

SUBTEMA 4

Adaptación al cambio climático y diversificación de los procesos de la cadena de suministro alimentaria

El cambio climático plantea grandes retos a escala mundial, pues afecta a las cadenas alimentarias en aspectos como la producción agrícola, los ingresos, los precios, el acceso, la calidad y la seguridad. Las fluctuaciones de temperatura y la mayor incidencia de fenómenos meteorológicos extremos, como olas de calor, inundaciones y sequías, merman el rendimiento, la calidad y la temporalidad de la fruta¹. Todos los eslabones de la cadena de suministro alimentaria (producción, transformación, transporte, venta al por mayor y al por menor, y consumo) pueden verse perjudicados por los cambios y las alteraciones medioambientales². La región mediterránea, famosa por su variada producción frutícola, que comprende aceitunas, cítricos, uvas, higos, granadas y frutas de hueso, se enfrenta a enormes desafíos debido al cambio climático. El aumento de las temperaturas, las sequías prolongadas y los cambios en los patrones de las precipitaciones están afectando al rendimiento, la calidad y la temporalidad de la fruta. Al mismo tiempo, los consumidores se inclinan cada vez más por alimentos más variados, de origen local y producidos de forma sostenible, lo que requiere la transformación de toda la cadena de valor de la fruta. Las estrategias para mejorar la resiliencia de la cadena de suministro alimentaria al cambio climático pasan por lo siguiente: la **adaptación posterior a la cosecha**, sobre todo en almacenamiento y envasado; la **adaptación de la transformación de la fruta**, especialmente en la producción de vino; la **optimización de los procesos de ahorro energético**; la **construcción de instalaciones de bajo consumo energético**; y el **uso de herramientas informáticas de producción**, una **logística flexible y el abastecimiento local**.

1 INNOVACIONES EN LA TRANSFORMACIÓN

1.1 Adaptación posterior a la cosecha con una tecnología de envasado innovadora

La UE genera al año unos 59 millones de toneladas de residuos alimentarios³, principalmente procedentes de frutas y verduras, lo que representa alrededor del 16 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La reducción de los residuos permite ahorrar recursos en la producción de alimentos, por lo que, de aquí a 2030, la UE se ha propuesto rebajar a la mitad los residuos alimentarios a escala mundial, tanto en la venta minorista como entre los consumidores, con la consiguiente reducción de las pérdidas en la producción y las cadenas de suministro alimentarias. Para ello, se han desarrollado diversas prácticas posteriores a la cosecha que prolongan la conservación y la calidad de las frutas percederas. La creciente demanda de productos ecológicos y sin pesticidas está generando mayor interés en los tratamientos de atmósfera modificada y el envasado con bajo contenido de oxígeno, que influyen en la actividad metabólica de los tejidos de la fruta y en los patógenos. En consecuencia, el mercado exige una innovación continua en materia de envasado, lo que se traduce en una demanda creciente de nuevas soluciones tecnológicas⁴. En el marco del grupo operativo italiano OLTREBIO, Ninetek Ltd y la Universidad de Basilicata desarrollaron y patentaron BlowDevice®, un innovador dispositivo que permite el intercambio bidireccional de gases a través de un envase sellado para proporcionarle un efecto transpirable. El dispositivo se puede emplear para gestionar la atmósfera del espacio vacío de los envases en atmósfera modificada de frutas y

hortalizas. Un nivel alto de dióxido de carbono o un nivel bajo de oxígeno controla el intercambio de gases para productos con diferentes tasas de respiración, lo que evita que se condense agua en la superficie interna del envase (figura 1)⁵.

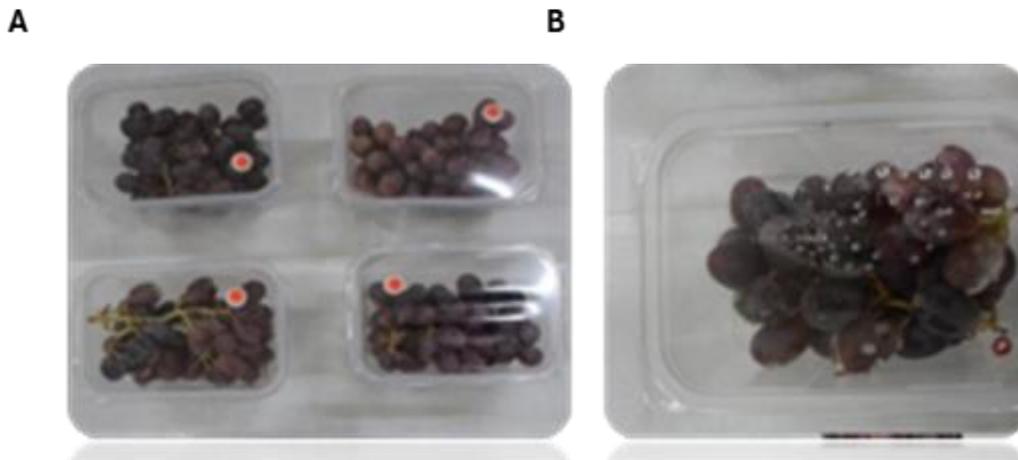


Figura 1. Uvas de mesa ecológicas almacenadas en atmósfera modificada: (A) en envase transpirable equipado con BlowDevice® y (B) sin BlowDevice® y con condensación de agua⁶

