lo que su rendimiento y eficiencia se ve limitado.

Por otro lado, los **sistemas naturales** se caracterizan por un **bajo consumo de energía**, no requieren de **productos químicos** para el tratamiento de las aguas residuales (ya que reproducen los procesos de tratamiento que se llevan a cabo en la naturaleza) y no necesitan de personal especializado para su mantenimiento. Por esta razón, estos sistemas presentan un menor coste a nivel de implantación, operación y mantenimiento; sin embargo, el tiempo necesario para que se lleven a cabo los procesos de eliminación de contaminantes es mayor.

En resumen, las principales diferencias entre los sistemas naturales y los convencionales son unos requerimientos **menores o casi nulos de energía** por parte de los **sistemas naturales** (generalmente unas 5-10 veces menores que en los sistemas convencionales) y un tiempo de retención de hasta 100 veces mayor que en los sistemas convencionales. Por este motivo, es necesario una **superficie mayor para la implementación** de los sistemas naturales respecto los convencionales para el tratamiento de un mismo volumen de efluentes. Así mismo, el sistema WETWINE tiene como ventaja añadida la **posibilidad de valorizar los lodos como abono** para su posterior uso en el viñedo y de reutilizar las aguas tratadas para riego.

A continuación se detallan las principales ventajas e inconvenientes que diferencian las tecnologías convencionales frente a los sistemas de humedales construidos WETWINE.

Tecnologías convencionales	Tecnologías WETWINE (sistema no convencional)
Consumo energético elevado	Consumo energético bajo o casi nulo
Consumo elevado de productos químicos	No necesitan productos químicos
Costes de implementación y operación altos	Costes de implementación y operación bajos
Operación y mantenimiento compleja	Operación y mantenimiento sencilla
Problemas de olores	Reducción drástica de olores y mosquitos
Coste de gestión de lodos por empresas autorizadas	Valorización de lodos como abono en el propio sistema
Destino de efluentes tratados: vertido	Posibilidad de reutilización de efluentes tratados para riego
Mayor impacto medio ambiental	Impacto medio ambiental reducido favoreciendo la economía circular
Tiempos de tratamiento bajos	Tiempo de tratamientos más elevados
Requieren de poca superficie	Requieren de mucha superficie

# 5

## RECOMENDACIONES DE DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DEL SISTEMA WETWINE

DISEÑO DEL TRATAMIENTO PRIMARIO - REACTOR HUSB,	26
MOVIMIENTO DE TIERRAS Y ESTRUCTURAS DE LOS HUMEDALES,	26
CONDUCCIONES: ALIMENTACIÓN, DRENAJE Y VENTILACIÓN,	27
HUMEDALES VERTICALES,	27
HUMEDALES HORIZONTALES,	28
HUMEDALES DE LODOS,	28
SUSTRADOS FILTRANTES,	29
HUMEDALES VERTICALES,	29
HUMEDALES HORIZONTALES,	29
HUMEDALES DE LODOS,	30
VEGETACIÓN,	30

En esta sección se refieren recomendaciones específicas referidas a los detalles constructivos de las diferentes etapas anteriormente descritas del Sistema WETWINE.

## DISEÑO DEL TRATAMIENTO PRIMARIO - REACTOR HUSB

- Previamente al reactor, se requiere instalar un tanque de acumulación que permita homogenizar la composición de las aguas residuales y laminar los picos de vertidos.
- Dimensionar el reactor con relaciones de altura/diámetro que aumenten los tiempos de retención hidráulicos. En época de vendimia los tiempos de retención en el reactor oscilarán entre 40 y 50 h. Fuera de la época de vendimia los tiempos de retención no son limitantes ya que la actividad microbiana del reactor se ve reducida, en cualquier caso, por cuestiones de diseño no se recomiendan tiempos inferiores a 40 h.
- Limitar la velocidad ascensional del agua residual dentro del reactor a 0,3 m/h para favorecer la retención de sólidos y la correcta formación del manto de lodos.
- En el caso del uso de bombas para la alimentación del reactor, se recomienda instalar un variador de frecuencia que limite el caudal de alimentación.
- La tubería de entrada ha de ir equipada con válvula anti-retorno y estar dividida en 4 salidas en forma de "H" en la base del reactor para evitar una excesiva agitación de los lodos del fondo.
- Disponer de 4 tuberías de salida a diferentes alturas. La tubería inferior se corresponde con la salida de los fangos para alimentar el humedal de lodos, el resto irán equipadas con válvulas de bola para comprobar el nivel de lodos o para vaciar el reactor.
- Su construcción puede ser mediante anillos de hormigón prefabricado sobre solera y sellado con imprimación de pintura epoxi o directamente mediante la instalación de un depósito cilíndrico prefabricado de fibra de vidrio o poliéster reforzado.
- El reactor dispondrá de tapa superior practicable para labores de reparación y mantenimiento.

## MOVIMIENTO DE TIERRAS Y ESTRUCTURAS DE LOS HUMEDALES

- Construcción de los humedales tanto verticales como horizontales y de lodos mediante excavación en el terreno, aprovechando en la medida de lo posible la pendiente topográfica para favorecer los flujos por gravedad.



