



Universidad de Valladolid
Campus de Palencia

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

GRADO EN ENOLOGÍA

**Adaptación de la vid al cambio
climático**

Alumno/a: Marta Sánchez Rodríguez

Tutor/a: Elena Hidalgo Rodríguez

Junio de 2024

ÍNDICE

1. RESUMEN	2
2. INTRODUCCIÓN	3
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. OBJETIVOS	5
5. MATERIAL Y MÉTODOS	6
5.1 Búsqueda de información y bases de datos.....	6
5.2 Elaboración de la revisión bibliográfica.....	6
6. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO	6
6.1. Efectos del clima en la producción vitícola.....	6
6.1.1. Temperatura.....	7
6.1.2. Disponibilidad de agua y precipitaciones.....	8
6.1.3. Evapotranspiración.....	8
6.1.4 Radiación.....	8
6.2. Cambio climático en viticultura.....	9
6.3. Técnicas de cultivo alternativas para afrontar el cambio climático.....	11
6.3.1. Poda tardía.....	12
6.3.2. Uso eficiente del riego.....	13
6.3.3. Forzado de yemas.....	15
6.3.4. Mejora genética.....	16
7. CONCLUSIÓN	17
8. BIBLIOGRAFÍA	18

1. RESUMEN

El cambio climático está ejerciendo un impacto significativo en la viticultura, alterando las condiciones ambientales óptimas para el cultivo de la vid. Esta revisión bibliográfica analiza los principales factores climáticos que influyen en la producción vitícola, como la temperatura, las precipitaciones, la evapotranspiración y la radiación. Se examinan los efectos previstos del cambio climático, incluyendo el adelanto en la maduración de la uva, la mayor concentración de azúcares y alcohol, y los previsibles desequilibrios en la composición de la uva. Posteriormente, se evalúan diversas estrategias de adaptación que se pueden adoptar, como la poda tardía para retrasar la maduración, el uso eficiente del riego, el forzado de yemas para desplazar el ciclo productivo y la mejora genética para desarrollar variedades más resilientes. Estas alternativas buscan mitigar los impactos del cambio climático, manteniendo la calidad y sostenibilidad de la producción vitivinícola.

PALABRAS CLAVE: cambio climático, viticultura, adaptación, poda tardía, riego eficiente, forzado de yemas, mejora genética

ABSTRACT

Climate change is having a significant impact on viticulture, altering the optimal environmental conditions for vine cultivation. This bibliographic review analyzes the main climatic factors that influence wine production, such as temperature, precipitations, evapotranspiration and radiation. The expected effects of climate change are examined, including earlier grape ripening, higher concentrations of sugars and alcohol, and imbalances in grape composition. Subsequently, various adaptation strategies are evaluated, such as late pruning to delay maturation, efficient use of irrigation, bud forcing to shift the productive cycle, and genetic improvement to develop more resilient varieties. These alternatives seek to mitigate the impacts of climate change, maintaining the quality and sustainability of wine production.

KEYWORDS: climate change, viticulture, adaptation, late pruning, efficient irrigation, bud forcing, genetic improvement

2. INTRODUCCIÓN

La viticultura es el conjunto de conocimientos y habilidades dedicados al cultivo de la vid y a la producción de la uva (Gil y Pszczólkowski, 2007). Y España encabeza la lista de los países con mayor superficie dedicada al cultivo de la vid en todo el mundo como se puede observar en la figura 1, ya que cuenta con casi 923 mil hectáreas de terrenos vitícolas. Esto hace que España destaque también en la producción de uva con 5,9 millones toneladas en el año 2022 y en la exportación de vino con 2.026 millones de litros en 2023.

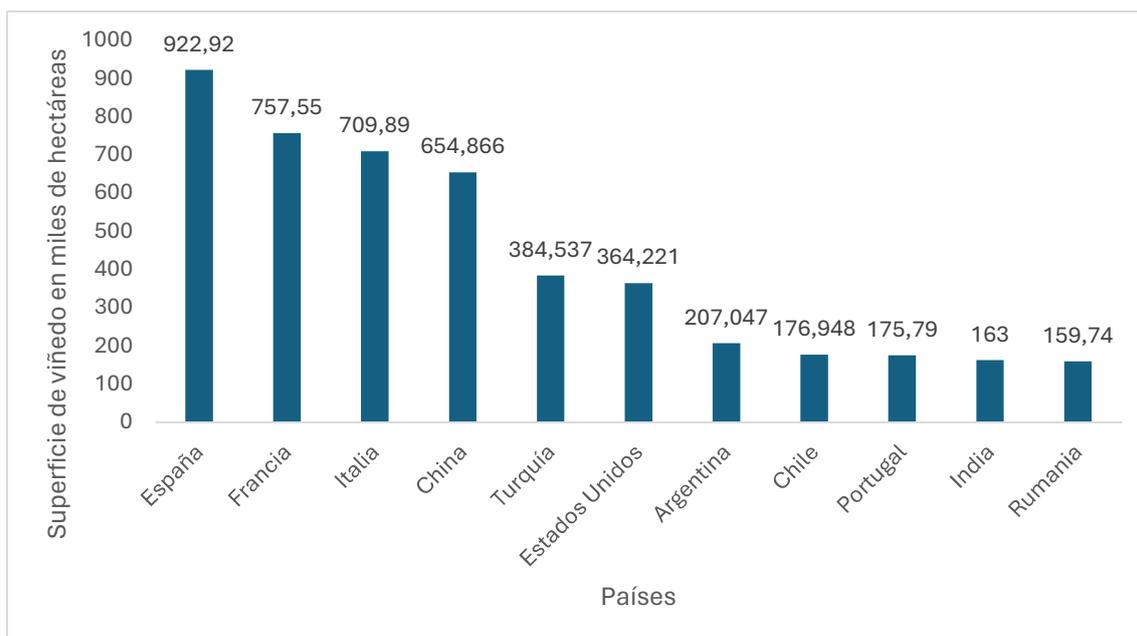


Figura 1. Superficie dedicada al cultivo de la vid en los principales países productores en el año 2022. (Fuente: FAOSTAT, elaboración propia)

En España este sector ha experimentado cambios significativos a lo largo de los años debido a la reorganización de la producción, la especialización y el enfoque en la calidad y la diferenciación (González-Puente, 2022). Uno de los factores que inciden en la reorganización es el cambio climático, ya que el clima de una región influye en el proceso fenológico de los viñedos, lo que provoca alteraciones en el sabor y en la composición de las uvas y el vino (Jones, 2008).

La agricultura es particularmente susceptible a este fenómeno, ya que las altas temperaturas pueden disminuir el rendimiento de los cultivos, y las precipitaciones pueden aumentar la reducción en la producción (Martínez, 2016). Teniendo en cuenta que los niveles de azúcares, ácidos y otros compuestos que afectan al sabor de las uvas están influenciadas por la temperatura, si el calentamiento global persiste, algunas zonas vinícolas podrían desaparecer y a su vez, otras nuevas podrían surgir (Nicholas, 2015). Así, para el año 2050, algunos autores prevén que la extensión adecuada para la viticultura en las principales regiones productoras de vino se reducirá entre un 25% y un 73% (Hannah *et al.* 2013). Como muestra la figura 2, la idoneidad de los viñedos irá cambiando con el transcurso del tiempo, y afectará a las principales zonas productoras de vino tradicionales. En la presente revisión ahondaremos en estos elementos del clima cuyos cambios pueden influir más en la fisiología de la vid, como la temperatura, las precipitaciones, la evapotranspiración, y la radiación.