Se diseñaron varias versiones del dispositivo con materiales biodegradables y sostenibles, como Mater-Bi y ácido poliláctico (PLA). Además, la Comisión Europea reconoció la microtecnología de BlowDevice® en películas biodegradables como «tecnología clave» en Europa en Innovation Radar Portal⁷. El dispositivo se combinó con el envasado en atmósfera modificada para prolongar la conservación de uvas de mesa ecológicas (cv. Superior y Scarlotta Seedless) y cerezas dulces ecológicas (cv. Lapins y Sweet Heart), principalmente, en cámaras frigoríficas. BlowDevice® preservó la calidad de las uvas de mesa ecológicas durante más de 45 días, con una reducción de la incidencia de descomposición superior al 98 % en comparación con las muestras envasadas sin BlowDevice®.



Figura 2. Racimos de uvas Superior Seedless en el día 15, envasados con BlowDevice® (arriba) y con un microagujero (abajo)⁸

Además, se realizó un experimento con uvas de mesa ecológicas y cerezas ecológicas para simular las condiciones de almacenamiento de los productos a escala empresarial. Se envasaron los productos frescos en bolsas de 5-6 kg con BlowDevice® y se almacenaron en cámaras frigoríficas. Tras 15 días en las cámaras frigoríficas, los productos almacenados en bolsas se volvieron a envasar en pequeñas cajas de aproximadamente 300 g con BlowDevice® en atmósfera modificada para simular la distribución y el mercado minorista. Con el envasado equipado con BlowDevice®, se logró una reducción del 62 % de la podredumbre en uvas de mesa ecológicas (cv. Arra30) tras 56 días en cámaras frigoríficas, en comparación con las muestras en cajas abiertas, y del 50 % en cerezas ecológicas (cv. Sweet Heart) tras 62 días, en comparación con las muestras en envases sellados (datos aún no publicados). En ensayos recientes, también se ha probado BlowDevice® y el envasado en atmósfera modificada con fresas ecológicas (cv. Melissa), con lo que se incrementó la conservación hasta en nueve días⁹, y con higos (cv. Dottato), que mantuvieron unos elevados niveles de calidad hasta 21 días a 2°C¹⁰. Así pues, los envases transpirables con tecnología BlowDevice® son una solución rentable y sostenible para evitar la putrefacción posterior a la cosecha de productos frescos perecederos, reducir las pérdidas de alimentos y aumentar su comercialización.

1.2 Adaptaciones de la transformación de alimentos

En esta sección, se exponen algunas estrategias de adaptación al cambio climático para los procesos alimentarios, como la optimización de las técnicas de alteración de las características de las materias primas y la garantía de una producción acorde con las necesidades del mercado. El aumento de la sostenibilidad y la flexibilidad contribuye a la calidad de los productos y a su viabilidad a largo plazo en un clima cambiante.

1.2.1 Vino: métodos de acidificación y desalcoholización

En los últimos años, el cambio climático y el aumento de las temperaturas han afectado significativamente al sector de la uva y el vino. Las fechas de vendimia se han adelantado, ya que las uvas maduran con mayor rapidez, lo que se traduce en (i) mayores niveles de azúcar, (ii) mayor proliferación microbiana, (iii) mayor contenido de alcohol, (iv) menor acidez y mayor pH, (v) desequilibrio de las propiedades sensoriales y (vi) mayores problemas de seguridad (por ejemplo, micotoxinas)^{11,12}.

. Estos cambios amenazan la tipicidad y la sostenibilidad del vino. Entre las medidas que se aplican actualmente en las bodegas, destacan la acidificación y la desalcoholización.

❖ Acidificación del vino

La acidez de un vino juega un papel clave en su equilibrio organoléptico, pues contribuye a su frescor, vivacidad y sensación de limpieza en boca. La disminución de la acidez total altera el color y aumenta la inestabilidad microbiana. La acidez también influye en el control de la fermentación, la conservación del aroma y la eficacia del SO₂, que disminuye a medida que

aumenta el pH. Se pueden aplicar varios métodos de acidificación respetando los límites reglamentarios: el aumento no debe superar los 53,3 mEq/l (4 g/l de ácido tartárico) para el mosto y el vino ([\(Reglamento \(UE\) n.º 1308/2013, modificado por el Reglamento \(UE\) 2021/2117\)](#)).

Actualmente, existen métodos de acidificación química, física y microbiológica:

✓ *Acidificación química*

Según la definición de la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV), la acidificación química consiste en aumentar la acidez de valoración del vino y el mosto mediante la adición de ácidos orgánicos (solo pueden utilizarse los ácidos láctico, málico, tartárico, cítrico y fumárico), en la medida permitida. La acidificación suele llevarse a cabo añadiendo ácido tartárico a lo largo de la vinificación (es decir, antes, durante y después de la fermentación). Las distintas variedades de mostos o vinos pueden diferir significativamente en términos de fuerza iónica y capacidad de amortiguación; además, existen diferentes variaciones en el pH y la acidez total en los mismos tratamientos. Así pues, la cantidad de ácido que debe añadirse se determina en función del pH y la acidez total de cada caso.