- Perímetros de los humedales encofrados con tablero marino y con un talud exterior para equilibrar las presiones internas y externas o directamente sobre los taludes (en este caso, la pendiente ha de ser de en torno a 45º).
- Pendientes de la base del humedal en torno al 1% en la dirección de flujo.
- Relaciones de longitud/anchura de humedales verticales y horizontales en torno a 2/1 o 3/1, en el caso de los humedales de lodos las celdas se aproximarán a una relación 1/1.
- Evitar filtraciones al terreno utilizando láminas plásticas. Se recomienda polietileno de alta densidad de espesores superiores a 1 mm.
- Refuerzo para evitar daños de piedras, sustrato filtrante o raíces y rizomas de las plantas, utilizando dos láminas de geotextil (por encima y por debajo de la lámina plástica). Se recomiendan espesores entre 150 y 300 g/cm<sup>2</sup>.
- Control exhaustivo de las soldaduras de las láminas plásticas y del geotextil.
- Anclaje de láminas plásticas por enterramiento en zanja perimetral o mediante el uso de grapas metálicas.
- Alrededor del humedal se debe disponer de un resguardo suficiente para evitar la entrada de aguas procedentes de escorrentía.

## CONDUCCIONES: ALIMENTACIÓN, DRENAJE Y VENTILACIÓN

- Evitar los caminos preferenciales de las aguas residuales en los humedales mediante una alimentación homogénea en superficie.
- Diseño hidráulico de conducciones, bombeos y electroválvulas que tengan en cuenta las necesidades de bombeos en cabecera e intermedios y que permitan la alimentación de los humedales de forma intermitente.
- Se priorizan los diseños hidráulicos en los que se aprovechen los flujos por gravedad entre las diferentes etapas.

### Humedales Verticales

- Alimentación del humedal mediante tuberías perforadas de PVC o polietileno de 40 mm de diámetro, situadas a una distancia de 1 m entre sí, lo que asegura una descarga uniforme en toda la superficie del humedal.
- Las tuberías de alimentación estarán perforadas en el plano frontal con agujeros de 6 mm situados a una distancia de 0,5 m.



- Las tuberías de alimentación han de ser practicables en sus extremos a través de tapa roscada para facilitar su limpieza y mantenimiento.
- Las tuberías de alimentación estarán conectadas a una tubería general con distribución a modo de peine y equipadas con electroválvulas que permitan la alimentación de forma alterna entre humedales verticales. La intermitencia en la alimentación (alternancia de periodos de descanso y alimentación) mejora mucho la transferencia de oxígeno y la eficiencia de los procesos de depuración.
- La velocidad de alimentación debe ser superior a la velocidad de infiltración con el objetivo de alcanzar un mejor reparto en toda la superficie del humedal.

- Los humedales verticales suelen presentar problemas de colmatación ya que operan a cargas mayores y tienen altas pérdidas de carga, por lo que frecuentemente requerirán de bombeo en cabecera.
- Disposición de tuberías de drenaje de 75 mm de diámetro situadas a 3 cm del fondo del humedal y equidistantes 1 m entre si. Las tuberías de drenaje estarán rodeadas de una capa de grava de espesor medio (20–30 mm.)
- Favorecer la oxigenación del sustrato mediante la disposición de chimeneas de ventilación verticales conectadas a las tuberías de drenaje, ejecutadas con tuberías de PVC o material equivalente de 50 mm de diámetro y rematadas en su extremo por un sombrerete.

### Humedales Horizontales

- Distribución del influente mediante tubería de 75 mm de diámetro en la zona de cabecera que ocupe todo el lateral del humedal y dispuesta perpendicularmente a la dirección del flujo, enterradas a 90 cm del fondo del humedal.
- En los extremos de la tubería de distribución se situaran codos de 90° que subirán hasta 20 cm por encima de la superficie del humedal terminando en tapas roscadas que facilitan la limpieza y mantenimiento.
- Las tuberías de distribución estarán perforadas en el plano medio frontal con agujeros de 2 cm de diámetro cada 50 cm.
- Estos humedales funcionan inundados permanentemente, no obstante el nivel de encharcamiento debe situarse 5-10 cm. por debajo de la superficie del humedal para evitar problemas de olores y mosquitos.
- Evacuación de aguas mediante tubería de 75 mm de diámetro situada en la zona opuesta a cabecera, dispuesta perpendicularmente a la dirección del flujo, enterradas en la parte baja del perfil del humedal. Al igual que en las tuberías de alimentación, los extremos de la tubería se equiparán con codos y tapas roscadas a 20 cm por encima de la superficie.
- Las tuberías de evacuación estarán perforadas en el plano frontal con agujeros de 3 cm de diámetro cada 50 cm.
- Disposición de tubería flexible o codo practicable situado en la arqueta de salida para el control del nivel de encharcamiento del humedal.



- El fondo de la arqueta de recogida de las aguas de evacuación deberá situarse a la misma altura que el del humedal.

