

# Reciclaje y desalinización parcial de aguas residuales ricas en nutrientes para el riego de viñedos

## Recycling and salinity mitigation of nutrient-rich wastewater for vine irrigation

Flor Etchebarne<sup>1</sup>, Hernán Ojeda<sup>2</sup> y Jean-Louis Escudier<sup>3</sup>

<sup>1</sup>EURODIA, Chemin de Saint-Martin, 84120 Pertuis, France

<sup>2</sup>INRAE, Unité Expérimentale de Pech Rouge, 11430 Gruissan, France

<sup>3</sup>Scientific Consultant (Ex-Expert OIV & Ex-Researcher INRAE Pech Rouge), 11110 Armissan

**Resumen.** En las regiones mediterráneas francesas y europeas, el riego por goteo ha sido una de las primeras adaptaciones realizadas por los viticultores frente a las consecuencias del cambio climático (situaciones de sequía cada vez más frecuentes). El agua tiene un valor indiscutible y, en este contexto, numerosas ayudas públicas han financiado varias iniciativas para estudiar la pertinencia técnica, medioambiental y económica de esta solución. La reutilización de aguas residuales depuradas, como fuente alternativa de agua y fertilizante, permite tanto el acceso a una fuente de calidad controlada como a la reducción de conflictos de uso, aplicando el principio de economía circular. Los nutrientes presentes en las aguas residuales municipales depuradas (N, P, K principalmente) constituyen una ventaja particular frente a las fuentes de agua de riego convencionales, por lo que, ocasionalmente, no se requerirían fertilizantes suplementarios. Sin embargo, para el riego con aguas residuales depuradas se tienen en cuenta requisitos medioambientales y sanitarios adicionales. En los casos en los que el contenido en sales disueltas del agua tratada no permite su uso directo, se requerirá de un tratamiento de desalinización parcial por membranas justo antes del tratamiento de desinfección. Este puede ser por electrodialisis reversible (EDR), nanofiltración (NF) u ósmosis inversa (OI). La etapa de desinfección es necesaria, sea cual sea el proceso de desalinización, para eliminar o inactivar los microorganismos patógenos aún presentes en el agua tratada y garantizar su calidad hasta el punto de utilización. De esta manera, se prevén los riesgos relacionados con el desarrollo de *biofilms* en la red de distribución y en los sistemas de microirrigación. El riego de viñedos con aguas residuales depuradas se practica desde hace décadas en importantes países productores de vino como Australia, Estados Unidos o España. En Francia, su uso es muy reciente, pero la demanda está creciendo gracias, en parte, a los resultados alentadores de proyectos pioneros. La viabilidad técnica y los temas relacionadas con las cuestiones económicas, la aceptabilidad social y las repercusiones medioambientales se presentan a partir de ejemplos de proyectos realizados o que están en fase de creación en el sur de Francia (Región *Occitanie*).

**Abstract.** In the French and European Mediterranean regions, drip irrigation of vines is one of the first adaptations made by wine growers to the consequences of climate change (increasingly frequent drought situations). Water has an undeniable value and in this context, numerous public aids have financed several initiatives to study the technical, environmental and economic relevance of this solution. The reuse of treated wastewater (TWW), as an alternative source of water and fertilizer, allows both access to a source of controlled quality and the reduction of conflicts of use by applying the principle of circular economy. Nutrients in municipal treated wastewater (N, P, K mainly) are a particular advantage in this source over conventional irrigation water sources, so supplemental fertilizers would sometimes not be required. However, additional environmental and health requirements are taken into account for this source of irrigation water. In cases where the dissolved salt content of the treated water does not allow for its direct use, a salinity refining membrane treatment is required just prior to the disinfection treatment. It can be by electrodialysis reversal (EDR), nanofiltration (NF) or reverse osmosis (RO). The disinfection step is indeed necessary, whatever the desalination process, to remove or inactivate the pathogenic micro-organisms still present in the treated water and to guarantee its quality up to the point of use. Thus, foreseeing risks linked to the development of biofilms in the water distribution system and the micro-irrigation systems. Vineyard irrigation with TWW reuse has been applied for decades in important wine-producing countries such as Australia, the United States or Spain. In France, its use is very recent but the demand is growing thanks, in part, to the encouraging results of pioneering projects. The technical feasibility and issues related to economic dimensions, social acceptability and environmental impacts are presented from examples of projects that have been studied or are being set up in the south of France (Occitanie region).

## 1 Escasez hídrica, economía circular y agua de riego

### 1.1 Contexto mundial

La escasez de agua es un problema mundial que está provocando una presión sin precedente sobre los suministros de agua dulce, especialmente en las regiones áridas y semiáridas.

El agua es vital para la producción agrícola y, por lo tanto, para la seguridad alimentaria mundial. Esta crisis se ve agravada por el crecimiento demográfico, el acceso a recursos hídricos finitos y el cambio climático, por lo que gestionar la futura evolución del uso del agua para el riego agrícola es, indudablemente, uno de los grandes retos a los que nos enfrentamos.

La agricultura es actualmente el principal consumidor de agua. Se estima que, de los recursos hídricos

convencionales disponibles a nivel mundial, el 70% se destina a la agricultura, el 11% al uso municipal y abastecimiento y 19% a usos industriales. Dado que, la producción agrícola mundial se ha triplicado en los últimos cincuenta años, y más del 40% del incremento de la producción alimentaria proviene de las zonas de regadío, que han duplicado la superficie neta cultivada a nivel mundial [1]. Además, la agricultura de regadío representa el 20% del total de la tierra cultivada y aporta el 40% del total de alimentos producidos en todo el mundo [1].

En este contexto, y dado que la agricultura de secano, enfrentada a la variabilidad de las lluvias debido al cambio climático, tampoco se libra, es necesario actuar con urgencia, y hacer posible una planificación previa que permita la incorporación de recursos hídricos no convencionales, como son la reutilización de agua y la desalación.