- **Ácido tartárico:** la acidificación con ácido tartárico es un proceso conocido desde hace mucho tiempo, pero presenta ciertas limitaciones, como la dificultad para predecir con exactitud el nivel de acidificación.
- **Ácidos málico y láctico:** la acidificación con ácido orgánico se realiza al final de la fermentación maloláctica, a excepción de la adición de ácido málico, que debe llevarse a cabo al final de la fermentación alcohólica.
- **Ácido fumárico:** la OIV autorizó su uso para la acidificación del vino en 2024.

✓ *Acidificación física*

Las dos técnicas de acidificación física más habituales son la electrodiálisis y el uso de resinas de intercambio catiónico. En la primera, el sistema funciona con una membrana bipolar y una configuración de membrana catiónica, lo que permite la extracción selectiva de los cationes. Con este método se reduce principalmente el contenido en cationes de potasio sin alterar otros elementos y sin necesidad de añadir productos químicos a los mostos o vinos. En cambio, para la acidificación mediante resinas de intercambio catiónico solo se trata una parte del vino, que se acidifica en gran medida para volver a mezclarse con el vino original.

Basándose en estos métodos físicos, el Instituto Francés de la Viña y el Vino (IFV) ha analizado diversas estrategias de acidificación en bodega como métodos clave para adaptar las prácticas enológicas al cambio climático. Entre las técnicas de acidificación autorizadas, los métodos físicos destacan por su precisión, que permite realizar ajustes controlados del pH incluso con elevados niveles de acidificación. Además, pueden automatizarse en gran medida y funcionar las 24 horas del día, aunque ello puede conllevar importantes costes de inversión. La ventaja del uso de resinas de intercambio catiónico es que permite alcanzar altos ritmos de tratamiento con una inversión global menor, ya que solo hay que tratar una parte del tanque. Aunque el ácido tartárico sigue siendo el ácido orgánico más eficaz para la acidificación, su uso plantea problemas para predecir los niveles finales de acidez. El ácido málico solo es adecuado para vinos tintos antes

de la fermentación maloláctica, ya que preserva la estabilidad microbiológica, mientras que el ácido láctico, a pesar de ser el menos caro, rara vez se emplea en la práctica al considerarse un ácido «más suave», más adecuado para los perfiles de los vinos tintos¹³.

✓ *Acidificación microbiana*

Las levaduras no pertenecientes al género *Saccharomyces* y las bacterias malolácticas son microorganismos clave para la acidificación biológica en enología. En un exhaustivo estudio, se han revisado las especies o cepas con potencial para la acidificación biológica de mostos y vinos¹⁴. Tradicionalmente, las levaduras silvestres que no pertenecen a la familia *Saccharomyces* se asociaban con un elevado contenido en ácido acético y sabores extraños en las fermentaciones. No obstante, en la actualidad, los investigadores y vinicultores reconocen su impacto positivo en la complejidad de la calidad del vino¹⁵.

Las levaduras de la especie *Lachancea Thermotolerans* pueden transformar el azúcar fermentable (glucosa y fructosa) en ácido láctico, en detrimento de la producción de etanol. Estas levaduras provocan una disminución de la producción de etanol (máx. 1 % vol.) y la acidificación por ácido láctico. En general, la *Lachancea* se utiliza durante 2 o 3 días, tras lo cual se emplea la *Saccharomyces* clásica, pues, si se deja la *Lachancea* demasiado tiempo, se producen niveles muy elevados de ácido láctico (10-15 g/l), lo que altera en exceso las características organolépticas de los vinos.

❖ *Desalcoholización del vino*

Las técnicas de desalcoholización son muy útiles para adaptar los procesos vinícolas con vistas a reducir los niveles de alcohol, que aumentan con el incremento de las temperaturas. Además de las ventajas sensoriales que supone la disminución de la calidez y el desequilibrio causados por el alto contenido de alcohol, la desalcoholización satisface la demanda de los consumidores de productos con graduaciones alcohólicas bajas. También palió las dificultades financieras, ya que permite evitar algunos impuestos ligados al contenido de alcohol de las bebidas alcohólicas.

Existen varias técnicas para controlar la fermentación y así limitar la producción de alcohol. En este sentido, el IFV ha realizado ensayos sobre la selección de levaduras y el proceso de evaporación del alcohol.

- ✓ **Selección de la levadura:** el nivel de alcohol del vino puede verse influido por la selección de las levaduras, que influyen en la producción del alcohol y en el metabolismo del azúcar en subproductos como el ácido láctico y el glicerol. Como la mayoría de las levaduras que no pertenecen al género *Saccharomyces* no pueden fermentar todos los azúcares, en los ensayos del IFV se han aplicado estrategias de inoculación secuencial. En las cepas más prometedoras, combinadas con prácticas de gestión de viñedos, se logró una mayor reducción del alcohol. Sin embargo, en los vinos tintos, la elevada producción de ácido láctico perjudicó en ocasiones la calidad sensorial. Si bien este enfoque parece tener potencial, la reducción global del alcohol no fue sistemática y se mantuvo por debajo del 2 % v/v.

