Universidad de **Valladolid**
Campus de **Palencia**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Grado en Enología

Tratamientos del viñedo con caolín pueden mejorar la calidad de la uva Verdejo en el contexto del cambio climático

Alumno/a: Alejandro Benito Arribas

Tutor/a: Mª Rosa González García

Cotutor/a: José Manuel Rodríguez Nogales

Palencia, 2024

Índice

Resumen 2
Abstract 3
1. Introducción 4
1.1. El equilibrio vegetativo del viñedo y la calidad de la uva 4
1.2. Impacto del cambio climático en la viticultura 4
1.3. Efectos del cambio climático en la calidad de la uva y del vino 5
1.4. Medidas de adaptación y de mitigación frente al cambio climático 6
1.5. Aplicación de caolín al viñedo como estrategia frente al cambio climático 7
2. Objetivos 9
3. Materiales y métodos 10
3.1. Zona de estudio 10
3.2. Diseño experimental 10
3.3. Condiciones meteorológicas en la zona de estudio 11
3.4. Controles y observaciones en campo 11
3.4.1. Estado hídrico de la planta 11
3.4.2. Actividad fotosintética 12
3.4.3. Rendimiento y vigor 12
3.5. Microvinificaciones 12
3.6. Análisis de mosto y vino 13
3.6.1. Análisis del mosto 13
3.6.2. Análisis del vino 15
3.7. Análisis estadístico 16
4. Resultados y discusión 17
4.1. Vigor y rendimiento 17
4.2. Estado hídrico y rendimiento fotosintético 17
4.3. Temperatura de la hoja 19
4.4. Composición del mosto 19
4.5. Composición del vino 21
5. Conclusiones 23
6. Referencias bibliográficas 24

Resumen

El cambio climático plantea desafíos significativos para la viticultura, afectando tanto el rendimiento como la calidad de las uvas. Entre los efectos más destacados se encuentran el adelanto de las etapas fenológicas, el aumento del estrés térmico, y la reducción en la acumulación en la uva de compuestos esenciales para la calidad del vino. Este trabajo evaluó el efecto del tratamiento con caolín en viñedos de la variedad Verdejo, cultivados en la Denominación de Origen Rueda, bajo un clima continental extremo.

Los tratamientos de caolín se aplicaron entre el cuajado y el envero, evaluándose parámetros fisiológicos, agronómicos y enológicos. Los resultados mostraron que el caolín redujo significativamente la temperatura foliar y mejoró el estado hídrico y la eficiencia fotosintética, sin afectar notablemente el vigor ni el rendimiento. En cuanto a la composición del mosto, se observaron incrementos en la acidez total y el índice de polifenoles totales, mientras que en el vino final las diferencias en los parámetros medidos fueron mínimas.

Estos resultados suponen que el caolín como una herramienta útil para mitigar los efectos adversos del cambio climático en el viñedo, optimizando la composición del mosto y manteniendo la calidad del vino.

Abstract

Climate change poses significant challenges for viticulture, affecting both grape yield and quality. Among the most notable effects are the advancement of phenological stages, increased thermal stress, and reduced accumulation in grapes of compounds essential for wine quality. This work evaluated the effect of kaolin treatment in Verdejo vineyards, grown in the Rueda Designation of Origin, under an extreme continental climate.

Kaolin treatments were applied between fruit set and veraison, evaluating physiological, agronomic and oenological parameters. The results showed that kaolin significantly reduced leaf temperature and improved water status and photosynthetic efficiency, without significantly affecting vigor or yield. Regarding the composition of the must, increases were observed in total acidity and the total polyphenol index, while in the final wine, the differences in the measured parameters were minimal.

These results suggest that kaolin is a useful tool to mitigate the adverse effects of climate change in the vineyard, optimizing the composition of the must and maintaining the quality of the wine.

1. Introducción

1.1. El equilibrio vegetativo del viñedo y la calidad de la uva

El equilibrio vegetativo del viñedo es un concepto central en la viticultura (Keller, 2015). Según Hidalgo (2002), este equilibrio se manifiesta en tres componentes principales: el rendimiento, que incluye la cantidad de uva producida; la madera, que refleja el desarrollo estructural de la planta; y la calidad, vinculada a la concentración de azúcares, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos en las bayas. Mantener este balance es esencial para maximizar tanto la productividad como la calidad del vino, especialmente en variedades emblemáticas como la Verdejo, que caracteriza a la Denominación de Origen Rueda.