## 1.2 Economía circular en el pequeño ciclo del agua: una cuestión vital

La estrategia de este enfoque es integrar adecuadamente el ciclo hidrológico natural y el ciclo tecnológico del agua, con el objetivo de optimizar y reutilizar este recurso vital, permitiendo así una gestión planificada, eficiente y sostenible.

Los modelos de consumo de agua basados en una economía lineal, es decir, “captación → potabilización → distribución → uso → saneamiento → vertido al medio ambiente” no son sostenibles, ni desde el punto de vista económico ni desde el medioambiental.

Si tratamos de concebir el agua como un elemento clave del concepto de economía circular, deberíamos aspirar a mejorar el nivel de calidad del agua que sale de las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales (EDAR) y darle así, una segunda vida mediante su reutilización. El objetivo es acercar el ciclo hidrológico natural al ciclo técnico de reutilización del agua, intentando que sea circular, eficiente y sostenible. Por ejemplo, rediseñando la red de ciudades e infraestructuras (doble canalización), optimizando la eficiencia del uso de agua en cada proceso (reducción del consumo de agua potable) y utilizando energías renovables (biogás, eólica, fotovoltaica, hidráulica).

Los catalizadores de estos diseños ecológicos son sin duda la “innovación”, la “excelencia técnica” y la “transferencia de experiencias”. Una buena gestión del suministro de agua reciclada reduce la extracción de agua de fuentes convencionales y puede proporcionar al ciclo “hidrológico” una fuente fiable de agua [2].

## 1.3 Riego de la vid: una herramienta de adaptación

La intensidad y duración de la sequía han hecho que el riego de la vid sea una práctica cada vez más utilizada. En el sur de Francia, la superficie de viñedos de regadío ha aumentado en unas 1.800 ha al año desde 2010, superando actualmente el 15% de la superficie total de viñedos del

territorio de Languedoc-Roussillon (Región *Occitanie*). Según un estudio de la AIRMF<sup>a</sup>, el viñedo es actualmente el primer cultivo de regadío en esta zona de Francia.

En este contexto, las políticas públicas en el marco de la OCM<sup>b</sup> vitivinícola han contribuido al desarrollo del riego de los viñedos financiando la instalación de sistemas de riego por goteo. En la cuenca de Languedoc-Roussillon, durante el periodo 2008-2018, se equiparon más de 23.000 ha gracias a las ayudas a la reestructuración del viñedo. Al mismo tiempo, las ayudas públicas que movilizan las dotaciones del FEADER<sup>c</sup> han financiado numerosas iniciativas de apoyo a diversos proyectos de desarrollo de redes de distribución de agua para uso agrícola.

Evidentemente, el agua para la agricultura no podrá llegar a todas las zonas cultivadas que requieren riego y, en algunos casos, habrá conflictos de uso con la población urbana. Para evitar esta situación, se están estudiando recursos alternativos, promoviendo la reutilización del agua en un contexto de economía circular. Esta alternativa es fuertemente alentada por la Unión Europea, que estima que es potencialmente posible reutilizar 6.600 millones de m<sup>3</sup> de agua de aquí a 2025, frente a los 1.100 millones de m<sup>3</sup> actuales, movilizándolo la mitad del volumen actual de agua de las EDAR teóricamente disponible para el riego, ahorrando más del 5% de la extracción directa de las masas de agua y de las aguas subterráneas (*c.f.* Parlamento Europeo) [3].

## 2 Reciclaje y reutilización de aguas residuales: un recurso hídrico controlado, perenne; pero limitado

### 2.1 Situación actual

El reciclaje y la reutilización de aguas residuales, como parte de las soluciones para afrontar la crisis mundial del agua, se ha incrementado significativamente en los últimos años. Es así que, tanto Ciudad del Cabo (Sudáfrica) como California (Estados Unidos) están fomentando la reutilización de aguas residuales para abastecimiento de agua potable. Mientras que la reutilización de aguas residuales industriales está en pleno auge en países como China, India y Taiwán, que están impulsando un gran crecimiento en este sector [4].

También es destacable el posicionamiento de Estados Unidos, segundo mercado más grande en reutilización a nivel global, con el 10% de la capacidad total. Y países como México, Perú y Egipto han impulsado un interesante desarrollo de este sector durante el último año [4].

Según datos de la Comisión Europea, en la UE cada año se tratan más de 40.000 millones de m<sup>3</sup> de aguas residuales; pero sólo se reutilizan 964 millones de m<sup>3</sup> (menos del 2,5%). Siendo España uno de los países más importantes en reutilización, más del 40% de las aguas reutilizadas en Europa son españolas [5]. Mientras que, Francia con 7,7 millones de m<sup>3</sup> de aguas reutilizadas cada año, aún está en plena organización y desarrollo de esta

<sup>a</sup> Association des irrigants des régions méditerranéennes françaises.

<sup>b</sup> L'organisation commune du marché (OCM) vitivinicole est le cadre du droit européen qui fixe les mécanismes de la politique

agricole commune (PAC) applicables à l'exploitation de la vigne dans les pays membres de l'Union européenne.

<sup>c</sup> Fonds européen agricole pour le développement rural.

práctica. La cual se limita, por tanto, a determinadas regiones (principalmente el sur de Francia), y los proyectos, en gran parte, están enfocados esencialmente en el riego de la vid y de parques y jardines.

Sin embargo, con el reciente Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo del 25 de mayo 2020 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua para uso agrícola (entrada en aplicación el 26 de junio 2023), esta práctica podría aumentar rápidamente en los próximos años: pasando de los 3 millones de m<sup>3</sup>/día, actualmente, a los 18 millones de m<sup>3</sup>/día [6].