- ✓ **Evaporación del alcohol:** el vino puede desalcoholizarse parcialmente mediante una simple ventilación a temperatura y presión ambiente. Con el equipo adecuado se puede conseguir una reducción del 2 % v/v en 8 horas. Para alcanzar la máxima eficiencia, la humedad debe rondar el 80 %, lo cual limita la pérdida de agua. El proceso consiste en enfriar el vino y tiene mayor eficacia al aumentar la superficie de contacto entre el aire y el vino, y no altera de forma significativa las características analíticas clásicas del vino, salvo por la pérdida de CO₂. Actualmente se está estudiando su uso en pequeños volúmenes, por lo que se recomienda precaución debido al posible riesgo de oxidación. En volúmenes mayores, el efecto puede ser menos intenso, puesto que la relación entre la superficie de vino y el volumen de la cuba es menos favorable a la pérdida de alcohol.
- ✓ **Desalcoholización por CO₂ procedente de la fermentación (no autorizada actualmente):** el CO₂ procedente de la fermentación se captura, comprime y reinyecta en el fondo de la cuba. Esta gran liberación de CO₂ transporta alcohol, que se condensa mediante un compresor y se reinyecta en la cuba o se almacena a presión para utilizarlo con posterioridad.
- ✓ **Evaporación parcial al vacío en la fermentación alcohólica:** el alcohol se extrae mediante evaporación parcial al vacío durante la fermentación alcohólica. Este método preserva los compuestos aromáticos de los futuros vinos. De hecho, cuando la fermentación alcohólica continúa tras la extracción del alcohol, las levaduras producen nuevos compuestos aromáticos, lo que no ocurre cuando este método se aplica al vino terminado. La OIV está estudiando actualmente este método, ya autorizado para el vino acabado, para su utilización durante la fermentación alcohólica.

Para reducir el grado alcohólico del vino acabado también pueden utilizarse estos otros procesos:

- ✓ **Destilación:** a pesar de su elevado riesgo de pérdida aromática, la destilación puede combinarse con la ósmosis inversa o la nanofiltración para separar el agua, el alcohol y pequeños compuestos, como los ácidos orgánicos y el potasio. El proceso de destilación produce alcohol concentrado (85-95 % v/v), que puede reciclarse directamente en la destilería.
Nota: solo un operario autorizado puede realizar la destilación.
- ✓ **Desalcoholización por membrana:** el proceso de ajuste del alcohol (AA) patentado por Memstar se realiza por medio de dos procedimientos de membranas sucesivos. En la primera etapa, la nanofiltración extrae un permeado compuesto principalmente de agua y alcohol. Un contactor de membrana formado por membranas hidrófobas extrae selectivamente el alcohol del agua en el permeado de la nanofiltración. A continuación, el permeado desalcoholizado se reinyecta continuamente en el vino tratado, con lo que se impide cualquier concentración en el vino. El efluente producido es rico en alcohol (puede alcanzar hasta un 10 % v/v) y representa entre un 10 y un 15 % del volumen de vino tratado por cada grado eliminado. Este efluente se considera un producto de desecho.
- ✓ **Evaporación al vacío parcial, ejemplo de columna de conos giratorios (SCC):** esta tecnología ajusta los niveles de alcohol preservando el aroma, lo que permite la

producción de vinos de bajo contenido alcohólico (0,5 % v/v). Elimina entre el 60 y el 80 % del alcohol, minimizando la pérdida de agua. El proceso se desarrolla en dos pasadas a través de una columna giratoria: en la primera se extraen los compuestos volátiles (aromas) a 30 °C de una parte del vino; y en la segunda se elimina el alcohol de la parte desalcoholizada. Se vuelve a introducir el extracto aromático y la parte tratada se añade de nuevo al vino para completar la desalcoholización. Este proceso es muy interesante y preserva las cualidades organolépticas del vino. Sin embargo, cuando se utiliza para una desalcoholización fuerte (< 5 % de alcohol en el vino terminado), puede provocar cambios significativos en la estructura y el equilibrio del vino.

Las técnicas de desalcoholización responden al cambio climático, así como a la diversificación del sector necesaria para mantener la cuota de mercado y las zonas de cultivo. Pueden implementarse en distintas etapas del proceso, desde la viña hasta el vino, y ya se están estudiando diversos métodos de desalcoholización parcial. No obstante, la desalcoholización completa sigue planteando numerosas cuestiones técnicas y legislativas.

1.2.2 Optimización de procesos para ahorrar energía

Ante la amenaza que supone el cambio climático para la sostenibilidad medioambiental y económica de los cultivos perennes mediterráneos, optimizar el uso de la energía en la cadena alimentaria se ha convertido en una prioridad estratégica. En los sectores del vino y el aceite de oliva, los procesos que consumen grandes cantidades de energía, como la fermentación, el control de la temperatura y la gestión del agua, ofrecen considerables oportunidades de mejora. En esta sección, se destacan innovaciones que reducen la huella energética de los procesos de transformación de alimentos, incluido el diseño de bodegas de bajo consumo energético, la reutilización de subproductos como el alperujo y el CO₂ procedente de la de fermentación, y los residuos de las bodegas. Asimismo, se trata el uso de herramientas de supervisión para identificar puntos problemáticos y optimizar los procesos. Estas estrategias minimizan el impacto medioambiental al tiempo que mejoran la resiliencia y la competitividad frente a las fluctuaciones climáticas y del mercado.