El rendimiento del viñedo y el vigor de las plantas son indicadores clave de la salud y el potencial de las vides. Por ejemplo, un exceso de vigor puede generar condiciones de sombreado que comprometen la fotosíntesis y la acumulación de compuestos aromáticos en las uvas (Smart y Robinson, 1991). En cambio, un vigor insuficiente puede limitar la capacidad de las plantas para enfrentar condiciones de estrés hídrico y térmico, afectando tanto la producción como la calidad del fruto. Por ello, la gestión del viñedo requiere una estrategia precisa, que contemple tanto los factores internos de la planta como las condiciones externas del entorno.

La calidad del vino, que resulta de la interacción entre la fisiología de la vid y las prácticas agronómicas, está relacionada con parámetros como la composición del mosto y las características organolépticas finales del producto. En este contexto, prácticas de manejo como la poda, el control del dosel foliar y la aplicación de tratamientos específicos se han consolidado como herramientas efectivas para optimizar el potencial del viñedo y asegurar la sostenibilidad del cultivo (Choné et al., 2001).

En definitiva, el análisis detallado de los aspectos fisiológicos y agronómicos del viñedo resulta, por tanto, una herramienta indispensable para comprender y mejorar los procesos que conducen a la elaboración de vinos de excelencia.

1.2. Impacto del cambio climático en la viticultura

El cambio climático representa uno de los mayores desafíos para la agricultura a nivel global, y la viticultura no es ajena a sus efectos adversos (Diffenbaugh et al., 2011). Este fenómeno, derivado principalmente del aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, ha provocado un incremento significativo en las temperaturas promedio, alteraciones en los patrones de precipitaciones y una mayor frecuencia de eventos climáticos extremos (Bernstein et al., 2008). Estas modificaciones están afectando de manera directa los ciclos fenológicos de la vid, la disponibilidad hídrica y la calidad de la uva, comprometiendo la sostenibilidad del sector.

Entre los factores clave que agravan este impacto se encuentra el incremento de las temperaturas globales. Según Jones et al. (2005), las regiones vitivinícolas han

experimentado un aumento promedio de 1,3 °C en las últimas décadas, lo que ha generado una aceleración en las etapas fenológicas de la vid, como la brotación, la floración y la maduración. Este adelanto no solo afecta el balance entre azúcar y acidez en las uvas, sino que también reduce el tiempo disponible para la acumulación de compuestos fenólicos y aromáticos esenciales para la calidad del vino.

Por otro lado, la disponibilidad hídrica, un recurso crucial para la viticultura, se ha visto gravemente afectada por la disminución de las precipitaciones y el aumento de la evapotranspiración. En regiones mediterráneas, como España, estas condiciones han intensificado el estrés hídrico en las vides, reduciendo su capacidad fotosintética y, en consecuencia, su rendimiento. Estudios como el de Schultz (2000) demuestran que la escasez de agua durante etapas críticas del desarrollo de la vid puede resultar en una disminución significativa del tamaño de los racimos y la cantidad de uva producida.

El incremento de la frecuencia de eventos climáticos extremos, como olas de calor, lluvias torrenciales y granizadas, pone en riesgo no solo la calidad de la uva, sino también la infraestructura de los viñedos. Según Hannah et al. (2013), estas condiciones extremas han llevado a una mayor incidencia de enfermedades y plagas en los cultivos, así como a una mayor necesidad de adaptaciones agronómicas para mitigar sus efectos.

1.3. Efectos del cambio climático en la calidad de la uva y del vino

El cambio climático no solo afecta el desarrollo fenológico de la vid y su rendimiento, sino que también tiene un impacto directo en la calidad de la uva, que conlleva una modificación en las características sensoriales del vino. Estas alteraciones están relacionadas con el aumento de las temperaturas, la disponibilidad hídrica limitada y los cambios en las condiciones climáticas durante las etapas críticas del ciclo de maduración.

Uno de los efectos más destacados es el aumento de la concentración de azúcares en las uvas debido a la aceleración de la maduración causada por temperaturas más altas. Este fenómeno genera mostos con un potencial alcohólico elevado y desequilibra la relación entre azúcar y acidez, lo que afecta a la frescura y estructura del vino (Sadras y Moran, 2012). A medida que las temperaturas diurnas aumentan, se produce una mayor respiración de los ácidos orgánicos, como el málico, lo que resulta en una disminución de la acidez total de las uvas. Según Mira (2010), esta pérdida de acidez es especialmente perjudicial en variedades blancas, donde la frescura es una propiedad clave.

Además, las temperaturas nocturnas más cálidas limitan la acumulación de compuestos aromáticos y fenólicos en las bayas (Duchêne y Schneider, 2005). Estudios realizados por Jones et al. (2005) revelan que las noches frescas son esenciales para la concentración de compuestos volátiles responsables de los aromas característicos de las variedades blancas, como la Verdejo. Estos desequilibrios en la composición química de las uvas afectan a la calidad organoléptica del vino, disminuyendo su capacidad de envejecimiento y perjudicando a su perfil sensorial.