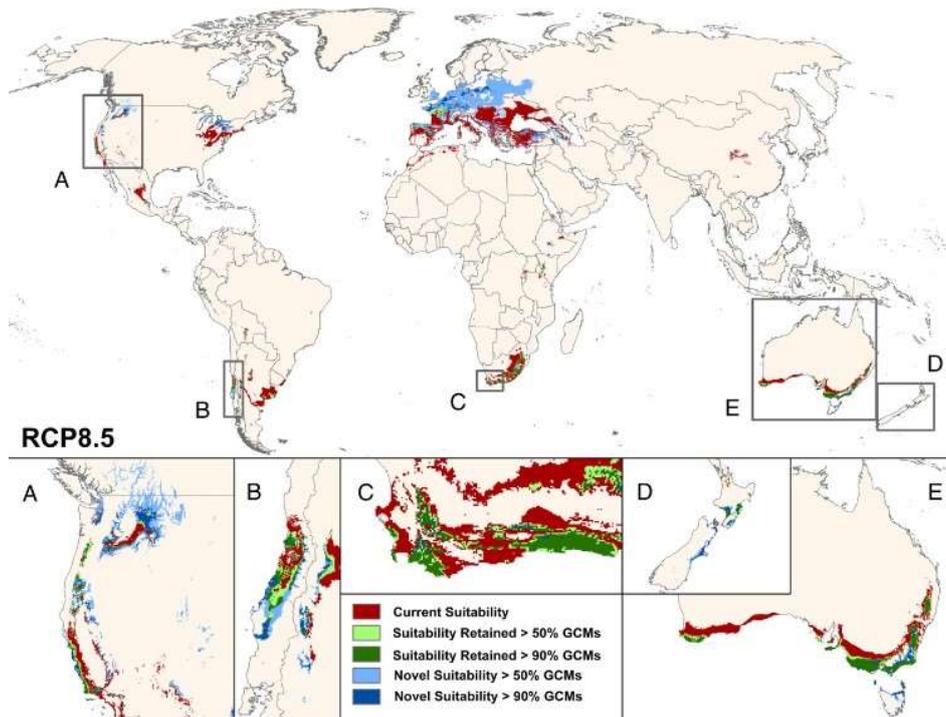


Figura 2. Mapa global sobre el cambio en la idoneidad de la viticultura entre la actualidad (1961-2000) y el 2050 (2041-2060) lo que muestra un acuerdo entre un conjunto de 17 modelos climáticos globales (GCMs). El RCP 8.5 representa un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero. Las áreas con idoneidad actual que disminuye a mediados de siglo se indican en rojo (>50% de acuerdo con GCMs). Las áreas con idoneidad actual que se conservan se indican en verde claro (>50% de acuerdo con GCMs) y verde oscuro (>90% de acuerdo con GCMs), mientras que las áreas que no son adecuadas en el período actual pero que sí lo serán en el futuro se muestran en azul claro (>50% de acuerdo con GCMs) y azul oscuro (>90% de acuerdo con GCMs). (Fuente: Hannah et al., 2013).

En este escenario, es esencial implementar mecanismos de adaptación y conservación agrícola que suavicen estos diversos efectos (Hannah et al. 2013). Entre ellos, habría que establecer estrategias de adaptación para atenuar los efectos del cambio climático, con el fin de garantizar la continuación de la producción de vinos de alta calidad y tipicidad varietal, al igual que para satisfacer las necesidades del mercado (Lasanta et al., 2022).

En una reciente revisión sobre los efectos del cambio climático en la cuenca mediterránea y en concreto en la Rioja, se incluyen dos importantes estrategias 1) modificar el material vegetal, tanto los portainjertos como las variedades de uva, o los clones que se recomienden; 2) ajustar los sistemas de conducción de la vid, concretamente a la elevación de la altura del tronco, el mantenimiento de una proporción adecuada entre el área foliar y la carga de cosecha, y el retraso de la poda, todo ello con el objetivo de prevenir que el ciclo fenológico de la vid se adelante o se acorte, asegurando que la cosecha se realice en el momento óptimo de maduración para cada entorno vitivinícola (Lasanta et al., 2022). En particular, en esta revisión nos centramos en medidas alternativas como la poda tardía, el uso eficiente del riego, el forzado de yemas, y la mejora genética.

3. JUSTIFICACIÓN

El sector vitivinícola es altamente sensible al cambio climático, especialmente debido a la dependencia de la vid a condiciones climáticas y ambientales específicas. Por lo tanto, es crucial implementar medidas, tanto de adaptación a las nuevas circunstancias, como de mitigación de los efectos del cambio climático, para asegurar el futuro de esta actividad (Carroquinoa *et al.*, 2020). Reconocer estos efectos es el primer paso hacia la implementación de estrategias efectivas para paliarlos, tomando medidas proactivas para afrontar estos desafíos y preservando así su importancia económica, cultural y ambiental.

A través de una revisión exhaustiva, se analizarán los factores climáticos más afectados por el cambio global y su efecto sobre la producción de la vid, incluyendo la temperatura, las precipitaciones, la evapotranspiración y la radiación: En primer lugar, el incremento de la temperatura promedio que afecta a la composición de las uvas y los vinos, así como a la maduración y a la calidad del producto final (Jones *et al.*, 2005; Tonietto y Carbonneau, 2004). Igualmente, las precipitaciones irregulares y extremas, junto con la evapotranspiración acelerada, causan estrés hídrico en las vides, reduciendo el rendimiento y la calidad de las uvas (Coipel *et al.*, 2006; Fontanella y Aumassanne, 2015). Y finalmente, el aumento de la radiación altera la estructura y la composición de la vid, influyendo en el sabor y el aroma del vino (Savé *et al.*, 2008).

Asimismo, se revisarán diversas estrategias adaptativas, tales como la poda tardía, el uso eficiente del riego, el forzado de yemas y la mejora genética: La poda tardía actúa retrasando la maduración de la uva y mejorando así su composición, ya que aumenta la concentración de antocianinas (Salazar-Parra *et al.*, 2023). El riego eficiente, por su parte, es esencial para garantizar el vigor de la vid y la calidad de la cosecha, adaptándose a las condiciones del suelo y del clima (Sotés, 2011). Por último, el forzado de yemas y la mejora genética son estrategias prometedoras para ajustar el ciclo de maduración de la uva y desarrollar variedades más resistentes al cambio climático, manteniendo la calidad y la sostenibilidad en la producción vitivinícola (Ruíz *et al.*, 2018).

El objetivo de esta revisión bibliográfica es analizar y sintetizar las estrategias y prácticas vitivinícolas que se pueden adoptar para adaptarse al cambio climático, asegurando así la producción de vinos de alta calidad y mantener la competitividad del sector en el mercado global.

4. OBJETIVOS

Los objetivos de esta revisión bibliográfica son los siguientes:

- Revisar la bibliografía relativa a los efectos del cambio climático sobre la viticultura.
- Identificar las estrategias que se describen en la bibliografía, para adaptar la viticultura al cambio climático.
- Examinar críticamente las estrategias de adaptación que ya se están implementando.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Búsqueda de información y bases de datos

Esta revisión bibliográfica ha sido realizada empleando información recopilada de diversas bases de datos y páginas web, como WOS (Web Of Science), Google Scholar, Uva Doc y ScienceDirect, para posteriormente seleccionar los artículos científicos o estudios más relevantes.

Dado el gran número de artículos relacionados con el tema abordado, para poder recopilar la información más acorde se emplearon las siguientes palabras clave (keywords): cambio climático, viticultura, adaptación, poda tardía, riego eficiente, forzado de yemas, mejora genética tanto en español como en inglés, dándole prioridad a los artículos más actuales.

5.2 Elaboración de la revisión bibliográfica

Para la elaboración de esta revisión bibliográfica, se ha seguido la normativa recogida en el documento “Normas de estilo y formato de TFG Enología” de la página web de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias.

6. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

6.1. Efectos del clima en la producción vitícola

El clima desempeña un papel crucial en la fisiología de las vides, influenciado por factores como la temperatura, la precipitación, la presión de vapor, la evapotranspiración potencial, las horas de sol y la velocidad del viento. El clima, en combinación con las técnicas de cultivo y las características del suelo, son determinantes para la calidad de la cosecha y la productividad del viñedo (Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos, 2016). En la tabla 1 podemos ver algunos de estos factores que afectan al viñedo diferenciando entre los beneficios y los inconvenientes.

A su vez, estos efectos provocan modificaciones en la fenología de la vid, en la incidencia de enfermedades y plagas, en el proceso de maduración y, en consecuencia, en la calidad de la uva y la productividad del viñedo (Jones, 2015). En general, los tipos de uvas que pueden ser cultivados y el estilo del vino que una región produce son consecuencia del clima base, es decir, las condiciones climáticas medias o “normales”, mientras que la variabilidad climática determina las diferencias de calidad entre cosechas (Jones *et al.*, 2005).