### Humedales de lodos

- Los humedales de lodos se dispondrán en celdas y sub-celdas de aproximadamente 10m<sup>2</sup> de forma que el lodo homogeneizado se bombee de forma intermitente y secuencial, alternando regímenes de dosificación y descanso.
- La alimentación se realizará con tuberías de 40 mm de diámetro que descargan en la parte central de la celda para el reparto equitativo del lodo por toda la superficie.

- La alimentación de los lodos debe realizarse de forma puntual y con caudales altos para que el fango se distribuya por toda la superficie y evitar caminos preferenciales. Para ello, se podrán instalar placas en la superficie del humedal que eviten la erosión en el punto de descarga.
- Una vez alcanzada la capacidad del humedal y tras un descanso final de tres meses, se considera que el lodo está estabilizado.
- Sistema de drenaje de lixiviado mediante tuberías de PVC de 75 mm de diámetro distanciadas 1 m entre sí, con muescas de 5 mm situadas cada 25 cm. Al igual que en los humedales verticales es preciso un sistema de ventilación.
- La tubería de drenaje comunicará con una arqueta donde se disponga de tubería flexible o codo practicable para el control de la humedad del humedal en épocas en que no pueda ser alimentado con lodo.

## SUSTRATOS FILTRANTES

- El sustrato filtrante debe ser lo suficientemente homogéneo en forma y tamaño (coeficiente de uniformidad bajo) y limpio (sin presencia de partículas finas) adaptado a las necesidades de cada uno de los tipos de humedales.
- Un alto contenido en partículas finas podría producir problemas por colmatación acortando la vida útil del humedal.
- Evitar dañar las láminas impermeabilizantes y geotextil en el llenado y distribución del sustrato filtrante en los humedales.
- Evitar la circulación de maquinaria pesada sobre los humedales para evitar su compactación.

### Humedales Verticales

- Espesores de sustrato filtrante de 1 m con un perfil formado por áridos de diferente grosor.
- Capa superficial de 10 cm de espesor con arena de 1-2 mm de diámetro + capa intermedia superior de grava de 60 cm de espesor de 2-4 mm de diámetro + capa intermedia inferior de grava de 10 cm de espesor de 6-12 mm de diámetro + capa más profunda de grava de 20 cm de espesor de 20-30 mm de diámetro (donde irán las tuberías de drenaje).

### Humedales Horizontales

- Espesores de sustrato de 60 cm con perfiles de penetración de raíces y rizomas no superior a 40 cm.
- Bandas laterales de piedra de 50 cm de ancho (medido en el fondo del humedal) de 60-80 mm de diámetro en las zonas de cabecera (donde se sitúa la tubería de alimentación) y en el lado opuesto (situación de la tubería de evacuación).
- Tamaño de los áridos dependiente de la carga de contaminante de las aguas a tratar. Se recomiendan tamaños de áridos entre 6 y 12 mm.

## Humedales de lodos

- Espesores de sustrato de 60 cm con un perfil formado por áridos de diferente grosor.
- Capa superficial de 10 cm de espesor con arena de 0,5-1 mm de diámetro + capa intermedia de grava de 30 cm de espesor de 2-10 mm de diámetro + capa más profunda de piedra de 20 cm de espesor de 50 mm de diámetro (donde irán las tuberías de drenaje del lixiviado).
- Resguardo de 60 cm para la acumulación de capas de lodo por las sucesivas fases de alimentación hasta su vaciado final.



## VEGETACIÓN

- La especie vegetal más recomendada para la plantación de los humedales de la línea de aguas es el carrizo (*Phragmites australis*), aunque se pueden utilizar otras especies (siempre y cuando estén plenamente adaptadas al medio y a las condiciones climáticas donde se encuentren los humedales).
- En estos humedales, se aconsejan densidades de plantación de 4 plantas por m<sup>2</sup> o de 3 plantas por m<sup>2</sup> dispuestas en tresbolillo.
- En el caso de los humedales de lodos, se recomienda el carrizo (*Phragmites australis*) y la espadaña (*Typha latifolia*) como especies más adecuadas.
- La densidad de plantación en los humedales de lodos es de 5 plantas por m<sup>2</sup>.
- El establecimiento puede realizarse mediante el empleo de plantas de vivero o por multiplicación vegetativa a partir de rizomas obtenidos en zonas de humedales naturales próximos.