1.2.3 Herramientas de seguimiento: ejemplo en enología

Las herramientas de enología de precisión mejoran la eficiencia energética de la elaboración del vino, donde el 90 % de la energía procede de la electricidad fósil y el 10 % de procesos térmicos como el calentamiento del agua¹⁶. Mediante la integración de tecnologías avanzadas, análisis de datos y control científico, los vinicultores pueden optimizar la temperatura, humedad y fermentación en todas las fases de producción. Este enfoque digital mejora la calidad del vino, la eficiencia de los recursos y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.

Solución disponible en el mercado¹

¹ Veraterra es una de las tecnologías/productos ganadores del Crowd-Writing Contest organizado por CLIMED-FRUIT en 2023, dirigido a empresas privadas, para dar a conocer a los agricultores mayoritarios las innovaciones más recientes que favorecen la resiliencia al cambio climático. [Consulte aquí todas las tecnologías ganadoras.](#)

[Onafis](#), una empresa tecnológica vitivinícola francesa, ha creado un sistema de sensores e IoT para controlar la temperatura, la humedad y los parámetros críticos en la elaboración del vino. Onafis instaló 12 sensores Atmos y pinzas amperimétricas en una bodega de Burdeos para supervisar la maduración del vino y el consumo de energía. El sistema permitió optimizar las condiciones medioambientales y la gestión de la refrigeración (figura 3), lo que supuso un ahorro anual de 6000 euros (el 30 % de los gastos anuales) y una reducción de las emisiones de CO₂ de 10 toneladas. Este caso muestra cómo la enología de precisión, mediante herramientas como las de Onafis, puede convertir los métodos tradicionales en prácticas de ahorro energético y maximizar al mismo tiempo las condiciones de producción.



Figura 3. Uso de mapeo de bodegas para identificar microclimas con el fin de optimizar la pérdida por evaporación y ahorrar energía¹⁷

1.2.4 Reutilización de subproductos y coproductos

❖ **Residuos de la transformación de la aceituna: ejemplo de biocombustible**

Los países mediterráneos producen el 95 % del volumen mundial de aceite de oliva¹⁸. Debido al cambio climático y a las presiones medioambientales, el sector olivarero de la cuenca mediterránea está experimentando una evolución. La producción de aceite de oliva genera una cantidad considerable de residuos, en particular huesos y alperujo, que, si bien plantean problemas de eliminación, también ofrecen grandes oportunidades de recuperación de energía. Los huesos y el alperujo (con valores caloríficos de 17-20 MJ/kg y 19-24 MJ/kg, respectivamente), pueden utilizarse en calderas de biomasa o transformarse en pellets de gran eficiencia, por lo que son una alternativa renovable a los combustibles fósiles que permite reducir los costes energéticos de las almazaras^{19,20}. El alperujo puede convertirse en briquetas y pellets combustibles mediante secado, tamizado, molienda y compresión, con lo que se obtienen biocombustibles para utilizar durante la producción de aceite de oliva, por ejemplo, para calentar el agua durante la molienda, y se mejoran los sistemas de procesado circulares y con resiliencia energética²¹.

El [proyecto BIOMASUD Plus de la UE](#) se propuso promover el mercado sostenible de los biocombustibles sólidos mediterráneos para la calefacción doméstica, con el objetivo principal de

desarrollar soluciones integradas que permitieran mejorar la calidad y la sostenibilidad de dichos biocombustibles. Esto incluía la concesión de la certificación Biomassud® a nuevos biocombustibles y países. El proyecto BIOMASUD Plus ha comercializado hueso y alperujo como biocombustible en España, Grecia, Italia y Turquía; de hecho, el alperujo fue el segundo biocombustible más utilizado en la industria española en 2015. A diferencia de otros biocombustibles sólidos, como la leña y las briquetas, la calidad del hueso de aceituna no está calificada por la norma ISO 17225:2014. En este sentido, España ha establecido una norma nacional (UNE 164003:2014) para clasificar la calidad del hueso de aceituna con fines de combustión. Además, siete productores de hueso de aceituna españoles y cinco italianos cuentan con la certificación del sistema de calidad Biomassud® para biocombustibles mediterráneos. Se están estudiando conversiones termoquímicas (por ejemplo, pirólisis y gasificación) y bioquímicas (por ejemplo, bioetanol y biogás) innovadoras de los subproductos de la aceituna, aunque se encuentran en gran medida en fase de investigación.

❖ **Ejemplos en el sector vitivinícola: reciclaje de residuos de bodega y CO₂ procedente de la fermentación**

El proyecto [LIFE ZEOWINE](#) es el primer ejemplo de cómo reutilizar eficazmente los residuos de las bodegas. En este proyecto, se definió un método para producir [ZEOWINE](#), un compost elaborado a partir de residuos del sector vitivinícola y zeolita que puede aplicarse en viñedos para proteger el suelo. El compost se aplicó durante más de tres años en varios viñedos italianos utilizando orujo y escobajos mezclados con zeolita de 0,2 mm a 2 mm. El suelo de las parcelas de ensayo se evaluó inmediatamente después del tratamiento y a los seis y 18 meses, con las siguientes mejoras observadas: 30 % de aumento del carbono orgánico del suelo, 50 % de aumento de la funcionalidad microbiana, 38 % de aumento de la biodiversidad del suelo y 40 % de reducción del cobre biodisponible. El equipo del proyecto también evaluó la calidad de la uva y el vino, y constató una mejora del equilibrio entre el azúcar y los antocianos, así como un mayor contenido de alcohol. El rendimiento aumentó y las uvas pesaban más. Además, el proceso de reciclado presentó claras ventajas medioambientales, como la reducción del consumo de agua gracias a una mejor retención del agua en el suelo; la mejora de la gestión de residuos mediante el reciclado de los residuos de la bodega, en lugar de su eliminación en vertederos; la reducción de las emisiones de CO₂ y NO₂, en comparación con los fertilizantes convencionales; y la mejora del secuestro de carbono.