Entre los impactos más significativos asociados al cambio climático se incluyen la anticipación en los tiempos de cosecha y el incremento de las temperaturas, lo que resulta en mayores concentraciones de azúcar en las uvas y, por ende, niveles más altos de alcohol en el vino. Además, se observa una disminución en la acidez y alteraciones en los compuestos aromáticos característicos de las variedades de uva (De Orduña, 2010). Un cambio en las condiciones climáticas actuales alteraría la distribución de la vegetación natural y la agricultura, ya que el crecimiento y la reproducción de las plantas dependen de la radiación solar, el agua y las temperaturas, además de afectar a la disponibilidad del agua (Sotés, 2017).

Tabla 1. Efectos del cambio climático en la práctica vitícola (Fuente: Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos, 2016).

Factor de cambio	Efectos beneficiosos	Efectos negativos
Incremento de las temperaturas	<p>Periodos de crecimiento acelerado</p> <p>Menor probabilidad de heladas</p>	<p>Aumento del estrés por el calor.</p> <p>Reducción de la calidad (menor acidez, color y taninos).</p> <p>Incremento del contenido alcohólico.</p> <p>Crecimiento excesivo de la vegetación.</p> <p>Mayor riesgo de incendios.</p> <p>Aumento de la presencia de plagas y enfermedades.</p> <p>Variabilidad aumentada en los rendimientos.</p>
Descenso en la cantidad de lluvia	<p>Menor probabilidad de enfermedades en áreas húmedas</p> <p>Mejora en la calidad en regiones húmedas</p>	<p>Aumento en la frecuencia de sequías.</p> <p>Mayor riesgo de incendios.</p> <p>Reducción en el rendimiento.</p>
Incremento de precipitaciones intensas o tormentas		<p>Aumento de la erosión del suelo.</p> <p>Mayor probabilidad de adquirir enfermedades.</p> <p>Daños a las plantas por inundaciones o granizo.</p>
Aumento de emisiones de gases de efecto invernadero	<p>Aumento en la producción de biomasa</p>	<p>Incremento en la variabilidad de la producción debido a la mayor variabilidad climática.</p>

6.1.1. Temperatura

En primer lugar, uno de los principales factores que ha afectado el cambio climático es la temperatura, siendo mayor el cambio en las temperaturas mínimas que en las máximas, con una subida de aproximadamente 1,7°C o el aumento en los últimos 50 años de los valores del índice de Huglin (Jones *et al.*, 2005). Por otro lado, Mori *et al.* (2007) investigaron los impactos de altas temperaturas en el contenido de antocianinas y las respuestas en términos de niveles de transcripción genética en *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon sobre los genes correspondientes. Y pudieron observar que las temperaturas elevadas (cuando alcanzan un máximo de 35 °C) disminuyeron el contenido total de antocianinas a menos de la mitad en comparación con las bayas control (que se mantuvieron a un máximo de 25 °C).

Este aumento de las temperaturas ha conllevado la producción de vinos con más graduación alcohólica y menos acidez, debido a la desecación del suelo, la detención temprana del crecimiento y el adelanto en los procesos de maduración. Por el contrario, temperaturas más bajas resultan en vinos con menor graduación alcohólica y mayor acidez (López, 2019).

Siguiendo con la temperatura, es importante mencionar que la temperatura del aire desempeña un papel crucial durante el proceso de maduración de la uva, lo cual influye en aspectos como el aroma y la coloración, lo que a su vez tiene un impacto significativo en las características finales de los vinos (Tonietto y Carbonneau, 2004).

6.1.2. Disponibilidad de agua y precipitaciones

Dado que el cambio climático no solo ha disminuido la cantidad total de precipitaciones, sino que también ha provocado la aparición de fenómenos extremos como lluvias torrenciales e inundaciones, es fundamental tratar temas como las precipitaciones o el agua necesaria para la vid. Y, de hecho, estos eventos extremos están generando problemas como la erosión del suelo en los viñedos (López, 2019) o un aumento en las enfermedades en las plantas y en los racimos de uva, debido al exceso de lluvia, además de afectar negativamente a la maduración de la uva (Aransay, 2019). Las consecuencias de esto podemos verlas en un estudio realizado por Coipel *et al.* (2006) que analizaron la *Vitis vinífera* L. cv. Grenache Noir en parcelas de secano y en suelos poco profundos, observaron un bajo nivel de agua y nitrógeno en las vides, lo que condujo a un cese prematuro del crecimiento de los brotes y una producción moderada, además de un alto contenido de azúcar y antocianinas en las bayas. Y concluyeron que el estrés hídrico severo tiene un impacto negativo en la maduración de las bayas.

6.1.3. Evapotranspiración

El proceso de evapotranspiración se refiere a la pérdida de agua hacia la atmósfera mediante dos procesos físicos muy similares: la evaporación de agua desde la superficie del suelo y la transpiración de las plantas (Fontanella y Aumassanne, 2015). Así, la necesidad de agua de una planta depende del agua transpirada por las cepas y otras plantas, que se suma al agua que se evapora directamente del suelo (Talaverano, 2017).

Este proceso está influenciado por factores como la temperatura, la radiación solar, la velocidad del viento y la humedad relativa, cuyos cambios futuros presentan incertidumbres (Bustos, 2023). La evapotranspiración lleva en aumento desde 1970 y en el futuro este fenómeno se prevé que se incrementará (Phogat *et al.*, 2020). Por ello es importante proveer al suelo con una gran cantidad de agua de buena calidad para que esto no tenga consecuencias sobre el cultivo. Sin embargo, en las zonas áridas de la cuenca mediterránea, entre otras zonas vitícolas, la escasez de precipitaciones obliga a los viticultores a utilizar agua de baja calidad y con alta concentración de sales, proveniente de pozos y acuíferos salinizados (Valentín *et al.* 2018), lo que repercute directa y negativamente en la calidad de la vid.

6.1.4 Radiación

La transparencia de la atmósfera en las regiones con mayor altitud hace que los fenómenos de radiación tengan un impacto más significativo en el régimen térmico que en zonas de menor altitud. En las zonas de menor altitud, la densidad de la masa atmosférica es mayor y amortigua las variaciones extremas de temperatura (Quijano, 2009). Esto se debe a que el nivel de radiación que se devuelve al espacio es reducido, lo que resulta en un aumento de la retención de calor en la Tierra y, como consecuencia, en un aumento de la temperatura terrestre (Martínez, 2016).

En áreas con alta radiación solar, durante las horas de máxima intensidad lumínica, puede disminuir el rendimiento fotosintético debido al exceso de luz. Este fenómeno se conoce como fotoinhibición. Este efecto se intensifica aún más en condiciones de estrés hídrico, y puede afectar a la calidad de la uva (Blanco, 2013). Por otra parte, el aumento de la radiación UV perjudica el crecimiento de las plantas, que experimentan cambios significativos en su estructura, sus funciones, y en los procesos químicos para contrarrestar este impacto. Al mismo tiempo, aumenta la producción de flavonoides y antioxidantes, que son cruciales para determinar las características de color, sabor y aroma de las uvas, y del vino (Savé *et al.*, 2008).

6.2. Cambio climático en viticultura

Es importante diferenciar los conceptos de cambio climático y cambio global. El cambio climático se refiere específicamente a las alteraciones a largo plazo en los patrones del clima, como temperaturas, precipitaciones y otros parámetros meteorológicos. Por otro lado, el cambio global engloba no solo las modificaciones climáticas, sino también los cambios ambientales causados por actividades humanas, como la deforestación, la contaminación o la sobreexplotación de recursos, entre otros.

Mientras que el cambio climático impacta directamente en condiciones como la temperatura y la lluvia que afectan al viñedo, el cambio global implica además otras perturbaciones en los ecosistemas, la biodiversidad y los ciclos biogeoquímicos que pueden tener efectos indirectos en la viticultura. Por ejemplo, la degradación de suelos por erosión o el avance de plagas y enfermedades asociadas al calentamiento global.

Como mencionan, entre otros autores, Van Leeuwen *et al.* (2019), la calidad y la producción del vino dependen de las condiciones climáticas, y de la interacción de factores como la temperatura, el agua, el tipo de vid, y los métodos de cultivo.

Por consiguiente, es evidente que cualquier cambio en el clima está ejerciendo una influencia en las condiciones microclimáticas, lo que repercute directamente en los viñedos y, por ende, en la producción vinícola. Por ello, la calidad y cantidad de vino se ven afectadas. Para mitigar estos efectos, es esencial reevaluar las estrategias de adaptación en la viticultura (Sirnik, *et al.*, 2018).