El déficit hídrico, también influye en la composición de las uvas. Mientras que un estrés hídrico moderado puede concentrar ciertos compuestos beneficiosos, un estrés excesivo reduce el tamaño de las bayas, la extracción de mosto y la acumulación de polifenoles esenciales para la estabilidad y el color del vino (Schultz, 2000). En variedades tintas, este efecto es aún más crítico, ya que la síntesis de antocianos y taninos se ve directamente afectada por la falta de agua durante la maduración.

Finalmente, la exposición prolongada a radiación solar intensa y temperaturas altas puede provocar quemaduras solares en la piel de las bayas. Este fenómeno no solo afecta el aspecto visual de las uvas, sino que también altera la composición fenólica, disminuyendo la estabilidad cromática del vino (Shellie y King, 2013).

1.4. Medidas de adaptación y de mitigación frente al cambio climático

Los efectos del cambio climático sobre la calidad del vino hacen necesario desarrollar estrategias específicas para adaptar los viñedos a las nuevas condiciones climáticas y garantizar la sostenibilidad de la producción vitivinícola. Entre las estrategias vitícolas a corto plazo se incluyen prácticas agronómicas como las que se comentan a continuación.

El desarrollo y selección de variedades y portainjertos más resistentes al calor y a la sequía constituye una estrategia clave para mitigar a largo plazo los efectos del cambio climático (Ollat et al., 2016). Las variedades autóctonas han demostrado una mayor capacidad de adaptación a las condiciones locales, por lo que es interesante el estudio de los recursos genéticos regionales (Van Leeuwen y Destrac-Irvine, 2017).

El manejo del canopy es una herramienta fundamental para regular la exposición de los racimos a la radiación solar (Martínez-Lüscher et al., 2016; Poni et al., 2004). La modificación de las formas de conducción y el tipo de poda pueden permitir proteger los racimos del exceso de luz, favoreciendo la acumulación de compuestos aromáticos y fenólicos esenciales para la calidad del vino (Smart y Robinson, 1991). También destaca el uso de mallas de sombreo, que ha demostrado ser efectivo en regiones con altas temperaturas al reducir la incidencia de estrés térmico sobre las plantas (Martínez-Lüscher et al., 2020).

Las cubiertas vegetales contribuyen a regular la temperatura del suelo y reducir la erosión. Además, estas cubiertas aumentan la biodiversidad del suelo y promueven la captura de carbono, ayudando a mitigar los efectos del cambio climático (Monteiro y Lopes, 2007; Lanyon et al., 2004).

La aplicación de tecnologías avanzadas en la viticultura, como drones, sensores remotos y sistemas de monitorización, ha permitido una gestión más precisa y eficiente de los viñedos. Estas herramientas facilitan la identificación temprana de problemas asociados

al estrés hídrico o térmico y permiten optimizar el uso de recursos como el agua y los fertilizantes (Fernandes et al., 2021; Monteiro y Lopes, 2007).

1.5. Aplicación de caolín al viñedo como estrategia frente al cambio climático

La aplicación de partículas de caolín sobre la vegetación como protector foliar, ha emergido como una herramienta eficaz y sostenible para enfrentar el estrés térmico y la radiación solar excesiva en el viñedo (Dinis et al., 2016; Glenn y Puterka, 2005). Este mineral natural, ampliamente disponible y químicamente inerte, forma una película reflectante sobre las hojas y racimos que contribuye a mejorar el comportamiento fisiológico de la vid en condiciones climáticas adversas (Shellie y King, 2013).

El caolín actúa principalmente al reflejar la radiación solar incidente, reduciendo la temperatura de la superficie foliar y, con ello, el estrés térmico que afecta la fotosíntesis y la transpiración (Glenn y Puterka, 2005). Al disminuir la temperatura de las hojas, se mejora la eficiencia del fotosistema II, lo que resulta en una mayor capacidad fotosintética de las plantas tratadas (Dinis et al., 2016). Además, el caolín puede limitar la pérdida de agua por transpiración, favoreciendo el mantenimiento del estado hídrico en condiciones de déficit hídrico severo.

El tratamiento con caolín puede tener un impacto significativo en la composición de las bayas, mejorando parámetros clave para la calidad del vino (Percival et al., 2009). Varias investigaciones han revelado un aumento en el contenido de polifenoles y compuestos antioxidantes en uvas tratadas, lo que contribuye a una mayor estabilidad cromática y a un mejor perfil organoléptico del vino (Brillante et al., 2016; Glenn y Puterka, 2005; Shellie y King, 2013). También, el caolín ha demostrado su capacidad para preservar la acidez en las uvas en condiciones de calor extremo (Dinis et al., 2016; Salgado, 2021).