## 2.2 Aspectos técnicos del reciclaje y de la reutilización de aguas residuales

El reciclaje de las aguas residuales urbanas es un recurso alternativo original y valioso. Su reutilización tras el tratamiento para el riego agrícola se está en pleno desarrollo en todo el mundo desde principios del siglo XXI. Incluso se ha convertido en una práctica habitual en algunos países –sobre todo en las regiones áridas y semiáridas– para hacer frente a la escasez de agua, teniendo así acceso a una producción de agua local continua (anual o estacional), pero limitada por la capacidad de tratamiento de las EDAR. En los últimos años, la creación de nuevas EDAR, así como la mejora de las antiguas instalaciones –en Francia, España y otros países europeos– han permitido la modernización de estas infraestructuras en algunos municipios, que ahora cuentan con tecnologías avanzadas de tratamiento, especialmente sistemas de membrana. En estos casos concretos, el agua producida corresponde a diferentes calidades, que incluso pueden utilizarse directamente –sin tratamiento adicional, llamado “terciario”– para el riego agrícola (Fig. 1).



**Figura 1.** Aspectos técnicos del reciclaje y de la reutilización de agua residual urbana para la agricultura (© F. Etchebarne).

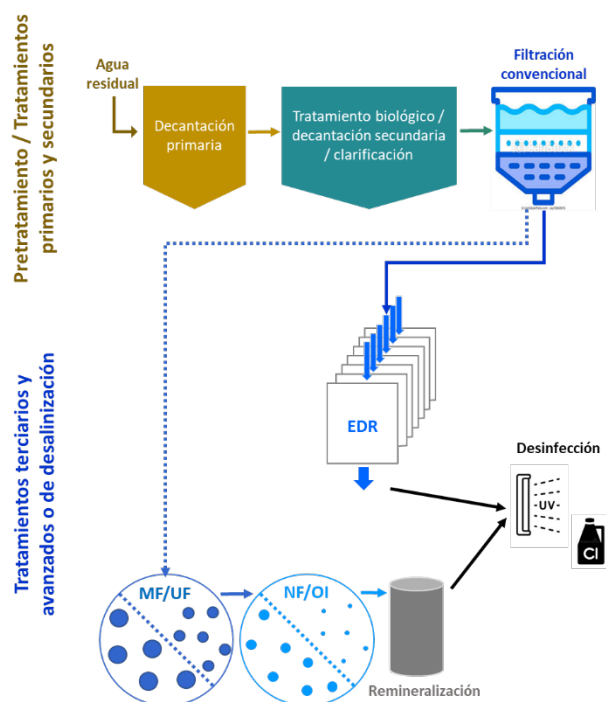
### 2.2.1 Tratamiento “terciario”

La elección de los tratamientos terciarios dependerá principalmente de la calidad del agua reciclada y de sus variaciones (eficacia de los procesos de tratamiento primario y secundario existentes en las EDAR), de la calidad del agua tratada que se requiera obtener (exigida para su uso según la legislación vigente), de los costes de inversión y explotación de cada tipo de tecnología, de la gestión del flujo de agua de lavado, de la superficie disponible para su implantación, etc.

Para los usos agrícolas y medioambientales, los tratamientos terciarios predominantes son las líneas de tratamiento físico-químico (coagulación, floculación y decantación), seguidas de la filtración superficial o profunda y del tratamiento de desinfección (Fig. 2).

Una tecnología que ha ganado terreno en los últimos años es la de los reactores biológicos de membrana (MBR), pero principalmente en las EDAR de gran capacidad, debido a la calidad del agua obtenida y a algunas de sus ventajas sobre los tratamientos convencionales. Esta tecnología combina los procesos biológicos y la tecnología de membranas de microfiltración (MF) o ultrafiltración (UF) en la misma etapa.

En los casos en los que el contenido en sales disueltas del agua tratada no permite su utilización directa, se incorpora un tratamiento de desalinización parcial mediante membranas, justo antes del tratamiento de desinfección. Puede ser por electrodialisis reversible (EDR) –si conductividad eléctrica del agua (CE) <12,5 dS/m, o por nanofiltración (NF) u ósmosis inversa (OI) –si CE >12,5 dS/m (Fig. 2). Es así que, la etapa de desinfección es necesaria, sea cual sea el proceso de desalinización, para destruir o inactivar los microorganismos patógenos aún presentes en el agua tratada y garantizar su calidad hasta el punto de utilización. Previendo, asimismo, los riesgos ligados al desarrollo de *biofilms* en la red de distribución y en los sistemas de microrriego [7].



**Figura 2.** Representación esquemática de los procesos de reciclaje de aguas residuales urbanas para obtener un agua tratada de calidad controlada con respecto al uso previsto y a la normativa vigente (© F. Etchebarne).

### 2.2.2 Tratamiento “avanzado o de desalinización”

Los procesos de desalinización por membranas que existen actualmente en el mercado son principalmente la ósmosis

inversa (OI), la nanofiltración (NF) y la electrodiálisis reversible (EDR).

La calidad del agua necesaria para alimentar la EDR es mucho menos exigente que en el caso de la NF/OI. En este último caso, los sólidos en suspensión (SS) no deben superar 1 mg/L, mientras que con el EDR es posible llegar mucho más alto y hasta 10 mg/L. En consecuencia, el pretratamiento a dimensionar en el caso de la EDR es más sencillo (filtración convencional) y mucho menos costoso que en el caso de la NF/OI (UF + filtros de cartucho). En caso de concentraciones muy altas de SS en el agua reciclada (> 20 mg/L), también sería necesario proteger las membranas de UF mediante filtración convencional (Fig. 2).