Un ejemplo de ello es el incremento de la frecuencia de vinos contaminados por el humo en regiones como Canadá, el oeste de Estados Unidos, o Australia debido a la mayor existencia de incendios, producidos por el aumento de las temperaturas, que han afectado al cultivo de la vid y a la producción de vino (Jones *et al.*, 2022), ya que como muestra la figura 3, las grandes emisiones de CO₂ son protagonizadas por 10 países, entre los que se encuentran China, Estados Unidos, India o Rusia.

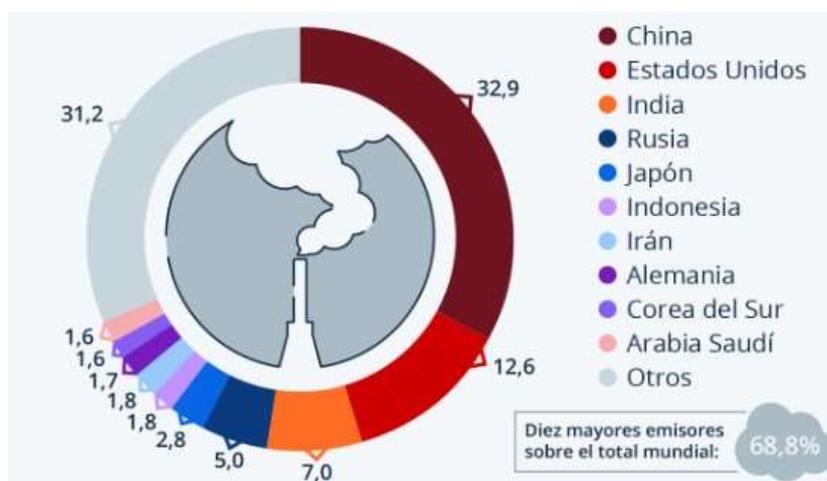


Figura 3. Países con mayor porcentaje en emisiones de CO₂ en 2022 (Fuente: Mena, 2023).

Estos factores que se mencionan dan lugar a vinos con personalidad y cualidades únicas, asociados a regiones específicas (Quénol *et al.*, 2017). Aunque históricamente los mejores vinos se han elaborado en años más cálidos, los incrementos de la temperatura media y la variabilidad climática en las próximas décadas podrían poner en riesgo la ventaja competitiva de algunas de estas regiones (Keller, 2010).

Por ejemplo, la temperatura y la cantidad de lluvia son cruciales en el ciclo de desarrollo de la vid y en la calidad de la cosecha, lo que incide directamente en la calidad del vino (Santos *et al.*, 2013). Esto resalta la necesidad de considerar estos factores en el contexto más amplio del cambio climático y cómo sus efectos pueden influir en la calidad de los vinos en el futuro.

Debido a estas alteraciones del cambio climático, ha surgido el cambio global, que repercute a la vid directamente, como en la producción del vino, que se ve influenciado por la incorporación de nuevas variedades de uvas, tanto extranjeras como variedades locales actualmente en desuso, y por las variaciones en las preferencias de los consumidores, además de los cambios ambientales provocados por causas naturales y humanas (Savé *et al.*, 2008).

Por otro lado, algunos viñedos ya están experimentando cambios notorios, como la reducción en la duración del desarrollo de la vid y alteraciones en la maduración de las uvas y en la fecha de vendimia (Salazar y Reyes, 2020). Durante las últimas cinco décadas, el aumento de la temperatura ha provocado un adelanto en las etapas fenológicas principales y ha modificado las características del vino, como su contenido de azúcar y acidez (Quénol *et al.*, 2017).

De hecho, las consecuencias de la incidencia de eventos climáticos extremos han impactado severamente en la producción vinícola en Europa. Francia lidera en pérdidas de cosechas entre 1980 y 2019, seguida por Italia y España (Poni *et al.*, 2022). Como ejemplo, en la figura 4 podemos ver como afectaron las heladas tardías de la primavera de 2021 a la vid en Italia.



Figura 4. Vid con casi el 100% de los brotes muertos por las heladas tardías de la primavera de 2021 en Italia (Fuente: Poni *et al.*, 2022).

Este fenómeno va en aumento y, como menciona Hannah *et al.* (2013), para el año 2050, se prevé una reducción significativa en el área apta para la viticultura debido al cambio climático, con estimaciones que sugieren una disminución del 25% al 73%. Esta situación podría llevar al cultivo de viñedos en áreas montañosas, lo que tendría consecuencias negativas en los ecosistemas de alta montaña y podría cambiar la vegetación natural a medida que la producción se traslade a latitudes más elevadas.

También podría tener consecuencias positivas, como el surgimiento de la viticultura en el norte de Europa, destacando países como Inglaterra, Suecia, Dinamarca y Polonia (Jones *et al.*, 2022). Como se muestra en la figura 5, las adaptaciones que pueden surgir en la práctica vitícola pueden tener efectos adversos como el incremento de la dificultad de la viticultura y de los costes de producción, lo que puede ocasionar un problema económico.



Figura 5. Medidas de adaptación para el viñedo según la dificultad y los costes, y los incrementos de temperatura (Fuente: Sotés, 2011).

Por último, cabe mencionar el estudio de Moriondo *et al.* (2013) que investigaron acerca de los efectos del cambio climático en la viticultura, y cuyos resultados mostraron un patrón de clima en constante calentamiento y aridez, caracterizado por aumentos absolutos más pronunciados en las regiones mediterráneas, mientras que los incrementos eran menos significativos en las regiones del norte. Por otra parte, observaron que estos cambios inciden en la composición de la fruta, ya que dan lugar a niveles superiores de azúcar y una disminución de la acidez.

6.3. Técnicas de cultivo alternativas para afrontar el cambio climático

Estos fenómenos que hemos mencionado con anterioridad que ocurren a causa del cambio climático, subrayan la urgencia de adoptar técnicas culturales que, especialmente en áreas con climas cálidos, permitan retrasar las etapas fenológicas cruciales y la maduración de la fruta hacia períodos más frescos (Poni *et al.*, 2022). Para ajustar la viticultura a las influencias térmicas, se pueden emplear métodos previos a la implantación de los viñedos. Estos incluyen la exploración de variedades nuevas, la utilización de portainjertos, la selección de nuevos clones, la adopción de sistemas de conducción innovadores y la identificación de nuevas áreas aptas para la producción de vino (Salazar y Reyes, 2020).

Asimismo, como una mejora para adaptarse al cambio climático, se están llevando a cabo numerosos estudios de identificación de los genes que influyen en la variación de las características de la vid para una correcta adaptación, como la fenología, el uso del agua, la tolerancia a temperaturas elevadas y la calidad de la uva (Ruíz *et al.* 2018).

Por ello, en 2023 surge la Red VITIS CLIMADAPT organizada por el Instituto de Ciencias de la Vid y el Vino (ICVV) con el propósito de impulsar la adaptación genética de este cultivo a los desafíos climáticos. Su objetivo principal es aprovechar los recientes avances científicos, incluyendo la identificación de genes de resistencia a la sequía, el

mapeo de la diversidad genética, la secuenciación de genomas completos y el descubrimiento de mutaciones de interés relevante. Esta información será canalizada hacia el desarrollo de nuevas variedades, clones y portainjertos mejor adaptados al cambio climático, así como a la evaluación y al aprovechamiento de material vegetal ya disponible.

Aunque, la adaptación a condiciones climáticas cambiantes implica ajustes en las áreas de cultivo, como modificaciones en las prácticas de manejo de viñedos o bodegas, y la exploración de nuevas combinaciones de portainjertos e injertos (Duchêne, 2016).

Otra alternativa que se puede plantear es el aprovechamiento de los beneficios de las micorrizas arbusculares, que llevan a cabo una simbiosis entre la planta y el hongo. Estos hongos ofrecen varios beneficios clave para la producción de la vid descritos por Trouvelot y otros autores en 2015):

- Mejoran el crecimiento y la nutrición de la vid al proporcionar un mejor acceso a los nutrientes del suelo y activar la regulación de proteínas transportadoras de fósforo, nitrógeno y otros elementos esenciales.
- Aumentan la resistencia al estrés abiótico, como la sequía, la salinidad del suelo, la deficiencia de hierro y la toxicidad de metales pesados.
- Protegen contra el estrés biótico, incluidas las enfermedades de las raíces.
- Contribuyen a la estabilidad del suelo mediante la producción de glicoproteínas y una red de hifas densa, lo que resulta en un ahorro de nutrientes de hasta el 14% de los ingresos de la producción de uva.