En relación con el vino, el impacto del caolín no siempre se traduce en cambios notables, dependiendo de factores como la variedad, el clima y las prácticas enológicas aplicadas. (Salgado, 2021).

La aplicación de caolín se realiza generalmente en forma de suspensión acuosa que se pulveriza sobre las hojas y los racimos de la vid. Esta técnica debe ser implementada durante las etapas del ciclo vegetativo donde se registran las temperaturas más altas del verano, entre el cuajado y el envero, para maximizar su efectividad. Además, es importante asegurar una cobertura uniforme de las hojas y racimos, especialmente en viñedos de espaldera, donde la orientación y densidad del dosel foliar pueden influir en la distribución del producto (Dinis et al., 2020).

En caso de que se den precipitaciones posteriores al tratamiento, es recomendable repetir la aplicación para garantizar la persistencia de la película protectora.

A pesar de sus beneficios, la aplicación de caolín también presenta ciertas limitaciones. Su efectividad puede variar dependiendo de las condiciones climáticas y las prácticas de manejo del viñedo (Glenn y Puterka, 2005; Shellie y King, 2013), y su uso debe ser evaluado cuidadosamente en variedades de uva con pieles más delicadas, donde el exceso de producto podría interferir en la maduración uniforme de las bayas (Brillante et al., 2016; Salgado, 2021).

Existen evidencias científicas que respaldan el potencial del caolín como una solución sostenible frente al cambio climático. Futuras investigaciones deberían centrarse en optimizar las dosis, frecuencias de aplicación en variedades y zonas de cultivo concretas, así como en su combinación con otras estrategias agronómicas.

2. Objetivos

El objetivo principal de este estudio es evaluar el impacto del tratamiento con caolín en la calidad de la uva Verdejo en un entorno de clima continental, en el contexto del cambio climático. Para abordar este objetivo general, se han establecido los siguientes objetivos específicos:

1. Evaluar el efecto del caolín sobre la temperatura de las hojas, el potencial hídrico foliar y el rendimiento fotosintético de las vides.

2. Determinar el impacto del caolín en la composición y calidad de la uva y el vino Verdejo.

3. Materiales y métodos

3.1. Zona de estudio

El experimento se realizó durante el año 2022 en un viñedo ubicado en el municipio de La Seca (Valladolid, España), una de las principales zonas productoras de uva Verdejo dentro de la Denominación de Origen Rueda. La parcela experimental está situada a una altitud de 725 m sobre el nivel del mar y sus coordenadas geográficas son 41°26'49" N y 4°52'01" O. El viñedo se caracteriza por utilizar el portainjerto 110-Richter, un patrón vigoroso y resistente a la sequía. El diseño del viñedo en espaldera se traduce en un doble guyot con un marco de plantación de 3x1,5 m, lo que resulta en una densidad de plantación de 2.222 plantas/ha. La carga de yemas es de aproximadamente 35.000 yemas/ha. Los suelos del viñedo son pobres en nutrientes, con una alta proporción de cantos rodados y material calizo. Las labores de cultivo son las habituales en la zona.

El sistema de riego empleado es por goteo. Durante todo el ciclo de crecimiento, las plantas recibieron un aporte de agua equivalente al 30% de la evapotranspiración de referencia.

El clima de la región es de tipo continental, caracterizado por inviernos fríos y veranos calurosos, con grandes variaciones térmicas diarias, lo que favorece la acidez y frescura de los vinos. La pluviometría anual es baja, con una distribución irregular de las precipitaciones que en 2022 fue particularmente extrema, presentando meses sin lluvia y otros con precipitaciones intensas.

3.2. Diseño experimental

Para evaluar el efecto del tratamiento con caolín en las viñas de Verdejo, se implementó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las parcelas elementales se dividieron en dos grupos: viñas tratadas con caolín (K) y un grupo de control (C) sin tratamiento.

Se realizaron tres aplicaciones de caolín a los 21, 53 y 66 días después de plena floración (3 de junio), entre el cuajado y el envero de los frutos. Se utilizó el producto comercial Surround WG® (BASF Agricultural Solutions, Barcelona, España), que contiene partículas de caolín. Se aplicó una solución de este producto al 5% p/v en ambos lados de la espaldera, de manera que cubriese toda la parte foliar y los racimos. Antes de las aplicaciones, se realizó un leve deshojado en la zona de los racimos para facilitar el tratamiento de los frutos.