Otro ejemplo aplicado es el reciclaje del CO₂ procedente de la fermentación durante la fase de transformación del mosto en vino. Parte del gas producido durante la fermentación puede recuperarse y convertirse en hielo seco. Este hielo seco se utiliza durante la vendimia y en el embotellado o bombeo de vinos blancos y rosados para inertizar el vino. Por ejemplo, para una producción de 50 000 hl de vino blanco y rosado, pueden recuperarse unas 6 toneladas de CO₂ por día de vendimia, lo que supone un total de 240 toneladas de CO₂. Dado que el consumo de CO₂ es de aproximadamente una tonelada al día en este tipo de producción, el reciclaje permitiría el autoabastecimiento durante este periodo²². Otra forma de reciclar el CO₂ procedente de la fermentación es inyectarlo en el agua de lavado para acidificarla. La disminución del pH puede reducir a la mitad el tiempo de aclarado tras la descalcificación o la desinfección, con la consiguiente reducción del consumo de agua.

1.2.5 Diseño de edificios y herramientas de transformación de bajo consumo energético

Para hacer frente al cambio climático, las infraestructuras agrícolas y de transformación de los cultivos perennes mediterráneos deben evolucionar hacia la mejora de la eficiencia energética, la resiliencia y la sostenibilidad. Las bodegas, almazaras e instalaciones de envasado consumen grandes cantidades de energía debido a sus necesidades de calefacción, refrigeración y ventilación. Incorporar la eficiencia energética desde la fase de diseño, a través de una arquitectura inteligente, un control pasivo del clima, sistemas de energías renovables y una distribución optimizada, es clave para reducir el consumo de energía y los costes operativos, con la consiguiente disminución de la huella medioambiental de la transformación de alimentos.

Los proyectos realizados en el Mediterráneo ponen de manifiesto la eficacia del diseño eficiente en términos energéticos de las instalaciones de transformación. Por ejemplo, en algunas instalaciones, la arquitectura basada en la circulación por gravedad reduce al mínimo el uso de bombas mediante el aprovechamiento de las pendientes naturales para la transferencia de las uvas y el zumo. En otras se emplean técnicas de refrigeración pasiva, como bodegas subterráneas, materiales de gran masa térmica, ventilación natural y tejados ecológicos para estabilizar las temperaturas y reducir la dependencia de la refrigeración mecánica. En 2021, la bodega española Perelada fue la primera bodega europea en obtener la certificación LEED® (Liderazgo en Energía y Diseño Medioambiental) Gold por su extraordinaria eficiencia energética, desde la construcción hasta el funcionamiento. Entre sus principales características figuran el uso energético geotérmico, el consumo eficiente de agua y electricidad, la elección de materiales, los procesos sostenibles, el aislamiento térmico y la prevalencia de la luz natural. Siguiendo esta línea, para la iluminación nocturna se utiliza un mínimo de luz artificial gestionada por un avanzado sistema de control. En Grecia e Italia, las almazaras se están construyendo o reequipando cada vez más con aislamiento, iluminación LED eficiente y sistemas de recuperación de calor que reutilizan la energía de la extracción para calentar el agua.

Además del diseño y las fuentes de energía, también pueden adaptarse las herramientas de producción. Según un estudio de la OIV, el uso de levaduras bien seleccionadas y de protocolos de fermentación bien fundamentados puede suponer un importante ahorro de energía en la elaboración de vinos blancos sin comprometer la calidad. Asimismo, herramientas en línea como la desarrollada por el IFV ayudan a los productores a optimizar el consumo de energía estimando las necesidades de refrigeración. Esta herramienta puede calcular el tamaño adecuado de las instalaciones de refrigeración o permitir visualizar los picos de refrigeración durante la cosecha²³.

2 ADAPTACIONES DE LA CADENA DE SUMINISTRO: CADENA DE SUMINISTRO DEL OLIVO EN SALENTO (SUR DE ITALIA) TRAS LA INTRODUCCIÓN DE *XYLELLA FASTIDIOSA*, SUBESPECIE *PAUCA* (XF)

En la región de Salento, al sur de Italia, el agroecosistema del olivo ha perdurado durante más de 4000 años. Representa un patrimonio local de valor incalculable para el paisaje, con antiguos huertos compuestos principalmente por variedades tradicionales como la Ogliarola Salentina y la Cellina di Nardò²⁴. Estos huertos se gestionaban habitualmente con sistemas de pocos aportes

adaptados al clima mediterráneo seco de la región. La gestión del suelo se basaba en la fertilidad autóctona y la irrigación era escasa, salvo en caso de sequía extrema. La poda se realizaba cada cuatro o seis (o más) años, periódicamente para preservar la estructura de los árboles y favorecer la accesibilidad, y la recolección de la aceituna se llevaba a cabo principalmente de forma manual en el suelo o semimecánica en los olivos más altos para optimizar el rendimiento y la calidad del aceite.