Esos mismos autores advierten de que la fertilización con fósforo puede reducir la micorrización. Por otro lado, ellos mismos describen cómo el uso de plantas herbáceas como cultivos de cobertura favorece la proliferación de hongos micorrizas arbusculares.

Por otro lado, Quénot *et al.* (2017) mencionan en su estudio que se han creado una serie de modelos para representar el clima en la Tierra en diferentes niveles de detalle. A nivel global, los Modelos de Circulación General (GCM) son ampliamente empleados como punto de partida para desarrollar escenarios de cambio climático. Estos modelos estiman tendencias en variables climáticas como temperatura, precipitación y viento a escala mundial, aunque no son suficientemente precisos para captar la variabilidad de la temperatura en el nivel específico de un viñedo.

Para finalizar, vamos a revisar otras alternativas relativas a las técnicas de cultivo que pueden mejorar la adaptación de la vid al cambio climático como la poda tardía, el uso eficiente del riego, y el forzado de yemas.

6.3.1. Poda tardía

La poda tardía se considera una herramienta para adaptar la viticultura al cambio climático al retrasar la maduración de la uva y equilibrar la composición. Aunque la poda tardía no contrarresta completamente los efectos del calor, logra retrasar la cosecha y aumentar la concentración de antocianinas en la piel de la uva (Salazar-Parra *et al.*, 2023). Aunque es importante destacar que esta técnica disminuye la evapotranspiración total del cultivo al reducir la superficie foliar, se trata de una herramienta eficaz para conservar el agua del suelo en climas más cálidos y secos y mejorar la composición fenólica tanto de las bayas como del vino debido a una mayor exposición de los racimos al sol (Bustos, 2023).

Para diferenciar la poda convencional y la poda tardía, Salazar-Parra (2024) menciona que la poda convencional se lleva a cabo entre la caída de las hojas y el inicio del brote de las vides, y la poda tardía se realiza después de que las vides han comenzado a brotar. Uno de los beneficios que tendría la poda tardía, como menciona Buesa *et al.* (2016) es retardar el ciclo fenológico en regiones semiáridas, ya que podría postergar la fecha de la vendimia entre seis días de diferencia para la variedad Tempranillo y doce días para la variedad Bobal y mejorar así la composición fenólica de la uva. Así, como podemos ver en la figura 6, en la longitud del brote alcanzó más longitud mediante la poda tradicional, mientras que, en cuanto al número de racimos cuajados, la poda en brotación tuvo una cantidad mayor.

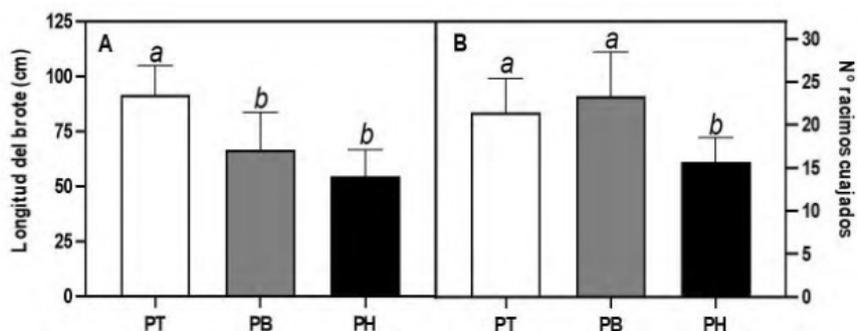


Figura 6. Comparación de la longitud de brotes y del número de racimos cuajados en vides con poda tradicional (PT), y en la poda tardía: poda en brotación (PB) y poda en 3-4 hojas (PH) (Salazar-Parra *et al.*, 2024).

En 2015 y 2016 se realizó un estudio en la Rioja sobre la poda tardía en vides de la variedad Maturana, y los investigadores mencionaron que una poda extremadamente tardía en invierno podía garantizar uvas de excelente calidad. Así, la posibilidad de retrasar la fecha de brotación según su preferencia, puede eliminar completamente el riesgo de daños por heladas durante la primavera (Zheng *et al.*, 2017).

En 2019 y 2021 Pérez-Álvarez *et al.* (2022), realizaron un ensayo en un viñedo de la variedad Monastrell en Murcia probando tres tratamientos de poda: convencional en invierno, tardía al inicio del brote de las yemas, y tardía más 10 días respecto al segundo tratamiento. Los resultados indicaron que la reducción en la producción debido a las podas tardías no fue significativa hasta la tercera cosecha. Igualmente, apreciaron una disminución en el peso promedio de los racimos por planta, aunque el número de racimos por planta no se vio alterado. Asimismo, en las podas tardías lograron reducir el contenido de alcohol en los vinos, lo cual puede satisfacer la demanda de algunos consumidores.

En síntesis, los estudios resaltan que la poda tardía ofrece flexibilidad para modificar la fenología, repartir la carga productiva, modular la composición de la uva y del vino, así como reducir el consumo hídrico de las vides para hacer frente a climas más cálidos y variables.

6.3.2. Uso eficiente del riego

El riego puede tener múltiples beneficios para la vid, entre ellos Sotés (2011) destaca los siguientes:

- Crecimiento vigoroso.
- Mayor actividad fotosintética.
- Acumulación de reservas.

- Adelantamiento de la formación de la cepa y la entrada en producción.
- Aumento del rendimiento de la cosecha.
- Producciones más consistentes.
- Aumento de la cantidad de azúcares por hectáreas
- Evita interrupciones en la acumulación de azúcares.

Sotés (2011) también señala los beneficios del riego para prevenir desórdenes fisiológicos como caída de racimos, corrimiento y deshidratación de bayas por estrés hídrico extremo. Un adecuado suministro de agua es crucial para evitar estos problemas que pueden causar pérdidas de rendimiento y calidad.

Por lo tanto, en términos generales, se recomienda que el riego sea localizado con aportes de agua cortos pero frecuentes, como se muestra en la figura 7, en las que el riego se suministra por goteo, ya que los aportes prolongados, como aquellos que exceden las 4 horas seguidas al día, pueden causar pérdidas de agua más allá de la zona radicular de las vides. Por otro lado, los volúmenes de agua deben adaptarse a la textura del suelo; por ejemplo, en suelos arenosos con goteros de 4 L/h, no se recomendarían riegos que superen las dos horas, y en suelos pesados, se requiere un tiempo de riego mayor para permitir una adecuada absorción del agua de riego (Intrigliolo, *et al.*, 2019).



Figura 7. Cepas regadas por goteo (Fuente: Intrigliolo, *et al.*, 2019).

Según Intrigliolo *et al.* (2019), en regiones semiáridas y áridas como la cuenca mediterránea, el riego se perfila como una herramienta crucial que impacta de manera significativa tanto en la producción como en la calidad final de la uva. Recurrir al riego en estas zonas no solo es indispensable para obtener rendimientos aceptables, sino también para modular características enológicas clave tales como la concentración de sólidos solubles (azúcares), pH, niveles de ácido málico, síntesis de compuestos fenólicos (antocianos, taninos), así como la producción y concentración de aromas varietales. Además, un manejo adecuado del riego condiciona en gran medida la viabilidad y eficacia del uso de otras técnicas de cultivo.

6.3.3. Forzado de yemas

Reajustar el ciclo de maduración de la uva para coincidir con periodos de temperaturas más suaves puede representar una estrategia para favorecer la producción rentable y sostenible de uvas de alta calidad en el contexto del cambio climático. De ahí surge la técnica del “forzado de yemas” que consiste, según Lavado (2023), en inducir el rebrote de las yemas de la vid, como se observa en la figura 8, lo que altera su cronología de desarrollo y desplaza la maduración de la uva hacia momentos con temperaturas más moderadas. Aunque esta práctica conlleva una disminución en el rendimiento del viñedo, ofrece beneficios como la mejora de la acidez, y aumenta los niveles de ácido málico, polifenoles y antocianos tanto en las uvas como en los vinos.



Figura 8. Cepa forzada (Fuente: Lavado, 2023).

Esta práctica tiene el beneficio de posponer la fecha de la cosecha y mejorar la calidad de la uva, resultando en mejoras significativas en algunas de las características de las uvas destinadas a la vinificación (Hernández *et al.*, 2022).