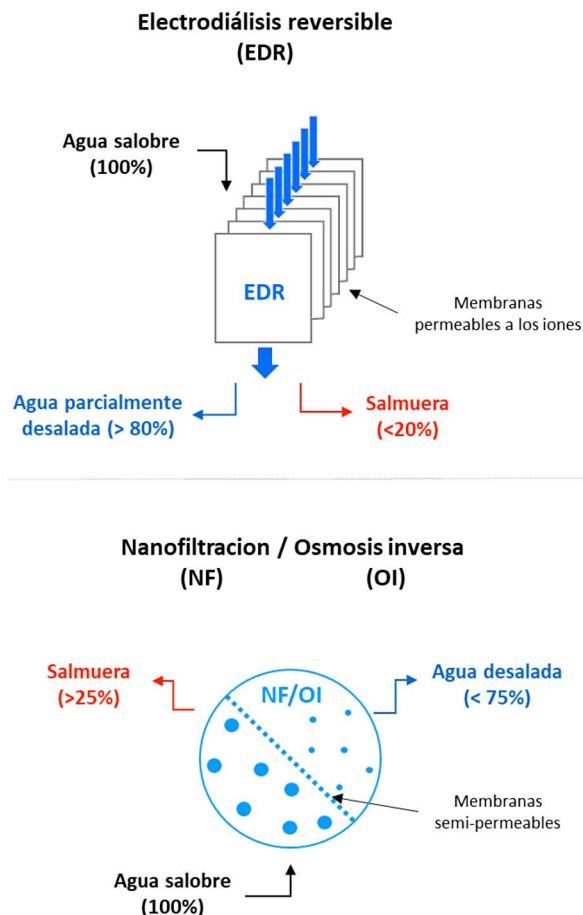
La OI y la NF son procesos denominados de baromembrana: bajo presión, una fracción del agua pasa a través de una membrana semipermeable dejando agua con una alta concentración de sal en el lado de la presión. La EDR es un proceso de separación por electromembranas: bajo el efecto de un campo eléctrico, las sales disueltas (iones) se extraen de la solución que las contiene atravesando membranas permeables a los iones. Esto significa que en el caso de la NF y de la OI, lo que se extrae es el disolvente (agua), mientras que en la EDR lo que se extrae es el soluto (iones) (Fig. 3).

Por lo tanto, dependiendo de la composición del agua a tratar, los dos tipos de proceso (baromembrana y electromembrana) no tendrán los mismos efectos. Si en el caso de la desalinización de agua salobre no convencional para producir agua potable, la OI es más pertinente que la EDR, esto deja de ser válido, en el caso de la reutilización de aguas residuales para la agricultura.

El agua que sale de una EDAR contiene materia orgánica disuelta (iónica y no iónica), iones minerales (principalmente procedentes del agua potable distribuida) y, en el caso de las plantas costeras, NaCl procedente de la intrusión de agua de mar en el sistema de alcantarillado. En este tipo de agua, la EDR sólo extraerá las especies ionizadas y principalmente los iones más móviles, es decir,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Ca}^{2+}$ . La materia orgánica no se verá afectada, ni tampoco los ácidos orgánicos (débilmente disociados). Como resultado, el agua tratada parcialmente desalada guardará todos sus nutrientes orgánicos y minerales [8]. Sólo se eliminará la fracción perjudicial para la planta. Esta se extraerá de forma ajustable según la necesidad por simple modulación del campo eléctrico aplicado.

En este mismo tipo de agua, la OI o la NF no darían una buena respuesta en la medida en que todas las especies disueltas (minerales y orgánicas) quedarían retenidas en el concentrado. El agua producida estaría casi totalmente desmineralizada (sólo los iones monovalentes, como el  $\text{Cl}^-$  y el  $\text{Na}^+$ , pueden atravesar la membrana semipermeable) y carecería de nutrientes. Sólo un remezcla con agua bruta permitiría recuperar una pequeña fracción de las mismas.

Además, la solución de desalinización parcial por EDR permite un funcionamiento discontinuo, es decir, paradas y reinicios sin restricciones, según las necesidades (estrategias de riego en función del clima, variedades de uva, perfil del vino, etc.). Ventajas ecológicas y económicas que permiten limitar el número de días de funcionamiento de la instalación, al evitar el almacenamiento (con las limitaciones generadas por la En



**Figura 3.** Esquemas de los procesos de desalinización de agua salobre por electrodiálisis reversible (EDR) y nanofiltración (NF) u ósmosis inversa (RO). Los porcentajes de producción de agua desalada y salmuera se dan a título indicativo (© F. Etchebarne).

degradación de la calidad del agua y las pérdidas ligadas a la evaporación) y al reducir los costes de inversión y de explotación [9].

### 3 Riego de viñedos con agua reciclada: iniciativas en el sur de Francia

Francia, el uso de agua reciclada está empezando a materializarse en los viñedos de la zona mediterránea, sobre la base de proyectos pioneros que han aportado los primeros conocimientos y respuestas sobre la viabilidad técnica y los temas relacionados con las cuestiones económicas, la aceptabilidad social y las repercusiones medioambientales.

#### 3.1 Proyecto “Irri-Alt’Eau” – Gruissan (2013-2018) / “Irri-Alt’Eau 2.0” (a partir de 2021)

La idea del proyecto Irri-Alt’Eau nació en 2011, y pudo al fin concretizarse y desarrollarse durante el periodo 2013-2018 en la localidad de Gruissan (sobre la costa mediterránea). Irri-Alt’Eau constituyó la primera “plataforma experimental y pedagógica de terreno” en Francia sobre la reutilización de aguas residuales recicladas para el riego por goteo de viñedos. Este proyecto se desarrolló en dos fases: **2013-2016 Investigación y desarrollo** (Consorcio Irri-Alt’Eau:

INRAE<sup>d</sup>, Veolia, Cave de Gruissan, Aquadoc y Grand Narbonne) y **2016-2018 Observatorio** (Consortio Irri-Alt'Eau y contribución de la OIV mediante la beca de investigación otorgada a F. Etchebarne [10]). Y se centró en tres áreas de trabajo: i) el desarrollo de un sistema de tratamiento terciario del agua; ii) el seguimiento de los efectos cualitativos y cuantitativos del agua reciclada en el sistema integrado agua-suelo-planta-fruta-medio ambiente; y iii) los estudios sobre la aceptación social, el análisis del ciclo de vida y la viabilidad económica.