*Phragmites australis*



*Typha latifolia*

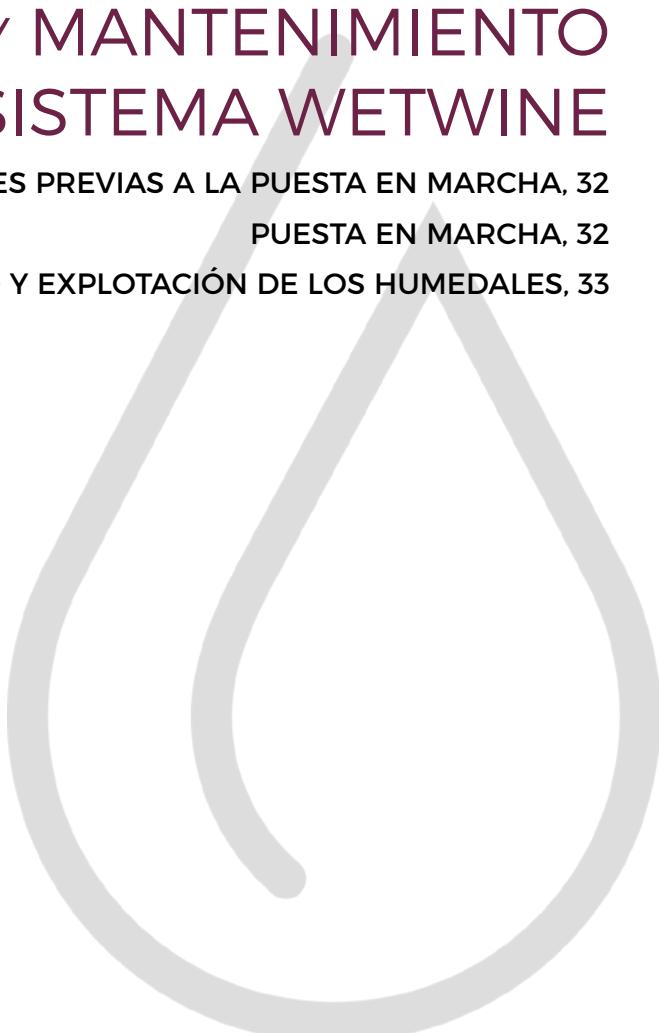
# 6

## MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA WETWINE

COMPROBACIONES PREVIAS A LA PUESTA EN MARCHA, 32

PUESTA EN MARCHA, 32

MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE LOS HUMEDALES, 33



## COMPROBACIONES PREVIAS A LA PUESTA EN MARCHA

- Comprobación del correcto funcionamiento de la totalidad de equipos e instalaciones de las diferentes etapas (reactor HUSB, bombas, sistemas de medida de caudal, válvulas bypass, etc.).
- Comprobación de la estanqueidad de los recintos que contienen los sustratos filtrantes (humedales) y la ausencia de pérdidas en conducciones, conexiones y arquetas intermedias.
- Una vez finalizadas las obras e instalaciones, se realizarán las correspondientes pruebas hidráulicas para validar la operación de los equipos y detectar posibles fugas y malfuncionamiento de cualquiera de los elementos antes del arranque de la planta.

## PUESTA EN MARCHA

- La alimentación de los humedales se realizará una vez realizada la plantación para favorecer el crecimiento de las plantas.
- Se recomienda, a la puesta en marcha de los humedales, la recirculación a cabecera de las aguas depuradas para mantener el nivel de agua en los humedales (compensando las pérdidas por evapotranspiración) y así favorecer el desarrollo inicial de las plantas.
- Si se dispone de lodos anaerobios de otras instalaciones similares (bodegas), se pueden utilizar para la inoculación del reactor HUSB.
- Para el arranque de los humedales de lodos, se recomienda alimentarlos únicamente con agua durante las 3 o 5 primeras semanas para favorecer el desarrollo de la vegetación y añadir sólidos posteriormente mediante la aportación de lodos.
- Desde la puesta en marcha de los humedales comienza su función depuradora, basada inicialmente en procesos de filtración a través del sustrato.
- A continuación y de manera progresiva se desarrolla la biomasa bacteriana al mismo tiempo que las plantas retienen los nutrientes necesarios para su crecimiento.
- Inicialmente, en los humedales de flujo subsuperficial horizontal, el nivel de agua se situará a unos 5 cm por debajo de la superficie, posteriormente irá disminuyendo progresivamente la altura del nivel del agua con el objetivo de favorecer el desarrollo radicular en profundidad de las plantas. Finalmente el nivel de agua recuperará su posición inicial (5 cm por debajo de la superficie).