Como muestra de ello, en el estudio de Gu *et al.* (2012), forzaron el crecimiento de las yemas, y resultó que la fruta obtenida del cultivo presentó bayas de menor tamaño, un pH más bajo y una acidez más elevada, además de exhibir un mayor contenido de antocianinas, taninos y compuestos fenólicos en comparación con la fruta no sometida a este proceso. En cuanto al rendimiento y vigor de las vides forzadas, se encontraron niveles comparables o ligeramente inferiores a los de las vides de control.

En la misma línea, Martínez de Toda *et al.* (2019) utilizó esta técnica y concluyó que las vides sometidas a cultivo forzado dieron lugar a bayas de menor tamaño, con un pH más bajo y una concentración de antocianinas y acidez más alta en comparación con las vides no tratadas. Por ello, este enfoque se puede ver como una estrategia eficaz para restablecer la proporción de antocianinas y azúcares desequilibrados debido al cambio climático.

Aunque los hallazgos de la investigación de Kishimoto *et al.* (2022) resaltaron la importancia de distinguir entre los brotes laterales y secundarios inducidos durante el proceso de cambio de maduración de la uva hacia una estación más fría. Esto se logra mediante la eliminación selectiva de los brotes actuales y los racimos de flores, y da como resultado el incremento del nivel de antocianinas en la piel, tanto en los brotes laterales como en los brotes secundarios inducidos de las bayas de uva.

6.3.4. Mejora genética

A lo largo de los años, se han empleado diversos métodos de mejora para mejorar ciertas características en las plantas y adecuarlas a las necesidades de los viticultores o de los consumidores. Estos métodos pueden incluir técnicas como la mejora clásica, que implica el cruzamiento dirigido entre individuos, relacionados o no, seguido de la selección de plantas con mejores características. Este proceso genera nuevas variedades o híbridos con las propiedades deseadas, si bien los resultados son erráticos y requieren una importante inversión y mucho tiempo. En cuanto a la mejora genética dirigida, se han propuesto varios enfoques para llevar a cabo modificaciones genéticas directas en la planta, como por ejemplo el método de transformación genética utilizando un proceso de organogénesis en uvas de mesa (Ruíz-García, 2014). Estas prácticas se promovieron desde el siglo XIX con el objetivo de fomentar una viticultura sostenible (Bavaresco, 2018).

A grandes rasgos, los objetivos que se pretenden conseguir con esta mejora genética son (Ruíz *et al.*, 2018):

- Objetivos técnicos: Desarrollar variedades de uva productivas y resistentes a la sequía y altas temperaturas, que mantengan su calidad sin necesidad de tratamientos hormonales ni poda de racimos. Asegurar la alta fertilidad para evitar pérdidas de cosecha y extender el calendario productivo.
- Objetivos comerciales: Asegurar que las nuevas variedades sean bien aceptadas en mercados nacionales e internacionales, con buena conservación del frío, resistentes al transporte, sin semillas, textura crujiente, buen tamaño, sabor, color uniforme y menor residuos fitosanitarios.
- Objetivos ambientales: Recopilar variedades adaptadas al clima, resistentes a enfermedades, y que requieran menor tratamientos fitosanitarios y fertilizantes, ofreciendo un producto más natural y reduciendo costos y la contaminación ambiental.

Así es que, Bigard *et al.* (2018) realizaron un estudio para evaluar la diversidad genética presente en las uvas de diferentes variedades de *Vitis vinifera*, con el fin de aprovechar esta diversidad en programas de mejoramiento genético que permitan desarrollar nuevas variedades de vid mejor adaptadas a los efectos previstos del cambio climático, como el aumento de temperaturas. Sus observaciones revelaron una amplia variabilidad genética para características clave relacionadas con la calidad enológica, como el tamaño de baya, composición (azúcares, acidez, compuestos fenólicos), entre otros. Esta diversidad genética ofrece oportunidades para seleccionar y combinar alelos favorables mediante mejoramiento convencional o técnicas de edición genética, con el objetivo de obtener variedades con frutos de mayor tamaño y mejor composición, ayudando así a contrarrestar los impactos negativos del calentamiento global. Destacaron que, a pesar de la influencia de la mejora genética, que podría reducir la variabilidad, se mantuvo una diversidad de características constantes en los frutos obtenidos.

Uno de los principales programas llevados en España para la mejora genética de la vid es ITUM (Innovación y Tecnología de la Uva de Mesa S.L.), el cual se fundó en Murcia en 2002 con el propósito de desarrollar nuevas variedades de uva que tuvieran características únicas y se adaptaran bien a las condiciones del suelo y del clima en esta región. Para ello se crearon las variedades itumone, itumtwo, itumthree, etc. (Sánchez, 2013).

Por otro lado, se ha empezado a utilizar el sistema CRISPR/Cas9, de edición genética, la técnica más novedosa actualmente de mejora genética, que se utiliza fundamentalmente en medicina, y en la mejora de las plantas y animales, y que aprovecha el mecanismo de inmunidad adaptativa de las bacterias, como se puede ver

en la figura 9, primero se generan callos embriogénicos a partir de anteras, luego esos callos se incuban con *Agrobacterium*, que actúa como vector para el sistema CRISPR/Cas9, y por último se seleccionan las células que han sido transformadas para proceder a su regeneración (Osakabe *et al.*, 2018).

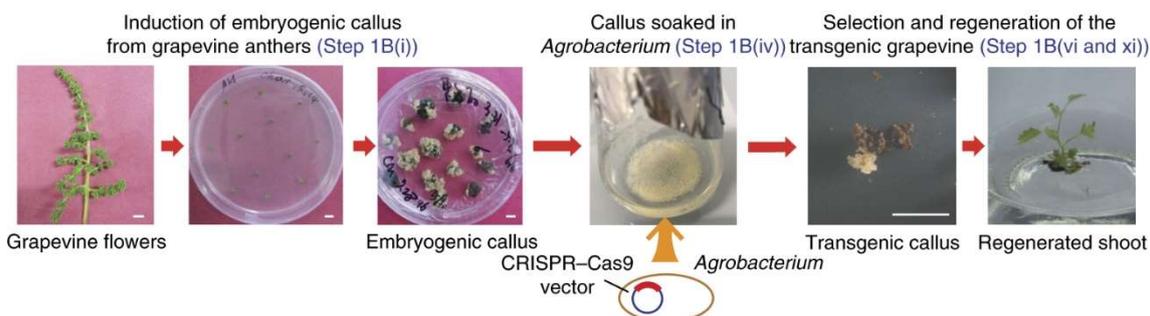


Figura 9. Proceso para la transformación de células de vid y su siguiente regeneración (Fuente: Osakabe *et al.*, 2018).

Además de buscar resistencia a estreses bióticos y abióticos, la mejora genética también apunta a modular la síntesis de compuestos de interés enológico como aromas, antocianos y taninos para obtener vinos de mejor calidad (Ruíz *et al.*, 2018).

Es importante resaltar que cualquier variedad obtenida por mejoramiento convencional o edición genética debe pasar exhaustivas evaluaciones agronómicas, sensoriales y de inocuidad antes de su eventual liberación comercial (Bavaresco, 2018).

7. CONCLUSIÓN

Esta revisión bibliográfica pone de manifiesto cómo algunos factores afectados por el cambio climático como el aumento de temperaturas, los cambios en las precipitaciones, la mayor evapotranspiración y radiación están afectando a la fenología, la incidencia de plagas, la maduración y, en consecuencia, la calidad y productividad de los viñedos a nivel global.

Ante esta situación, es crucial conocer las distintas estrategias de adaptación que permitan mitigar los impactos del cambio climático y asegurar la sostenibilidad de esta actividad agrícola tan importante económica y culturalmente. Entre las alternativas evaluadas, algunas de ellas se perfilan como herramientas muy prometedoras y ya se están utilizando en algunas regiones. Entre ellas, la poda tardía, que ya se realiza en distintas regiones de España, Australia y Chile; el uso eficiente del riego utilizado en la cuenca mediterránea; el forzado de yemas utilizado en regiones cálidas de España como Extremadura. En cuanto a la mejora genética, se trata de técnicas en desarrollo, pero hay varios proyectos de investigación como un proyecto europeo en el que participa el equipo de Mejora Genética Molecular del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario (IMIDA) junto con otras 17 instituciones procedentes de Italia, Grecia, Portugal, Hungría, Francia, Chipre y España.