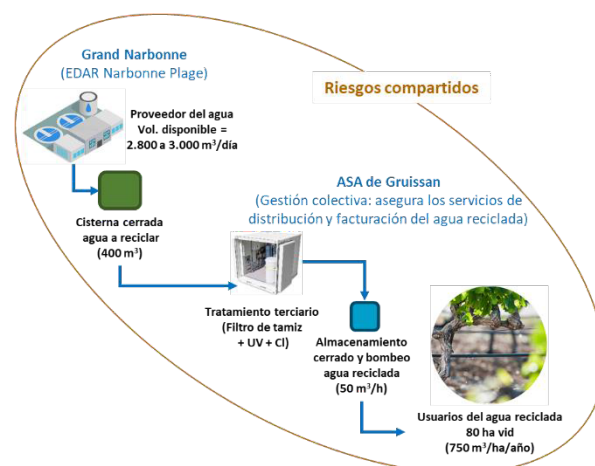
Los resultados de las investigaciones realizadas sobre una superficie total de 1,5 ha, combinando diferentes variables (tipos de suelo, variedades de uva, necesidades hídricas, añadas...), han dado lugar a diferentes publicaciones [10-15] y demostrado la viabilidad técnica de esta práctica, tanto a nivel del tratamiento terciario del agua como a nivel de su utilización para el riego por goteo de la vid, así como, la necesidad del control de la calidad requerida en los puntos de uso en cumplimiento con la normativa vigente. Un aspecto importante a tener en cuenta es que el riego con este tipo de agua tiene un cierto grado de similitud con la fertirrigación (Tabla 1), ya que estas aguas pueden contener cantidades significativas de macronutrientes y micronutrientes esenciales para las plantas [10, 16]. Sin embargo, las concentraciones de los diferentes elementos en el agua variarán en función del origen de las aguas residuales y de las técnicas de tratamiento utilizadas en las EDAR. Además, los aportes serán proporcionales a la cantidad de agua de riego suministrada, que dependerá de las condiciones climáticas, de la pluviometría existente, y del tipo de cultivo (uvas de vino o de mesa). A modo de ejemplo: en el contexto de este proyecto se ha demostrado que estas aguas pueden aportar entre el 20% y el 80% de las necesidades anuales de nitrógeno del viñedo, en función del volumen de agua aportado [10].

Irri-Alt'Eau representó una inversión total de 2.515.000 € gracias al apoyo financiero de Fondos Feder, Región Occitanie, Bpifrance Languedoc-Roussillon - Midi Pyrénées, Agencia del Agua Rhône-Méditerranée-Corse (RMC), Grand Narbonne, la cofinanciación de empresas y organismos asociados, además de haber contado con el apoyo de AD'OCC.

Es así que, la experiencia positiva de este proyecto, ha dado lugar a la creación de un sitio de demostración a gran escala, denominado Irri-Alt'Eau 2.0, cuyo objetivo es regar 80 ha de viñedos en Gruissan (en marcha desde la campaña 2021) [17]. La ASA<sup>e</sup> de Gruissan (creada en julio del 2019) está a cargo de la gestión colectiva de esta nueva infraestructura de un coste de aproximadamente 755.000 €. Una participación de base de los beneficiarios de 125 €/ha/año ha sido acordada para cubrir los costes de funcionamiento y renovación, además del pago del agua consumida que tiene un coste de 0,38€ el m<sup>3</sup>.

### 3.2 Proyecto “Murviel-lès-Montpellier” (a partir de 2017)

Este proyecto se creó en 2017 como una plataforma científica (INRAE en colaboración con el IEM<sup>f</sup>) en la



**Figura 4.** Descripción del proyecto « Irri-Alt'Eau 2.0 – Gruissan » y esquema de gestión.

EDAR de Murviel-lès-Montpellier (situada en el departamento Hérault, Francia). El objetivo es reutilizar las aguas residuales para aplicaciones agrícolas. El agua es tratada mediante un biorreactor de membranas que permite separar el agua tratada de los flóculos bacterianos. Los ensayos se llevan a cabo en una parcela de vid y alfalfa de aproximadamente 0,5 ha (propiedad de un agricultor vecino). Igualmente, en invernadero (bajo condiciones controladas) se realizan ensayos en cultivos hortícolas cultivados en macetas, pero con calidades de aguas residuales no reglamentadas.

Los parámetros de seguimiento son: la salinidad del suelo, el contenido de patógenos y los contaminantes emergentes. Asimismo, se observa el impacto en las plantas y en el rendimiento. Los equipos de investigación también trabajan en la optimización de los sistemas de riego localizado y los protocolos de limpieza: las aguas residuales, muy nutritivas, pueden provocar obstrucciones por crecimiento bacteriano (biofilm).

La inversión inicial de este proyecto ha sido de aproximadamente 1.000.000 € (50% subvencionado por la Agencia del Agua RMC) en 2017, y desde entonces, beneficia del apoyo financiero de diferentes proyectos que se han incorporado a esta plataforma científica.

### 3.3 Proyecto “Roquefort-des-Corbières” (a partir de 2018)

A partir de la construcción de la EDAR de Roquefort-des-Corbières en 2012, se empezó a pensar en la reutilización del agua de esta infraestructura en beneficio de los viticultores, dado que este municipio no dispone de suficientes recursos hídricos renovables para satisfacer las necesidades agrícolas.

Con el apoyo de la comunidad de aglomeración Grand Narbonne (propietaria de la EDAR) y de la Agencia del Agua RMC, y del IFV para la parte técnica, es el consorcio BRL - Vignobles de Cap Leucate el que ha permitido llevar a cabo este proyecto. Tras dos años de experimentación, el proyecto ha podido ampliarse a 15 ha en 2020. Las parcelas de 11 viticultores, agrupados en

<sup>d</sup> Instituto Nacional de Investigación Agraria, Alimentaria y Medioambiental.