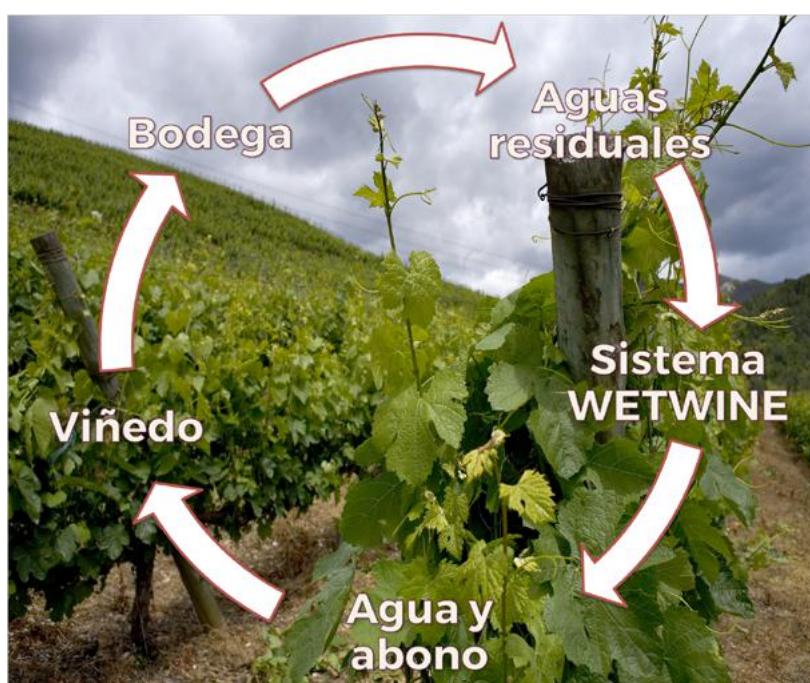


## MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE LOS HUMEDALES

- Mantenimiento del sustrato. El sustrato es una pieza clave en el humedal, por lo que se debe evitar su compactación y saturación. Para ello, es recomendable realizar las mínimas pisadas y controlar el interior del humedal mediante inspecciones frecuentes desde el perímetro.
- Limpieza periódica de los sistemas de distribución. Una buena distribución del agua residual favorecerá el crecimiento regular de todas las plantas del humedal y con ello un aumento del rendimiento de la depuración. Además alargará la vida útil del sustrato.
- Los sistemas de distribución, ubicados en cabecera en el caso de los humedales horizontales, y sobre el sustrato en el caso de los verticales, se deben limpiar periódicamente (en los últimos, se recomienda la limpieza tras la siega de la vegetación).
- Se debe prestar atención al estado vegetativo de las plantas para evitar plagas y enfermedades. En este aspecto, es fundamental una detección precoz para actuar en los estados iniciales.
- Durante la fase de crecimiento del carrizo, es preciso controlar el desarrollo manualmente (nunca usando herbicidas) de otras especies adventicias que limiten la competencia.
- Una vez al año, y siempre antes del secado de la vegetación, con el fin de evitar la descarga de contaminantes retenidos de nuevo al agua, se debe proceder a la siega y retirada de las plantas secas, aunque en el caso de climas fríos se puede evitar la siega, permitiendo la presencia de la vegetación como medida de protección térmica de los humedales.
- Se recomienda visitar a diario el sistema de humedales con intención de detectar posibles anomalías que puedan alterar su correcto funcionamiento.
- Para un correcto monitoreo del proceso se deben determinar los caudales de los afluentes y de las aguas depuradas resultantes. Si se dispone de medidores de caudal, se registrarán las mediciones, en caso contrario se procederá a realizar las correspondientes medidas de forma puntual.
- Lectura de las analíticas de afluente y efluente. El buen comportamiento del humedal implicará un rendimiento adecuado de la DBO<sub>5</sub>, DQO y sólidos en suspensión. Cualquier anomalía en uno de estos parámetros debe ser señal de alarma ante un posible problema en el humedal. La frecuencia de toma de muestra y análisis de aguas ha de estar contemplada en el plan de operación y mantenimiento del sistema de depuración.
- La aparición de charcos en la superficie del humedal (horizontal) se debe a un problema de colmatación del sustrato. Para solucionarlo, se deberá suspender la alimentación del humedal y hacer un vaciado de éste.
- Si se apreciase la muerte de tallos y hojas fuera del periodo invernal no motivada por la sequía, puede deberse a la presencia de sustancias tóxicas en las aguas residuales.
- En el caso de los humedales verticales y de lodos, se debe limitar la aparición de flujos preferenciales que produzcan la aparición de zonas inundadas y otras zonas sin riego. Esto se consigue mediante una distribución homogénea del agua en toda la superficie del humedal durante su alimentación.



- En el caso de los humedales verticales, se recomiendan períodos de alimentación de 3,5 días y de reposo de 3,5 días, en pulsos en torno a 5-10 minutos (cada caso particular puede ser diferente en cuanto a la frecuencia de los pulsos y su duración) cada 3-4 horas. Para ello, se utilizarán electroválvulas.
- Se recomienda contemplar la posibilidad de recircular las aguas resultantes del humedal horizontal ante posibles problemas de la calidad de las aguas resultantes del proceso de depuración o en períodos de sequía sin aportaciones suficientes de agua al sistema.
- La alimentación del reactor HUSB se realizará en 4 pulsos diarios de duración de 6 a 15 min, dependiendo de la carga orgánica del agua residual de entrada.
- Para la correcta alimentación de los lodos al humedal correspondiente, se dispondrá de un depósito para la acumulación y homogenización.
- El tanque de lodos se alimentará una vez a la semana con los lodos procedentes del digestor HUSB.
- Una vez el tanque de lodos haya adquirido una capacidad fijada, se alimentará la sub-celda correspondiente del humedal de lodos. Se fijaran periodos de 1 a 3 días de alimentación y de 9 a 13 de descanso para cada una de las sub-celdas del humedal de lodos.
- El volumen de abono (lodo mineralizado y deshidratado) producido por los humedales de lodo es muy variable y depende de la carga de sólidos totales de los lodos que alimentan al humedal. No obstante se calcula una producción de 20 kg de abono (expresado en ST) por m<sup>2</sup> de humedal de lodo y año.
- Las electroválvulas que determinarán los períodos de alimentación de los humedales serán monitorizadas para una mayor precisión en los plazos de apertura y cierre; se instalarán en arquetas prefabricadas de hormigón con sistemas de drenaje para evitar problemas de condensaciones.