La poda tardía retrasa la maduración de la uva y mejora su composición, incrementando antocianinas y acidez. El riego eficiente es esencial para garantizar el vigor de la planta y calidad de la cosecha en condiciones de mayor estrés hídrico. El forzado de yemas permite desplazar el ciclo productivo hacia periodos más frescos. Por último, la mejora

genética convencional y las nuevas técnicas de edición genética permitirán desarrollar variedades mejor adaptadas al calentamiento global.

Si bien estas estrategias presentan beneficios demostrados, su implementación efectiva requerirá un esfuerzo conjunto de la comunidad vitivinícola, que combine innovación, investigación y la transferencia rápida y eficaz de conocimientos. Únicamente mediante una adaptación proactiva e integrada, el sector podrá hacer frente con éxito a los retos del cambio climático y mantener su competitividad en un mercado global cada vez más exigente en términos de calidad, sostenibilidad y resiliencia.

8. BIBLIOGRAFÍA

Aransay, R. (2019). Clima y viticultura en la Rioja (trabajo de fin de grado). Universidad de Cantabria, Santander, España. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/17121>

Bavaresco, L. (2018). Impact of grapevine breeding for disease resistance on the global wine industry. En XII International Conference on Grapevine Breeding and Genetics. Doi: 10.17660/ActaHortic.2019.1248.2

Bigard, A., Berhe, D.T., Maoddi, E., Sire, Y., Boursiquot, J.M., Ojeda, H., Péros, J.P., Doligez, A., Romieu, C. y Torregrosa, L. (2018). *Vitis vinifera* L. fruit diversity to breed varieties anticipating climate changes. *Plant Science*, 9, (455), 1-16. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00455>

Blanco, J.A. (2013). Aclareo mecánico en viticultura: Efectos sobre los componentes de la producción, y la composición de la uva y del vino (tesis doctoral). Universidad de la Rioja, Logroño, España. http://www.enologosrioja.org/wp-content/uploads/2013/03/TESIS_Blanco_Hernaez.pdf

Buesa, I., Pérez, D., Yeves, A., Sanz, F., Chirivella, C. y Intrigliolo, D.S. (2016). Poda tardía en Bobal y Tempranillo para retrasar el ciclo fenológico: respuesta agronómica y enológica. II Jornadas en Viticultura de la Sech, Valencia, España. https://redivia.gva.es/bitstream/handle/20.500.11939/7036/2016_Buesa_Poda.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Bustos, M. (2023). La poda tardía como estrategia de adaptación al cambio climático en la variedad Malbec (*Vitis vinifera*) en Mendoza, Argentina [tesis doctoral, Universidad Nacional de Cuyo]. Inta Digital. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/16909>

Carroquinoa, J., García-Casarejos, N. y Gargallo, P. (2020). Classification of Spanish wineries according to their adoption of measures against climate change. *Journal of Cleaner Production*, 244, 1-14. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118874>

Coipel, J., Lovelle, B. R., Sipp, C., & Van Leeuwen, C. (2006). «Terroir» effect, as a result of environmental stress, depends more on soil depth than on soil type (*Vitis vinifera* L. cv. Grenache Noir, Côtes du Rhône, France, 2000). *OENO One*, 40(4), 177. <https://doi.org/10.20870/oenone.2006.40.4.867>

Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos. (2016). Cambio climático y viñedo en España. https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/cambio_climatico_y_vinedo_en_espana_2016.pdf

De Orduña, R. M. (2010). Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Research International*, 43(7), 1844-1855. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.05.001>

Duchêne, E. (2016). How can grapevine genetics contribute to the adaptation to climate change?. *OENO One*, 50(3), 113-124. DOI: [10.20870/oeno-one.2016.50.3.98](https://doi.org/10.20870/oeno-one.2016.50.3.98)

Fontanella, D. y Aumassane, C. (2015). Evapotranspiración de maíz, alfalfa y vid bajo riego, en la cuenca media del río Colorado. Conferencia llevada a cabo en VII Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego. Mendoza, Argentina. https://www.researchgate.net/publication/326943134_Evapotranspiracion_de_maiz_alfalfa_y_vid_bajo_riego_en_la_cuenca_media_del_rio_Colorado

Gil, G.F. y Pszczólkowski, P. (2007). Viticultura, fundamentos para optimizar producción y calidad. *Ciencia e investigación agraria*, 34(3), 243-243. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202007000300009>

González-Puente, M. (2022). Viticultura a tiempo parcial de segunda generación: (Dis)continuidades agrarias en el Penedès postindustrial (España). *Ager: Revista de estudios sobre despoblación y desarrollo rural*, (34), 105-134. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8560715>

Gu, S., Jacobs, S. D., McCarthy, B. S., y Gohil, H. L. (2012). Forcing vine regrowth and shifting fruit ripening in a warm region to enhance fruit quality in “Cabernet Sauvignon” grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 87(4), 287–292. <https://doi.org/10.1080/14620316.2012.11512866>

Hannah, L., Roehrdanz, P., Ikegami, M., Shepard, A., Shaw, R., Tabor, G., Zhi, L., Marquet, P. y Hijmans, R. (2013). Climate change, wine, and conservation. *Proceedings of the national academy of sciences*, 110(17), 6907-6912. <https://doi.org/10.1073/pnas.1210127110>

Hernández, D. U., Lavado, N., Mancha, L. A., Sánchez, M. E. V., Moreno, D., & Losada, M. H. P. (2022). Vendimia tardía mediante forzado de las yemas en vid, una alternativa de manejo para viñedos de clima cálido. *Dialnet*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8863952>

Intrigliolo, D.S., Sanz, F., Yeves, A., Martínez, A. y Buesa, I. (2019). Manejo integral del viñedo para hacer frente al cambio climático. En Compés, R. & Sotés, V. (eds.). *El sector vitivinícola frente al desafío del cambio climático. Estrategias públicas y privadas de mitigación y adaptación en el Mediterráneo* (193-220). Publicaciones Cajamar. <https://redivia.gva.es/handle/20.500.11939/6928>

Jones, G.V. (2008). Cambio climático: observaciones, pronósticos e implicaciones generales en viticultura y producción vinícola. *ACE: Revista de Enología*, (93), 1-19. <https://www.divulgameteo.es/fotos/lecturas/CC-viticultura.pdf>

Jones, G.V., Duchêne E., Tomasi D., Yuste J., Braslavská O., Schultz H., Martínez C., Boso S., Langellier F., Perruchot C. y Guimberteau G. (2005). Changes in European winegrape phenology. XIV International GESCO Viticulture Congress, Geisenheim, Alemania. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20053213736>

Jones, G.V., Edwards, E.J., Bonada, M., Sadras, V.O., Krstic, M.P. y Herderich, M.L. (2022). Climate change and its consequences for viticulture. *Food Science, Technology and Nutrition*, 1, 727-778. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102067-8.00015-4>

Jones, G.V., White, M., Cooper, O. y Storchmann, K. (2005). Climate change and global wine quality. *Climatic change*, 73, 319-343. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-4704-2>