En el caldo de la primera aplicación se añadió una solución de caolín con un 0,05% de un mojante no iónico, Agral® (Syngenta Agro, Madrid, España), para asegurar una adecuada adherencia del caolín a las hojas y frutos, mientras que, en el grupo de control, se utilizó un tensioactivo más iónico junto con agua.

3.3. Condiciones meteorológicas en la zona de estudio

El año 2022 se caracterizó por condiciones meteorológicas extremas que reflejan los efectos del cambio climático en la región de estudio. Se registraron temperaturas máximas absolutas de hasta 40,5 °C en julio y 37,5 °C en agosto, superando ampliamente los promedios históricos de la última década (Tabla 1). Las medias de mínimas nocturnas fueron elevadas, como los 9,2 °C en julio frente a los 8,1 °C del promedio histórico.

En cuanto a las precipitaciones, el verano presentó un marcado déficit hídrico, con acumulaciones de agua muy por debajo de la media histórica. Por ejemplo, en junio y julio se registraron tan solo 5,5 mm y 0 mm, respectivamente, en contraste con los valores promedio de 17,2 mm y 6,8 mm para estos meses en la última década. Las precipitaciones anuales estuvieron desigualmente distribuidas, concentrándose en otoño e invierno.

Tabla 1 Valores medios mensuales de temperatura máxima absoluta (T max abs), máxima (T Max), mínima (T Min), mínima absoluta (T min abs), media (T Med) (°C) y precipitación (P, en mm) recogidas por la Agencia Estatal de Meteorología durante el 2022

Mes	***Ene***	***Feb***	***Mar***	***Abr***	***May***	***Jun***	***Jul***	***Ago***	***Sep***	***Oct***	***Nov***	***Dic***
T max abs	17,4	17,3	18,0	23,5	33,4	37,4	40,5	37,5	34,4	28,6	18,9	14,4
T Max	10,8	13,7	13,0	16,4	25,1	28,5	34,3	32,6	25,3	22,9	14,2	10,6
T Media	3,8	6,2	8,3	10,1	17,8	20,9	25,3	24,2	18,0	16,1	9,3	7,2
T Min	-1,7	-0,3	4,0	4,1	10,3	12,8	15,5	15,8	11,4	10,4	5,0	4,2
T min abs	-6,1	-5,1	-2,0	-4,6	4,8	6,5	9,2	10,4	4,4	5,7	-0,5	-4,2
P	7,9	6,0	60,2	39,6	11,8	5,5	0,0	21,2	6,6	61,5	41,0	81,3
T max abs	14,1	17,1	21,2	24,9	29,5	35,5	36,3	36,4	33,1	27,1	19,9	15,1
T Max	8,3	10,8	13,0	17,5	22,0	26,8	30,8	30,3	26,2	20,3	12,5	8,8
T Media	3,8	5,1	8,0	11,3	15,1	19,3	22,5	22,0	18,2	13,2	7,6	4,4
T Min	0,2	0,1	3,5	5,4	8,2	11,7	14,0	13,7	11,0	7,1	3,5	0,7
T min abs	-5,8	-4,8	-3,0	-0,3	2,5	5,5	8,1	8,1	5,5	0,2	-2,9	-5,7
P	29,9	21,1	36,0	41,4	22,1	17,2	6,8	4,2	18,0	34,4	35,1	30,0

3.4. Controles y observaciones en campo

Se realizó un seguimiento fenológico para determinar la fecha de aplicación de los tratamientos.

3.4.1. Estado hídrico de la planta

Se realizaron mediciones del potencial hídrico foliar del tallo al mediodía (13:00-15:00 horas) en hojas adultas de la cara sombreada de la espaldera. Las hojas se embolsaron previamente con papel de aluminio durante al menos 1,5 horas antes de las mediciones. Las medidas se llevaron a cabo en dos hojas por parcela elemental, utilizando una cámara de presión tipo Scholander (Williams y Araujo, 2002). Los valores se expresaron en megapascales (MPa).

Las mediciones se llevaron a cabo en dos momentos clave del ciclo vegetativo: 21 días después de plena floración (DDPF), equivalente al 24 de junio, y 69 DDPF, el 11 de agosto, coincidiendo con las etapas de cuajado y envero, respectivamente.

3.4.2. Actividad fotosintética

La actividad fotosintética de las plantas se evaluó mediante la medición de diversos parámetros fisiológicos clave como la conductancia estomática (g_s), la asimilación neta de CO_2 (A_{net}, μmol $CO_2/m^2/s$), la temperatura de la hoja y del ambiente (ºC), la transpiración (mmol $H_2O/m^2/s$) y medidas de fluorescencia clorofílica. Para estas mediciones se utilizó un analizador de gases por infrarrojos (IRGA) portátil (LiCor-6400) equipado con una cámara de fluorescencia. Las mediciones se realizaron en hojas expuestas al sol en días despejados, entre las 11:00 y 13:00 horas solares, en hojas adultas del pámpano principal (Fernandes et al., 2021).