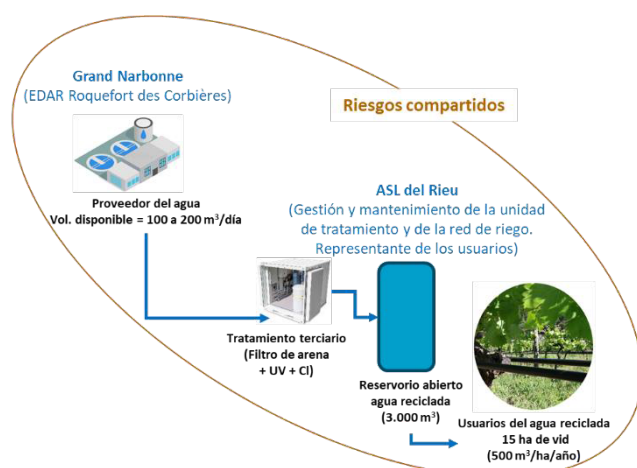
<sup>e</sup> Asociación Sindical Autorizada (ASA) de regantes.

<sup>f</sup> Instituto Europeo de Membranas.

ASL<sup>g</sup> del Rieu, se abastecen así de un volumen medio de agua de aproximadamente 500 m<sup>3</sup>/ha/año.

La baja estacionalidad de esta localidad sólo permite una pequeña variación en el volumen de agua tratada, por lo que se ha creado un reservorio de 3.000 m<sup>3</sup>. El tratamiento terciario consiste en un filtro de arena y un reactor de rayos ultravioleta situados justo antes del reservorio de almacenamiento del agua reciclada.

El coste global de este proyecto fue de 362.000 €, de los cuales el 50% fue subvencionado por la Agencia del Agua RMC en el marco de una convocatoria de proyectos. El resto fue financiado por BRL Explotación, líder del proyecto, que también se encargó de la gestión y el mantenimiento de las instalaciones durante toda la fase piloto del proyecto (2018-2020), cuyo uso gratuito para los viticultores ya había sido negociado anticipadamente. Sin embargo, los viticultores financian la compra del terreno donde se encuentra el reservorio, es decir, 250 €/ha de viñedo regado por año. Actualmente, es la ASL del Rieu quien se encarga de la gestión y del mantenimiento del sistema de tratamiento terciario y de la red de riego. Por lo tanto, la participación de los beneficiarios aumentará progresivamente, con el fin de alcanzar una autonomía financiera.



**Figura 5.** Descripción del proyecto « Roquefort des Corbières » y esquema de gestión.

### 3.4 Proyecto «Viñedo GDL sobre el Lido de Thau» – entre Sète y Marseillan (en fase de creación)

Debido a su ubicación, este viñedo de 246 ha cultivado en una franja de arena entre Sète y Marseillan, y entre el estanque de Thau y el mar Mediterráneo, es muy sensible a las condiciones meteorológicas. Además, las aguas subterráneas superficiales están sometidas al afloramiento de agua salada (estanque marino), y no hay acceso a fuentes de agua dulce.

Así es que, esta explotación está sometida a los efectos del cambio climático, en particular a las sequías estivales, cada vez más largas y graves. Las pérdidas de producción han ascendido a aproximadamente 50% en los últimos 5

años, debido a la reducción de los rendimientos, pero también, a la mortalidad de las vides, lo que supone un alto riesgo para la sostenibilidad de esta actividad en el Lido de Thau.

Visto que estos viñedos forman parte del patrimonio de la región desde 1883 (año de fundación), se ha puesto en marcha un proyecto de reciclaje y reutilización del agua de la EDAR de Marseillan "Pradels". Con el objetivo de preservar el viñedo y los aspectos ecológicos de este emblemático lugar.

Este proyecto ha conllevado a un acuerdo de colaboración entre el CELRL<sup>h</sup> propietario de las Salinas y del canal de circunvalación, y GDL<sup>i</sup> propietario del viñedo vecino, SAM<sup>j</sup> propietario de la EDAR "Pradels" situada en el municipio de Marseillan y gestora de las Salinas por cuenta del CELRL, así como el Conservatorio de Espacios Naturales de Occitanie, cogestor de las Salinas asociado a SAM por cuenta del CELRL. El cual ha sido formalizado con la firma de un acuerdo completo de una duración de 20 años y basado en un Reglamento sobre el uso del agua. Este reglamento se completó con dos acuerdos:

- Un acuerdo sobre el vertido de la EDAR, para fijar las condiciones de gestión del reservorio de almacenamiento artificial y del canal de circunvalación al que se vierte el agua de la EDAR antes de infiltrarse en las Salinas.
- Un acuerdo para la reutilización de las aguas residuales tratadas de la EDAR, para fijar las condiciones de funcionamiento y seguimiento de esta reutilización.

Las condiciones de uso del agua del reservorio de almacenamiento artificial de 65.000 m<sup>3</sup> se definen en el Reglamento de uso del agua. El cual autoriza a GDL a retirar un volumen de agua máximo para el riego de sus viñedos, en relación al volumen disponible de aguas residuales tratadas por año.

El único problema es que el nivel de salinidad de esta agua es relativamente alto a la salida de la EDAR, por lo que, el proyecto contempla la realización de una unidad de desalinización parcial y selectiva (disminución de iones Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>), seguida de un proceso de desinfección.

Por otro lado, el nivel de calidad de esta agua que se exige para el riego por goteo de la vid es "calidad C" (normativa francesa). No obstante, para respetar una distancia mínima reglamentaria de 50 m entre el perímetro de riego y las zonas de actividad que deben protegerse (zonas de marisqueo y zonas de bañada), el nivel de calidad al que se aspira será la "calidad A", es decir, el nivel más alto.

Más allá del objetivo de preservar los rendimientos y la calidad de las uvas, los beneficios medioambientales y socioeconómicos previstos para el territorio son significativos: i) reducción de la presión sobre el recurso hídrico, ii) reducción de los volúmenes de aguas residuales tratadas vertidas en el estanque de Thau, así como la mejora del estado cualitativo de este entorno, iii) preservación del lido gracias al enraizamiento de las vides en la duna, iv) conservación de los puestos de trabajo asociados y desarrollo de estos espacios naturales.

<sup>g</sup> Asociación Sindical Libre (ASL).

<sup>h</sup> Conservatoire de l'Espace Littoral et des Rivages Lacustres (CELRL).

<sup>i</sup> Grands Domaines du Littoral (GDL).

<sup>j</sup> Sète Agglopôle Méditerranée (SAM).