7

## IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DEL SISTEMA WETWINE



# Impacto Medioambiental del sistema WETWINE

El proyecto WETWINE también está trabajando en la **evaluación del impacto medioambiental de los humedales construidos como sistema de gestión de efluentes vitivinícolas**.

Con este objetivo, se ha realizado un análisis detallado de diversas tecnologías convencionales de gestión de efluentes en varias bodegas del territorio Sudoe que evalúa de forma comparativa su impacto medioambiental con respecto al sistema WETWINE.

Para este estudio se ha utilizado la **metodología del análisis del ciclo de vida (ACV)** que identifica y cuantifica tanto el uso de materias primas y energía como las emisiones al medio, y analiza los potenciales impactos ambientales de cada tecnología.

El ACV es una herramienta importante e interesante para la toma de decisiones y permite llevar a la práctica estrategias de reducción de los impactos ambientales para mejorar la sostenibilidad de las actividades productivas.

Las categorías de impacto (indicadores ambientales) elegidas para el estudio del ACV son:

- Cambio climático
- Agotamiento de la capa de ozono
- Acidificación terrestre
- Eutrofización de aguas dulces
- Eutrofización marina
- Formación de oxidantes fotoquímicos
- Formación de materia particulada
- Agotamiento de recursos minerales
- Agotamiento de combustibles fósiles

A modo de ejemplo presentamos los **resultados del ACV de tres bodegas de Galicia con 3 escenarios de gestión de efluentes diferentes** estudiados en el contexto del entorno del proyecto WETWINE, los tres escenarios analizados son los siguientes:

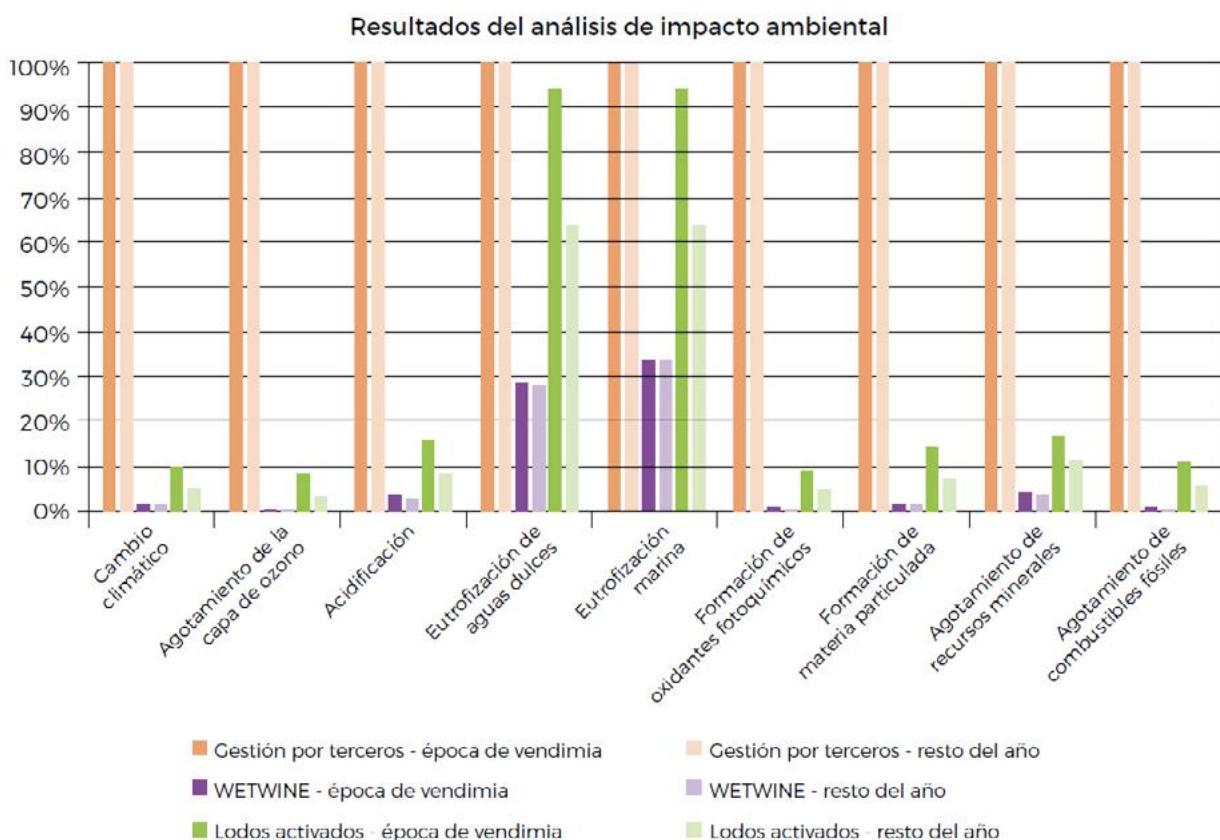
- **Gestión por terceros:** las aguas residuales son acumuladas en un tanque de homogeneización y son transportadas y tratadas por un gestor autorizado externo.