Los parámetros de fluorescencia que se controlaron fueron la fluorescencia basal (F0), máxima eficiencia cuántica del fotosistema II (Fv/Fm), fluorescencia máxima (F_m), eficiencia efectiva de PSII (ϕPS2), extinción fotoquímica (qP), extinción no fotoquímico (qN), velocidad de transporte de electrones (ETR, μmol/m^2/s).

3.4.3. Rendimiento y vigor

El momento de la vendimia se estableció cuando la uva alcanzó 21,5 º Brix. realizando las mediciones con un refractómetro, usando en cada muestra 32 bayas por tratamiento y repetición. Una vez vendimiada la uva, se transportó al edificio de Enología de la ETSIIAA y se congeló a -20 ºC para su posterior elaboración.

El rendimiento de las plantas se evaluó en plena vendimia mediante la contabilización del número de racimos por cepa, el peso promedio de los racimos (g) y la producción total por planta (kg). Además, se tomaron muestras de 100 bayas al azar de cada parcela para controlar su peso (g) y analizar la composición del mosto. De la cosecha de cada tratamiento se tomaron al azar 20 kg de uva por tratamiento para la vinificación.

El vigor de las plantas se estimó a través del peso de la madera de poda (g) y el número medio de sarmientos por cepa, con las mediciones realizadas.

3.5. Microvinificaciones

La uva de cada repetición se congeló a -20 ºC en la cámara del edificio de Enología. Las vinificaciones se realizaron todas juntas una vez vendimiado todo el ensayo. Antes de procesar la uva, se descongeló durante 48 horas en la cámara de refrigeración a 6 ºC.

Las microvinificaciones se llevaron a cabo siguiendo el procedimiento de vinificación tradicional en blanco. Para ello, se tomaron aproximadamente 20 kg de uva de cada muestra, se despalillaron y estrujaron, y el resultado se introdujo en la prensa neumática,

trabajando a una presión máxima de 1,5 bar. Del mosto resultante de cada repetición se recogieron dos tubos Falcon, que se conservaron a 4 ºC hasta su análisis. Por otro lado, se tomó un peso de 7,5 kg/repetición de mosto y se sulfitó a 40 mg/L de sulfuroso total mediante la adición de metabisulfito potásico.

El mosto sulfitado se desfangó a 4 ºC durante 24 horas. Posteriormente, se realizó un trasiego del mosto limpio a recipientes de acero inoxidable de 20 L de capacidad para realizar la fermentación alcohólica.

Se empleó una levadura comercial de *Saccharomyces cerevisiae* (Zymaflore Spark, Laffort) a una concentración de 30 g/hL. Se siguió el protocolo de rehidratación, acondicionamiento y dosificación marcado por el fabricante. La siembra de levaduras y la posterior fermentación tuvieron lugar dentro de una cámara a 17 ºC. Se realizó un seguimiento y control diario de la fermentación, que duró entre 12 y 15 días. La fermentación se dio por concluida cuando los mostos alcanzaron una densidad menor a 995 g/L, una vez comprobado que esta lectura se repetía durante al menos dos días consecutivos.

Concluida la fermentación, se realizó un trasiego a un recipiente intermedio para eliminar las lías procedentes de la fermentación. El vino se introdujo en tarros de vidrio de 4 L, corrigiendo el sulfuroso libre hasta 40 mg/L. Los recipientes se cerraron sin dejar cámara de aire para evitar posibles oxidaciones.

La estabilización de los vinos se llevó a cabo manteniéndolos durante un mes a 8 ºC. Pasado este tiempo, se trasegaron y se corrigió el sulfuroso libre hasta 40 mg/L. A las 24 horas de la corrección, se procedió al embotellado en botellas de vidrio de 750 mL.

3.6. Análisis de mosto y vino

Todos los análisis se llevarán a cabo por triplicado, en los laboratorios de Viticultura y Enología de la ETS de Ingenierías Agrarias de Palencia.