## 4 Valor nutritivo del agua residual reciclada

El valor nutritivo de las aguas residuales recicladas debido a la presencia de residuos de carbono y nutrientes es una ventaja mayor para los cultivos en general, y para la vid en particular. Este recurso hídrico contiene macro- y micronutrientes esenciales para la nutrición de las plantas. Los macronutrientes más importantes son el nitrógeno (N), el fósforo (P), el potasio (K) y el azufre (S). También contiene micronutrientes (zinc, boro...), así como residuos de materia orgánica que, por su efecto a largo plazo sobre la fertilidad del suelo, puede contribuir a la estabilidad estructural del mismo y mejorar la actividad microbiana.

Es así que, en función del origen de las aguas residuales (ciudad-país) y de las técnicas de tratamiento utilizadas en las EDAR (secundario, terciario, avanzado), estas aguas pueden ser más o menos ricas en nutrientes y sales.

**Tabla 1.** Fertirrigación con aguas residuales recicladas. Cantidad de macronutrientes aportados anualmente y porcentaje según las necesidades medias de un viñedo adulto (Fuente: proyectos IrriAlt'Eau y Roquefort-des-Corbières [16]).

| Volumen de agua por hectárea aplicada anualmente por riego |       | Macronutrientes aportados (en kg) y porcentajes respecto a las necesidades anuales de un viñedo adulto |    |     |     |    |    |
|------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----|-----|----|----|
|                                                            |       | Proyecto Irri-Alt'Eau                                                                                  |    |     |     |    |    |
|                                                            |       | N                                                                                                      |    | P   |     | K  |    |
| en m <sup>3</sup>                                          | en mm | kg                                                                                                     | %  | kg  | %   | kg | %  |
| 300                                                        | 30    | 13                                                                                                     | 26 | 0,3 | 0,6 | 9  | 22 |
| 500                                                        | 50    | 21                                                                                                     | 42 | 0,6 | 1,2 | 15 | 38 |
| 750                                                        | 75    | 32                                                                                                     | 64 | 0,9 | 1,8 | 23 | 58 |
| 1000                                                       | 100   | 42                                                                                                     | 84 | 1,1 | 2,2 | 30 | 75 |

| Volumen de agua por hectárea aplicada anualmente por riego |       | Macronutrientes aportados (en kg) y porcentajes respecto a las necesidades anuales de un viñedo adulto |     |      |      |    |    |
|------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------|------|----|----|
|                                                            |       | Proyecto Roquefort-des-Corbières                                                                       |     |      |      |    |    |
|                                                            |       | N                                                                                                      |     | P    |      | K  |    |
| en m <sup>3</sup>                                          | en mm | kg                                                                                                     | %   | kg   | %    | kg | %  |
| 300                                                        | 30    | 0,7                                                                                                    | 1,4 | 0,04 | 0,08 | 8  | 19 |
| 500                                                        | 50    | 1,1                                                                                                    | 2,2 | 0,07 | 0,14 | 14 | 35 |
| 750                                                        | 75    | 1,7                                                                                                    | 3,4 | 0,11 | 0,22 | 21 | 52 |
| 1000                                                       | 100   | 2,2                                                                                                    | 4,4 | 0,14 | 0,44 | 28 | 70 |

Los resultados de las investigaciones realizadas en el marco de los proyectos Irri-Alt'Eau y Roquefort-des-Corbières (Tabla 1) muestran que, en función del volumen de riego aportado, puede añadirse anualmente un porcentaje no despreciable de nutrientes, en particular en lo que respecta al N y al K. En el caso del P, los aportes son mínimos debido al tipo de tratamiento terciario utilizado en la EDAR. Por lo tanto, es necesario tener en cuenta estas cantidades de elementos nutricionales aportados con el agua residual reciclada en el programa global de fertilización del viñedo. En este sentido, los resultados de estas investigaciones han mostrado que incluso cuando se riega con una gran cantidad de agua, del orden de 1.000 m<sup>3</sup>/año por hectárea en la zona mediterránea, los aportes totales de nutrientes no superan las necesidades anuales de un viñedo (Tabla 1). Lo cual muestra que no habría problema en cuanto a impactos

ambientales adversos asociados a posibles excesos de nutrientes en el suelo.

## 5 Enfoque técnico y económico del reciclaje y de la desalinización del agua para riego

La reutilización de agua residual reciclada para el riego de cultivos, es hoy en día, una de las posibles soluciones para hacer frente a la escasez de recursos hídricos. Por ejemplo, en el sur de Francia y bajo las condiciones climáticas actuales, una EDAR de 50.000 habitantes (que vierte al mar, sin conflicto de uso) permitiría regar unas 150 ha de vid por día (a razón de aportes de 50 m<sup>3</sup>/ha). De este modo, se podría regar un viñedo de entre 600 y 1.000 ha en función de las necesidades hídricas (entre 600 y 1.000 m<sup>3</sup>/año).

Aunque, los beneficios de esta práctica son múltiples: reducción de la presión sobre determinados recursos hídricos, mantenimiento de sectores económicos dentro de un territorio, preservación de actividades agrícolas y seguridad alimentaria, etc.; siguen existiendo interrogantes sobre los riesgos económicos (costes adicionales, consumo energético...), sanitarios y medioambientales (residuos de metales pesados, productos farmacéuticos...), que son objeto de debates. No obstante, las investigaciones y resultados del proyecto Irri-Alt'Eau han demostrado que, bajo una estrategia de riego bien adaptada, no habría ningún riesgo sanitario, ya sea en la uva o en el vino; ni medioambiental (Informe proyecto Irri-Alt'Eau, datos no publicados).

Por lo tanto, desde un punto de vista técnico: el riego con agua residual reciclada debe manejarse como una fertirrigación constante, y con atención a regular los aportes fertilizantes complementarios, en función de los estados fenológicos y las necesidades de la vid.