– **Sistema WETWINE:** tratamiento de los efluentes mediante un reactor anaerobio combinado con humedales de tratamiento de agua y de lodos, con vertido de las aguas tratadas al medio acuático y reutilización de los lodos tratados y estabilizados como abono.

– **Lodos activados:** tratamiento de los efluentes por medio de un sistema de lodos activados (reactor aireado seguido de un decantador secundario) con vertido de las aguas resultantes a red de alcantarillado, donde serán tratadas adicionalmente por una planta depuradora municipal. Los lodos son centrifugados y gestionados por terceros.

En el siguiente gráfico se pueden observar los resultados de la evaluación del impacto ambiental de estos tres escenarios durante el periodo de vendimia y durante el resto del año:



En la gráfica se puede observar que el sistema WETWINE es la solución más favorable desde el punto de vista medioambiental en todas las categorías de impacto analizadas.

En el caso de la gestión por terceros, el alto impacto medioambiental es debido principalmente al transporte de las aguas residuales y al tratamiento de las mismas en una depuradora convencional.

En el caso de los lodos activados, el alto impacto es debido al elevado consumo de químicos, al tratamiento adicional en una planta depuradora municipal y a la gestión de los lodos por terceros.

Como conclusión, es posible afirmar que el sistema WETWINE permite mejorar la sostenibilidad y disminuir la presión sobre el medio ambiente derivada de la gestión de efluentes vitivinícolas, debido a que este sistema limita el transporte, el consumo de energía y de reactivos en su tratamiento y evita las emisiones de vertidos peligrosos al medio, al mismo tiempo que se valorizan algunos subproductos obtenidos del proceso, como son los lodos para su uso como abono.

Además de los indicadores ambientales referidos, otros puntos a desatarcar de los humedales construidos desde una perspectiva medioambiental con respecto a las tecnologías convencionales son:

- Integración visual, paisajística y ambiental, sustituyendo instalaciones y edificaciones por espacios verdes.
- Consumo energético bajo o nulo, debido a que el agua se trata por medio de procesos naturales.
- Disminución de olores. En los humedales de flujo subsuperficial el agua no está en contacto con la atmósfera, lo que reduce drásticamente la generación de olores y aparición de mosquitos.
- La incorporación de aditivos o productos químicos en el proceso de depuración no es necesaria en condiciones normales.
- Posibilidad de valorización de los lodos como abono y la reutilización del agua para riego favoreciendo la economía circular.



En el marco del proyecto WETWINE se ha desarrollado una herramienta de cálculo que permite, de forma sencilla y rápida, evaluar el impacto ambiental del sistema WETWINE en el caso particular de cada bodega.

Puedes probarlo accediendo a la herramienta de cálculo en la web WETWINE [[www.wetwine.eu](http://www.wetwine.eu)]