3.6.1. Análisis del mosto

Los análisis realizados en el mosto son los siguientes:

a) Grado Brix

El grado Brix, que mide la concentración de azúcares en el mosto, se determinó mediante un refractómetro digital calibrado. Este parámetro es esencial para estimar el potencial alcohólico del vino, ya que refleja la cantidad de azúcares fermentables presentes (OIV, 2020). El valor de Brix se expresa como el porcentaje de sacarosa (g de sacarosa por 100 g de solución).

b) pH

El pH del mosto se midió utilizando un pH-metro previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4 y 7 (OIV, 2020).

c) Acidez total (AT)

La acidez total se evaluó mediante una titulación potenciométrica con NaOH 0,1N hasta alcanzar un pH de 7, siguiendo el método oficial de la OIV (2020). Este valor se expresó en g/L de ácido tartárico.

d) Ácido málico

El contenido de ácido málico se analizó utilizando un método enzimático basado en la reacción catalizada por la malato deshidrogenasa, donde el ácido málico se transforma en oxaloacetato con la reducción concomitante de NAD^+ a NADH. La cantidad de NADH formada se cuantificó espectrofotométricamente a 340 nm (Caffarra et al., 2012).

e) Ácido tartárico

El ácido tartárico se determinó utilizando el método Rebelein modificado, que implica la precipitación del ácido tartárico en forma de bitartrato de calcio y la posterior titulación con permanganato de potasio para calcular su concentración (OIV, 2020).

f) Potasio (K)

Para medir su concentración, se empleó la técnica de fotometría de llama, donde el K de la muestra se excita al ser introducido en una llama, y la luz emitida en una longitud de onda específica (766 nm) es proporcional a su concentración (OIV, 2020).

g) Nitrógeno fácilmente asimilable (NFA)

El NFA se determinó bloqueando las funciones amínicas de los aminoácidos mediante la adición de aldehído fórmico. Los grupos carbonilo no reaccionantes se valoraron por acidimetría utilizando NaOH, proporcionando una estimación precisa del nitrógeno disponible para las levaduras durante la fermentación (Aerny, 1996).

h) Índice de polifenoles totales (IPT)

El IPT, que refleja la concentración de compuestos fenólicos en el mosto, se determinó mediante espectrofotometría a 280 nm, siguiendo el método descrito por Zamora (2003).

i) Parámetros de color

Los parámetros de color del mosto se evaluaron utilizando el sistema CIELAB, que mide las coordenadas cromáticas: luminosidad (L*), croma (C*) y tonalidad (H*). Las absorbancias se registraron en distintas longitudes de onda (450, 520, 570 y 630 nm), y los cálculos se realizaron utilizando software específico para análisis de color (Gilabert, 1998).

3.6.2. Análisis del vino

a) Grado alcohólico (GA)

El grado alcohólico, que indica el porcentaje de etanol presente en el vino, se determinó utilizando un ebullómetro GAB. Este procedimiento se basa en las diferencias en el punto de ebullición entre el agua y el etanol en función de la concentración alcohólica. El método permite una estimación precisa del contenido de alcohol en volumen (% v/v) (García., 2000).

b) pH

El pH del vino se midió utilizando un medidor de pH calibrado, siendo los valores típicos de pH en vinos blancos y tintos entre 3,0 y 3,8.

c) Acidez total (AT)

La acidez total en los vinos terminados se midió mediante el mismo método de titulación potenciométrica utilizado en el mosto, expresada en g/L de ácido tartárico. (OIV, 2020).

d) Acidez volátil (AV)

La acidez volátil se determinó utilizando un volatímetro GAB que permite la determinación de la acidez volátil en vinos según el método García-Tena, expresada en g/L de ácido acético (García, 1990).

e) Índice de polifenoles totales (IPT)

Como en el mosto, el contenido de polifenoles totales en los vinos terminados se midió a 280 nm, siguiendo el método descrito por Zamora (2003).

f) Anhídrido sulfuroso

El anhídrido sulfuroso total y libre se determinó mediante el método de Ripper, un procedimiento basado en una reacción de óxido-reducción entre el SO_2 y el yodo en un medio ácido (OIV, 2020).

g) Parámetros de color

Los parámetros de color del vino se analizaron utilizando el sistema CIELAB, que proporciona una descripción tridimensional basada en coordenadas de luminosidad (L*), croma (C*) y tonalidad (H*). Las absorbancias se midieron en distintas longitudes de onda (420, 520, 570 y 620 nm), y los cálculos se realizaron con un software especializado en análisis de color (Gilabert, 1998).

h) Índice DPPH (DPPH)

El índice DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) se utilizó para evaluar la capacidad antioxidante del vino. Este método se basa en la decoloración de una solución de DPPH cuando interactúa con antioxidantes presentes en el vino (Brand-Williams et

al., 1995). Se expresa en µmol de Trolox por litro de vino, comparando la actividad antioxidante del vino con la del Trolox (un análogo de la vitamina E).

3.7. Análisis estadístico

El tratamiento de los datos experimentales se realizó con el propósito de determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos aplicados y los controles. Las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba t de Student, con un nivel de significación del 5%.