- Keller, M. (2010). Managing grapevines to optimise fruit development in a challenging environment: a climate change primer for viticulturists. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16(1), 56-69. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2009.00077.x>
- Kishimoto, M., Yamamoto, T. y Kobayashi, Y. (2022). Effects of lateral or secondary induced shoot use on number of bunches and fruit quality in forcing cultivation by current shoot cutting and flower cluster removal to shift grape ripening to a cooler season. *The Horticulture Journal*, 91(2), 169-175. <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-314>
- Lasanta, T., Baroja-Sáenz, C., Cortijos-López, M., Nadal-Romero, E., Martín, I. y García-Escudero, E. (2022). Estrategias de adaptación al cambio climático en el viñedo de la cuenca mediterránea: el caso del Rioja. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, (48), 133-156. <http://doi.org/10.18172/ciq.5062>
- Lavado, N. (2023). Estudio del efecto a corto y medio plazo de la técnica del “Forzado de yemas” sobre la productividad y la calidad de la vendimia del viñedo “Tempranillo” en Extremadura (tesis doctoral). Universidad de Extremadura, Badajoz, España. <https://dehesa.unex.es/handle/10662/16608>
- López, S. (2019). Influencia de la poda tardía como técnica de adaptación al cambio climático en el cultivo de la vid y en la producción de vinos a partir de las variedades Bobal, Tempranillo y Garnacha [trabajo de fin de máster, Universitat Politècnica de València]. RiuNet. <https://riunet.upv.es/handle/10251/124848>
- Martínez de Toda, F., Balda, P. y García, J. (2019). Preliminary results on forcing vine regrowth to delay ripening to a cooler period. *Vitis – Journal of Grapevine Research*, 58(1), 17-22. DOI: 10.5073/vitis.2019.58.17-22
- Martínez, A. (2016). El cambio climático y sus efectos sobre la calidad del vino (trabajo de fin de grado). Universitat Politècnica de València, Valencia, España. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/69102/MART%20c3%8dNEZ%20-%20EI%20cambio%20clim%20c3%a1tico%20y%20sus%20efectos%20sobre%20la%20calidad%20del%20vino.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Mena, M. (2023, 12 de diciembre). Diez países causan casi el 70% de las emisiones mundiales de CO2. Statista. <https://es.statista.com/grafico/28687/paises-con-el-mayor-porcentaje-de-emisiones-mundiales-de-co%25E2%2582%2582/>
- Mori, K., Goto-Yamamoto, N., Kitayama, M. y Hashizune, K. (2007). Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature. *Journal of Experimental Botany*, 58(8), 1935-1945. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm055>
- Moriondo, M., Jones, G.V., Bois, B., Dibari, C., Ferrise, R., Trombi, G. y Bindi, M. (2013). Projected shifts of wine regions in response to climate change. *Climatic change*, 119, 825-839. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0739-y>
- Nicholas, K.A. (2015). ¿Cómo afecta el cambio climático a los vinos? *Investigación y ciencia*, (466), 40-49. <https://www.divulgameteo.es/fotos/lecturas/CC-vinos.pdf>
- Osakabe, Y., Liang, Z., Ren, C., Nishitani, C., Osakabe, K., Wada, M., ... & Nagamangala Kanchiswamy, C. (2018). CRISPR–Cas9-mediated genome editing in apple and grapevine. *Nature protocols*, 13(12), 2844-2863.
- Pérez-Álvarez, E.P., Martínez-Moreno, A., Benítez-Jiménez, A., Soriano-Gil, A., Parra, M. y Intrigliolo, D.S. (2022). La poda tardía: una herramienta vitícola de adaptación al cambio climático. Jornadas del Grupo de Viticultura y Enología de la SECH, Pamplona, España. <https://investigacion.unirioja.es/documentos/641c9f3cc2ee4a229ee6c854>

- Phogat, V., Cox, J.W., Mallants, D., Petrie, P.R., Oliver, D.P. y Pitt, T.R. (2020). Historical and future trends in evapotranspiration components and irrigation requirement of winegrapes. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 26(4), 312-324. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12446>
- Poni, S., Sabbatini, P. y Palliotti, A. (2022). Facing spring frost damage in grapevine: recent developments and the role of delayed winter pruning a review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 73(4), 211-249. <https://doi.org/10.5344/ajev.2022.22011>
- Quénol, H., Garcia, I., Bois, B., Sturman, A., Bonnardot, V. y Le Roux, R. (2017). Which climatic modeling to assess climate change impacts on vineyards?. *OENO One*, 51(2), 91-97. DOI: 10.20870/oeno-one.2016.0.0.1869
- Quijano, M. (2009). Viticultura tropical a gran altitud. Condiciones y expresiones del terroir. *Cultura científica*, (7), 61-68. https://revista.jdc.edu.co/index.php/Cult_cient/article/view/247
- Ruiz, L., Romero, P., Tomel, M., Menéndez, C.M., Cabello, F. y Martínez, A. (2018). La viticultura frente al cambio climático: adaptación y estrategias de mejora. *Libros y partes de libros*, 5, 165-196. <https://digital.csic.es/handle/10261/194670>
- Ruiz, Y. (2014). Elicitores: una herramienta para incrementar el color y el aroma de uvas y vinos (tesis doctoral). Universidad de Murcia, Murcia, España. <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/42708>
- Salazar, C. y Reyes, M. (2020). Efectos del cambio climático en la vitivinicultura y alternativas para asegurar la sustentabilidad y calidad del viñedo en el Valle Central. *Tierra Adentro*, (112), 38-41. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/67224/NR41909.pdf?sequence=13&isAllowed=y>
- Salazar-Parra, C., Macias, J., Reyes, M. y Peppi, C. (2023). Efecto de la temperatura y la poda tardía sobre la fisiología y calidad del cv. Merlot en el Valle Central de Chile. *BIO Web of Conferences*, 56, 1-8. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20235601033>
- Salazar-Parra, C., Reyes, M. y Peppi, C. (2024). Poda tardía: ¿una alternativa de adaptación de la viticultura al cambio climático. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 14(8), 1-8. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i8.3167>
- Sánchez, J. (2013). Tendencias innovadoras de la uva de mesa en la Región de Murcia (trabajo de fin de grado). Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España. <https://repositorio.upct.es/entities/publication/bda5715c-cfbd-42e2-8203-98c8aa350bd7>
- Santos, J., Malheiro, A., Pinto, J. y Jones, G. (2013). Macroclimate and viticultural zoning in Europe: observed trends and atmospheric forcing. *Clim Res*, 51(1), 89-193. <https://doi.org/10.3354/cr01056>
- Savé, R., de Herralde, F., Alsina, M.M., Aranda, X., Biel, C., Nadal, M. y Smart, D.R. (2008). Potenciales vulnerabilidades de la viña en el Priorato frente al cambio global. *ACE: Revista de enología*, (95), 2. https://www.acenologia.com/ciencia95_2/
- Sirnik, I., Quenol, H., Jiménez-Bello, M.A., Manzano, J., Welsh, C.M., Ochoa, C.A. y Le Roux, R. (2018). Cambio climático en viticultura: modelización futura del clima. En Hernández, N., Ruelas, L.C. y Nava, M.E. (Eds), *Sustentabilidad del desarrollo: desafíos y propuestas* (175-196). Secretaría de Educación de Veracruz. https://www.researchgate.net/profile/Igor-Sirnik/publication/329090112_Cambio_climatico_en_viticultura_modelizacion_futura_d_el_clima/links/5c0a8057a6fdcc494fe0c85c/Cambio-climatico-en-viticultura-modelizacion-futura-del-clima.pdf#page=175

Sotés, V. (2011). Avances en viticultura en el mundo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33(1), 131-143. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500016>

Sotés, V. (2017). Evolución climática y previsiones para el sector vitivinícola. Adaptación del viñedo. En G. de Aranzabal (Presidente), Próximos retos de la viticultura. Conferencia llevada a cabo en el XII Encuentro Técnico, Madrid, España. https://culturadelvino.org/wp-content/uploads/encuentro_2017.pdf#page=7

Talaverano, M.I. (2017). Mejora de la calidad de uvas y vinos en Extremadura mediante técnicas vitícolas (tesis doctoral). Universidad de Extremadura, Badajoz, España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=139236>

Tonietto, J. y Carbonneau, A. (2004). A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124(1-2), 81-97. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.06.001>

Trouvelot, S., Bonneau, L., Redecker, D., Tuinen, D., Adrian, M. y Wipf, D. (2015). Arbuscular mycorrhiza symbiosis in viticulture: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 1449-1467. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0329-7>

Valentín, F., López-Urrea, R., Martínez, L., Intrigliolo, D.S., Martínez, A. y Buesa, I., Sánchez, J.M. (2018). Efecto de distintos tratamientos hídricos sobre la evapotranspiración del cultivo de la vid. En H. Medrano, J.M. Escalona, J.M. Bota, F. de Herralde y B. Escutia (Presidencia), Jornadas del Grupo de Viticultura y Enología de la SECH. Conferencia llevada a cabo en la III Jornadas del Grupo de Viticultura: Libro de actas, Islas Baleares, España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8480183>

Van Leeuwen, C., Destrac-Irvine, A., Dubernet, M., Duchêne, E., Gowdy, M., Marguerit, E., Pieri, P., Parker, A., Rességuier, L. y Ollat, N. (2019). Aun update on the impact of climate change in viticulture and potential adaptations. *Agronomy*, 9(9), 1-20. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090514>

Zheng, W., García, J., Balda, P. y Martínez, F. (2017). Effects of late winter pruning at different phenological stages on vine yield components and berry composition in La Rioja, North-central Spain. *OENO One*, 51(4), 363-372. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2017.51.4.1863>