- DE LA VARGA, D., DÍAZ, A., RUIZ, I., SOTO, M. (2013a). Avoiding clogging in constructed wetlands by using anaerobic digesters as pre-treatment. *Ecological Engineering* 52: 262– 269.
- DE LA VARGA, D., RUIZ, I., SOTO, M. (2013b). Winery Wastewater Treatment in Subsurface Constructed Wetlands with Different Bed Depths. *Water Air Soil Pollut* 224:1485-1497.
- DE LA VARGA, D. (2014). Depuración de aguas residuales en digestores anaerobios y humedales construidos: aplicación a la industria vitivinícola. Tesis de doctorado. Fundación AQUAE. Universidad de A Coruña.
- ESCUELA ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL, SEVILLA. (2008). Máster Profesional en Ingeniería y Gestión Medio Ambiental. Contaminación de las aguas. Instalaciones bodegueras, bebidas alcohólicas y elaboración de azúcar de remolacha.
- FUENTESAZ, F., PEITEADO, C. (2011). Un brindis por la tierra, Manual de buenas prácticas en viticultura. WWF / Adena.
- GARCÍA J., MORATÓ J., BAYONA J.M. (2004). Nuevos criterios para el diseño y operación de humedales construidos, J.M Editores, CPET Centro de Publicaciones del Campus Nord, Universitat Politècnica de Catalunya.
- GARCÍA, J., CORZO, A. (2008). Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial. Universidad Politécnica de Catalunya.
- GARFÍ, M., FLORES, L., GARCÍA J. (2018a). Beneficios ambientales de los sistemas de humedales construidos para el tratamiento de efluentes vitivinícolas. Resultados del proyecto WETWINE. WETWINE 2. 29 – 33.
- GARFÍ, M., FLORES, L., GARCÍA J., PUIGAGUT, J. (2018b). Entregable interno del proyecto WETWINE. Inventario del análisis del ciclo de vida.
- GOBIERNO DE LA RIOJA. (2006). Producción respetuosa con el medio ambiente en vitivinicultura; buenas prácticas de carácter técnico. SINERGIA Life Project.
- GRISMER, M.E., CARR, M.A. AND SHEPHERD, H.L. (2003). Evaluation of constructed wetland treatment performance for winery wastewater. *Wat. Env. Res.* 75(5) 412-421.
- HERNÁNDEZ, M. P., GARCÍA, B., MARTÍNEZ, F., SÁNCHEZ, B. Buenas prácticas ambientales: soluciones para la reducción del impacto en bodegas. Asociación de Empresas Vinícolas de Extremadura (ASEVEX).
- HUERTAS, R., MARCOS, C., IBARGUREN, N., ORDÁS, S. (2013). Guía práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Confederación Hidrográfica del Duero.
- KADLEC, R.H., WALLACE, S.D. (2009). Treatment Wetlands, Second Edition. CRC Press.
- MARTÍN, I., BETANCORT, J. R., SALAS, J. J., PEÑATE, B., PIDRE, J. R., SARDÓN, N. (2006). Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. Instituto tecnológico de Canarias.
- MASI, F., ROCHEREAU, J., TROESCH, S., RUIZ, I., SOTO, M. (2015). Wineries wastewater treatment by constructed wetlands: a review. *Water Science and Technology* 71(8), 1113-1127.
- MINISTERIO MEDIO AMBIENTE Y AGUA. (2015). Guía para la toma de muestras de agua residual. Ediciones Periagua.
- MOSTEO, R., ORMAD, P., MOZAS, E., SARASA, J. AND OVELLEIRO, J.L. (2006). Factorial experimental design of winery wastewaters treatment by heterogeneous photo-Fenton process. *Wat. Res.* 40. 1561-1568.
- MULIDZI, A.R. (2007). Winery wastewater treatment by constructed wetlands and the use of treated wastewater for cash crop production. *Wat. Sci. Technol.* 56(2). 103-109.
- PEDESCOLL, A. (2010). Clogging in horizontal subsurface flow constructed wetlands. Measures, design factors and prevention strategies. Tesis de doctorado.
- PENA, R. (2017a). Entregable interno del proyecto WETWINE. Diseño, construcción e instalación de la planta WETWINE.
- PENA, R. (2017b). Entregable interno del proyecto WETWINE. Puesta a punto y arranque de la planta WETWINE.
- PENA, R. (2017c). Entregable interno del proyecto WETWINE. Puesta en marcha y operación en estado estacionario de la planta.
- PENA, R. (2018). Entregable interno del proyecto WETWINE. Inventario del análisis del ciclo de vida. Optimización y validación del sistema híbrido anaerobio + humedales construidos a elevada carga hidráulica.
- PEREDA, L., CLEMENTE, R., NÚÑEZ, Y. (2013). Guía de buenas prácticas y mejoras técnicas ambientales para el sector del vino de Castilla y León. Fundación Centro Tecnológico Miranda de Ebro. HApro WINE Life Project.
- PETRUCCIOLI, M., DUARTE, J.C., EUSEBIO, A., FEDERICI, F. (2002). Aerobic treatment of winery wastewater using a jetloop activated sludge reactor. *Process Biochemistry* 37: 821-829.
- PIRRA, A. J. (2008). Manual de Boas Práticas Ambientais na Adega. APHVIN-GEHVID - Associação Portuguesa de História da Vinha e do Vinho
- RUGGIERI, L., CADENA, E., MARTÍNEZ-BLANCO, J., GASOL, C.M., RIERADEVALL, J., GABARRELL, X., GEA, T., SORT, X., SÁNCHEZ, A. (2009). Recovery of organic wastes in the Spanish wine industry. Technical, economic and environmental analyses of the composting process. *Journal of Cleaner Production* 17 (9), 830-838.
- SALAS, J. J., PIDRE, J. R., SÁNCHEZ, L. (2007). Manuel de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales. . Instituto del Agua de Andalucía.
- SECRETARIADO ALIANZA POR EL AGUA / ECOLOGÍA Y DESARROLLO, CENTRO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DEL AGUA. (2008). Manual de depuración de aguas residuales urbanas.
- SERRAÑO, L., DE LA VARGA, D., RUIZ, I. e SOTO, M. (2011). Winery Wastewater Treatment in a Hybrid Constructed Wetland. *Ecological Engineering* 37, 744-753.
- SOTO, M., DE LA VARGA, D. (2017). Humedales construidos y compostaje: biotecnologías que acercan la economía circular a la viticultura. WETWINE 2. 12 – 18.
- TEODORA, DE P., OJEDA, H. (2017a). Informe interno del proyecto WETWINE. Ensayos agronómicos 2017.
- TEODORA, DE P., OJEDA, H. (2017b). Caracterización de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales vitivinícolas. WETWINE 2. 34 – 39.
- VALDERRAMA, C., RIBERA, G., BAHÍ, N., GIMÉNEZ, T., NOMEN, R., LLUCH, S., YUSTE, M., MARTÍNEZ-LLADÓ, X. (2012). Winery wastewater treatment for water reuse purpose: Conventional activated sludge versus membrane bioreactor (MBR). A comparative case study. *Desalination* 306, 1-7.
- Vymazal, J. (2005). Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. *Ecol. Eng.* 25, 478-490.