El brote de XF en 2013 causó una devastación generalizada, que afectó especialmente a los cultivares de olivo predominantes en la región. Este patógeno de cuarentena provocó el rápido deterioro y la muerte de los árboles, obligando a destruir olivos antiguos y seculares contaminados, con lo que desaparecieron 21 millones de árboles y se alteraron los sistemas tradicionales de producción de aceituna. En respuesta, la cadena local de suministro de aceituna sufrió una importante transformación, pasando a cultivar variedades resistentes como Leccino y Favolosa (FS-17), que demostraron tolerancia al patógeno²⁵. Las prácticas de cultivo han evolucionado considerablemente con la introducción de huertos jóvenes y resistentes. La gestión del suelo se ha vuelto más proactiva, incorporando materia orgánica y subsolando para mejorar el desarrollo de las raíces y fortalecer los árboles. Se han adoptado de forma generalizada sistemas modernos de riego por goteo para garantizar una disponibilidad constante de agua, especialmente en condiciones de sequía cada vez más frecuentes debido al cambio climático. También se han adaptado los métodos de poda: los árboles más antiguos se mantienen con una intervención mínima y los más jóvenes se podan anualmente para regular la estructura de sus copas, facilitar la mecanización y mejorar el control de las enfermedades. El proceso de recolección se ha modernizado y mecanizado por completo, en consonancia con la estructura uniforme de las plantaciones más recientes. Estas adaptaciones reflejan un cambio sistémico más amplio de la olivicultura tradicional extensiva a un modelo más intensivo, resistente y tecnológico. Aunque esta evolución conlleva mayores costes operativos y cambios en el paisaje, ofrece un camino viable para sostener la producción de aceite de oliva en Salento frente a los desafíos biológicos y medioambientales. En Salento se han emprendido numerosas acciones sociales de apoyo a la agricultura y a los agricultores que quieren recuperar los olivares, como la asociación [OLIVAMI](#).

3 DIVERSIFICACIÓN Y ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN DE LAS EXPLOTACIONES

La adaptación de los procesos de la cadena alimentaria es esencial para hacer frente a los efectos inmediatos del cambio climático; sin embargo, para conseguir una verdadera resiliencia se requiere un planteamiento más amplio y sistémico. La diversificación y las estrategias de adaptación de las explotaciones son fundamentales para construir sistemas agrícolas más resistentes, capaces de soportar la variabilidad climática a largo plazo. Mediante la integración de estas estrategias, los productores no solo pueden mitigar los riesgos, sino también mejorar la sostenibilidad y la viabilidad económica de los sistemas mediterráneos de cultivos perennes.

3.1 Diversificación de cultivos para mayor resiliencia económica y medioambiental

La diversificación de los cultivos es esencial para los agricultores mediterráneos, ya que ayuda a mitigar los efectos del cambio climático y mejora el estado del suelo y la resiliencia económica. A diferencia de los monocultivos, los sistemas diversificados reducen la vulnerabilidad a las condiciones meteorológicas extremas y a las fluctuaciones del mercado al repartir el riesgo entre distintas especies y variedades^{26, 27}.

La diversificación puede incluir estrategias de cultivo de especies diferentes, como la selección de variedades tolerantes a la sequía o al calor, como las aceitunas Koroneiki, Arbequina, Lechín de Sevilla y Picholine Marocaine. Los cultivares de maduración temprana contribuyen a evitar el estrés provocado por la escasa humedad del suelo. Los sistemas de cultivo de especies diferentes, con cultivos complementarios como almendros, higueras y granados, mejoran la resistencia y optimizan el uso de los recursos²⁸. Estos sistemas reducen los aportes químicos gracias a la regulación natural de las plagas y a la mejora de los microclimas²⁹.

El cultivo intercalado de plantas medicinales y aromáticas con árboles perennes en la cuenca mediterránea puede ayudar a aumentar la producción, controlar las plagas, los patógenos y las malas hierbas, y mejorar el estado del suelo³⁰. En el sur de España, se ha llevado a cabo con éxito el cultivo intercalado de olivares con hierbas aromáticas como la lavanda, el tomillo y el romero, que atraen a los polinizadores y proporcionan ingresos secundarios a partir de los aceites esenciales y las hojas secas³¹.

La agroforestería y la agricultura mixta, en la que árboles como el algarrobo o el pistacho se intercalan con leguminosas o cereales, mejoran el ciclo del nitrógeno y diversifican los ingresos³². La diversificación temporal, como la rotación de cultivos y las cosechas escalonadas (por ejemplo, albaricoques tempranos, melocotones a mitad de temporada y granadas tardías), favorece el estado del suelo y la estabilidad económica durante todo el año.

A medida que el calentamiento global y las crisis económicas amenazan la producción mediterránea de cultivos hortícolas y ornamentales, surgen nuevos retos y oportunidades. La pitaya, o fruta del dragón, presenta un importante potencial como cultivo novedoso, ya que requiere un mínimo de agua y resiste bien las altas temperaturas. Con la creciente demanda de frutas exóticas por parte de los consumidores, la pitaya se considera a escala mundial una superfruta³³.