Es justamente por este valor añadido (contenido de nutrientes) de las aguas recicladas que, cuando éstas se almacenan –y bajo ciertas condiciones climáticas– se produce un crecimiento y desarrollo de algas que podrían dar lugar a problemas de obstrucción en los sistemas de riego de precisión. En este contexto, y en la medida de lo posible, es recomendable una organización simple, flexible y adaptada al mundo agrícola. La cual podría permitir satisfacer la demanda sin necesidad de reservorios de almacenamiento, que por otro lado estarían sujetos a grandes pérdidas de agua por evaporación (salvo si se almacena en cisternas flexibles cerradas). En caso de no tener otra alternativa, deberá incluirse un sistema de filtrado que permita garantizar la uniformidad del riego en las parcelas y la durabilidad de las instalaciones de riego.

En el caso de aguas salobres es imprescindible un proceso de desalinización parcial selectiva. El nivel de desalinización debe adaptarse al tipo de cultivo (*i.e.* vid) y al sistema de microriego. Teniendo en cuenta que el objetivo debe ser de preservar los nutrientes contenidos en el agua reciclada, en el marco de a un enfoque sostenible y eco-responsable.

Los procesos de desalinización parcial tienen unos costes de inversión y funcionamiento elevados [9], pero son necesarios y viables en zonas con estrés hídrico sin

acceso a fuentes de agua alternativas. Varias regiones vitivinícolas, sobre todo en zonas costeras, están sufriendo de lleno los efectos del cambio climático con episodios de sequía cada vez más frecuentes y graves. La disminución de los rendimientos, la mortalidad de las vides y la pérdida de calidad de los vinos tienen fuertes impactos socioeconómicos que exigen la adopción de estos desarrollos tecnológicos para garantizar la sostenibilidad de las explotaciones. Es importante, entonces, tener en cuenta que la realización de un proyecto de este tipo está condicionada a la obtención de ayudas financieras, tanto para la fase de estudio como para la concepción y realización. Dependiendo de las características del proyecto, parte de este importe puede ser cubierto por los agricultores, siempre que sea aceptable. Su disposición a pagar más por este recurso hídrico dependerá de varios factores:

- las condiciones de accesibilidad al agua en el territorio;
- la urgencia debida a pérdidas de producción y a la perpetuación de la actividad;
- el contexto económico local y, en particular, el valor añadido del producto final.

Por lo tanto, cada proyecto debe tratarse caso por caso tanto a la hora de evaluar su viabilidad, como para determinar la relación entre los beneficios inducidos y los impactos percibidos, ya sean medioambientales, económicos o sociales.

## Referencias

1. FAO, *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. Relever le défi de l'eau dans l'agriculture*. Rome (2020)
2. F. Etchebarne, Société nationale d'horticulture de France, JDF **659**, 41-43 (2020)
3. H. Ojeda, D. Caboulet, N. Ait-Mouheb, F. Etchebarne, N. Saurin, Rev. Œnologues **182**, 28–31 (2022)
4. ICEX, *España Exportación e Inversiones* (2018 - 2022)
5. AEDyR, *Asociación Española de Desalación y Reutilización* (2022)
6. IDA, *Dynamic growth for desalination and water reuse* (2019)
7. F. Etchebarne, G. Guerif, J.-L. Escudier, Rev. Œnologues **181** spécial, 54–55 (2021)
8. F. Etchebarne, H. Ojeda, F. Lutin, B. Gillery, J.-L. Escudier, *Proceeding 21<sup>st</sup> GiESCO International Meeting, Thessaloniki, Greece* (Book of full manuscripts 639-645, 2019)
9. J.-L. Escudier, B. Gillery, H. Ojeda, F. Etchebarne, *41st World Congress of Vine and Wine* (BIO Web of Conferences **12**, 01010, 2019)
10. F. Etchebarne, J.-L. Escudier, H. Ojeda, *41st World Congress of Vine and Wine* (BIO Web of Conferences **12**, 01009, 2019)
11. F. Etchebarne, M. Echegoyen, G. Pereyra, S. Van-Houten, Y. Sire, J.-L. Escudier, M. Torrijos, N. Wery, G. Santa-Catalina, D. Patureau, Y. Jaeger, B. Goral, N. Rampnoux, H. Ojeda, *Proceeding of 20<sup>th</sup> GiESCO International Meeting Mendoza, Argentina* (Book of full manuscripts 597-600, 2017)
12. F. Etchebarne, M. Echegoyen, G. Pereyra, S. Van-Houten, Y. Sire, J.-L. Escudier, M. Torrijos, N. Wery, G. Santa-Catalina, D. Patureau, Y. Jaeger, B. Goral, N. Rampnoux, H. Ojeda, Rev. Œnologues **161**, 12-15 (2016)
13. F. Etchebarne, Y. Sire, J.-L. Escudier, M. Torrijos, N. Wery, G. Santa-Catalina, D. Patureau-Steyer, Y. Jaeger, B. Goral, N. Rampnoux, H. Ojeda, *Proceeding of WINERY 2015: 7th IWA Specialized Conference on Sustainable Viticulture, Winery Wastes & Agri-industrial Wastewater Management*, Stellenbosch, South Africa (Book of abstracts 16, 2015)
14. F. Etchebarne, M. Echegoyen, Y. Sire, J.-L. Escudier, Y. Jaeger, B. Goral, H. Ojeda, *Proceeding of 19th GiESCO International Meeting of Viticulture, Pech Rouge – Montpellier, France* (Book of full manuscripts **1**, 51-56, 2015)
15. Y. Jaeger, N. Rampnoux, F. Etchebarne, Y. Sire, J.-L. Escudier, H. Ojeda, L. Palancade, B. Goral, *Proceeding of 19th GiESCO International Meeting of Viticulture, Pech Rouge – Montpellier, France* (Book of full manuscripts **1**, 117-120, 2015)
16. H. Ojeda, D. Caboulet, Rev. Œnologues **181** spécial, 52–53 (2021)
17. A. Carbonneau, J.-L. Escudier, *De l'Œnologie à la Viticulture* (Quae 2<sup>e</sup> Ed. 138-140, 2022)