3.2 Diversificación de ingresos y desarrollo de mercados

Para aumentar la resistencia al clima, los fruticultores mediterráneos pueden diversificar sus ingresos más allá de la agricultura. Las actividades de agroturismo, como las estancias en la explotación, las cosechas guiadas y las degustaciones, proporcionan ingresos fuera de temporada y promueven el patrimonio local³⁴. Algunos ejemplos son las visitas a viñedos y las catas de vino en la Toscana, los talleres de aceite de oliva en Andalucía, los paseos por las plantaciones de cítricos en Sicilia y las fiestas del almendro en flor en Mallorca. En las regiones de Istria y Dalmacia (Croacia), el agroturismo se centra en el prensado de aceite de oliva, el secado de higos y las degustaciones locales. Estas actividades conectan a los visitantes con los paisajes tradicionales y, al mismo tiempo, contribuyen a las ventas de las explotaciones.

La producción de artículos de valor añadido a partir de cultivos perennes aumenta la rentabilidad de las explotaciones y reduce la dependencia de mercados volátiles. Las uvas pueden convertirse en vino, zumo, pasas o aceite de semilla de uva, que interesan a varios segmentos de consumidores³⁵. Los olivicultores pueden producir aceite de oliva virgen extra, aceites aromatizados, tapenada y cosméticos³⁶. Los cultivos de cítricos producen aceites esenciales, mermeladas, confituras de pieles y láminas deshidratadas para infusiones o cócteles, lo que representa una valiosa fuente de compuestos bioactivos para usos alimentarios, farmacéuticos y biomédicos^{37, 38}. Los frutos secos mediterráneos se convierten en harinas vegetales, bebidas y aperitivos ricos en proteínas, en respuesta a la demanda de alimentos sostenibles y saludables.

Otras estrategias de diversificación de ingresos son los talleres agroartesanales, donde los visitantes aprenden a hacer queso, pan o tintes naturales con plantas de la explotación, y los retiros de bienestar. Actividades como prácticas de yoga en los viñedos, clases de cocina mediterránea o paseos herbales pueden atraer a numerosos turistas en busca de experiencias auténticas en la naturaleza. Aunque estas iniciativas requieren cierta inversión inicial, proporcionan estabilidad a largo plazo y nuevos canales de venta.

Los principios de la economía circular pueden apoyar la sostenibilidad. Por ejemplo, el orujo de uva procedente de la vinificación puede reutilizarse como compost, pienso o tinte natural^{39, 40}; los huesos de aceituna pueden transformarse en biocombustible o bioplásticos; y las pieles de los cítricos pueden emplearse en productos de limpieza o aceites esenciales. Estas prácticas reducen los residuos, abaratan costes y generan nuevos ingresos a partir de los subproductos agrícolas.

La colaboración con oficinas de turismo locales, agencias de viajes sostenibles y redes culturales puede ayudar a dar visibilidad a estas iniciativas y a captar más clientes. Al combinar la producción de artículos de valor añadido con el agroturismo y las prácticas circulares, los agricultores mediterráneos pueden reducir los riesgos climáticos, asegurar sus ingresos y contribuir a unas economías rurales dinámicas basadas en el patrimonio y la innovación.

3.3 Mejora de las competencias del personal: ejemplo en una bodega

El proyecto [GreenVineyards](#) mejora las habilidades del personal del sector vitivinícola para hacer frente al cambio climático. La mejora de las cualificaciones del personal de las bodegas es esencial para lograr resiliencia y sostenibilidad, crear una huella ecológica positiva, prepararlo para desempeñar empleos ecológicos y prevenir la escasez de mano de obra cualificada, lo que permitirá a las bodegas seguir siendo competitivas y responsables. El curso, que consta de 13 unidades, aborda las carencias de cualificación del sector vitivinícola para promover la sostenibilidad y se centra en los siguientes aspectos:

- La viticultura con capacidad de resiliencia climática se enfoca en la selección de uvas resistentes a la sequía, la optimización del riego y la gestión del suelo para aumentar la productividad en climas cambiantes.

- La viticultura sostenible forma al personal en prácticas de eficiencia energética, agricultura ecológica y energías renovables para reducir la huella de carbono.
- Los avances tecnológicos requieren habilidades digitales. La formación en sensores climáticos, análisis de IA y trazabilidad digital ayuda a las bodegas a optimizar la gestión y las cadenas de suministro.
- El aprendizaje sobre variedades de uva alternativas, envasado sostenible y distribución respetuosa con el medioambiente mejora la capacidad del personal de satisfacer las demandas del mercado y el clima.
- Comprender las políticas en materia de clima y las certificaciones de sostenibilidad facilita el cumplimiento normativo y la competitividad empresarial. La formación en producción ecológica, biodinámica y neutra en carbono, junto con la participación en programas de créditos de carbono, consolida los esfuerzos de acción climática.
- Invertir en formación continua aumenta la resiliencia y la sostenibilidad de las bodegas.

Contar con personal cualificado resulta esencial para adaptarse al cambio climático y garantizar un futuro próspero para el sector vitivinícola.