4. Resultados y discusión

4.1. Vigor y rendimiento

Los resultados de la Tabla 2 indican que la aplicación de caolín no tuvo un efecto notable en el vigor ni en el rendimiento del viñedo bajo las condiciones del presente estudio.

Tabla 2 Valores del peso de 100 bayas, número de racimos por cepa, peso medio de los racimos, rendimiento, índice de fertilidad y peso de la madera.

Parámetros	***Testigo***	***Caolín***	***Significación***
Peso 100 bayas (g)	166,82 ± 7,04	171,63 ± 22,60	ns
Racimos por cepa	38,28 ± 3,31	40,72 ± 3,71	ns
Peso medio racimo (g)	190,66 ± 17,13	190,15 ± 6,39	ns
Kg uva/ha	16222,84 ± 2096,72	17196,30 ± 1465,72	ns
Índice fertilidad (Racimos por sarmiento)	1,76 ± 0,31	1,79 ± 0,22	ns
Peso madera planta (g)	7,90 ± 0,77	8,75 ± 1,70	ns

La ausencia de diferencias significativas en vigor y rendimiento podría estar relacionada con que el riego garantizó un estado hídrico adecuado, minimizando el efecto del estrés térmico y por exceso de iluminación. En otros estudios realizados en condiciones de secano, sí se han observado mejoras en la productividad del viñedo asociadas a la aplicación de caolín. (Glenn y Puterka, 2005; Salgado, 2021).

Estos resultados coinciden con los hallazgos de Shellie y King (2013), quienes reportaron que, si bien el caolín no influyó significativamente en los parámetros de rendimiento como el peso de racimos o el número de bayas en condiciones de riego, si se observaron mejoras bajo situaciones de estrés hídrico y térmico más severas.

Los resultados de este estudio fueron similares a los obtenidos en el mismo ensayo el año anterior (Salgado, 2021), tanto en el peso de 100 bayas como en el rendimiento total.

4.2. Estado hídrico y rendimiento fotosintético

El análisis de los parámetros relacionados con la fluorescencia de la clorofila y la fotosíntesis revela diferencias notables entre las plantas tratadas con caolín y el grupo testigo (Rosati et al., 2006), especialmente en la medida realizada 21 días después de plena floración (Tabla 3). En esta fecha las plantas tratadas con caolín mostraron mayores valores en parámetros como la eficiencia máxima del fotosistema II y la tasa de transporte de electrones. Estos resultados sugieren que el tratamiento con caolín mejora la capacidad fotosintética de las plantas en las primeras etapas del desarrollo del fruto al reducir el estrés lumínico y térmico sobre las hojas.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas del potencial hídrico (Tabla 3), aunque investigaciones previas han documentado que el caolín puede mejorar el

balance hídrico en climas cálidos al reducir la transpiración excesiva y la temperatura foliar en 1-3 °C (Shellie y King, 2013). Esta reducción térmica permite mitigar el impacto del estrés ambiental y contribuye a mantener el rendimiento fisiológico de las plantas (Glenn y Puterka, 2005).

Tabla 3 Valores de la fluorescencia mínima (F0), máxima (Fm) y la relación Fv/Fm, del transporte de electrones (ETR), la eficiencia del fotosistema II (PSII) y el potencial hídrico. Resultados para plantas tratadas con caolín y el grupo testigo 21 días después de plena floración (DDPF).

	21 DDPF		
Parámetros	***Testigo***	***Caolín***	***Significación***
F0	485,67 ± 46,44	503,50 ± 25,26	ns
fm	827,47 ± 155,44	937,37 ± 83,89	ns
fs	701,28 ± 131,84	772,63 ± 79,08	ns
Fv/Fm	0,41 ± 0,06	0,46 ± 0,02	ns
PSII	0,15 ± 0,00	0,18 ± 0,01	*
qP	0,38 ± 0,05	0,38 ± 0,04	ns
qN	1,69 ± 0,16	1,86 ± 0,08	ns
ETR	97,10 ± 2,31	112,33 ± 8,04	*
Potencial hídrico ψ(Mpa)	-0,72 ± 0,05	-0,75 ± 0,05	ns

**: diferencias significativas p < 0,05*

Tabla 4 Valores de la fluorescencia mínima (F0), máxima (Fm) y la relación Fv/Fm, del transporte de electrones (ETR) y la eficiencia del fotosistema II (PSII). Resultados para plantas tratadas con caolín y el grupo testigo 69 días después de plena floración (DDPF).

	69 DDPF		
Parámetros	***Testigo***	***Caolín***	***Significación***
F0	502,37 ± 98,88	506,37 ± 31,84	ns
fm	926,88 ± 247,44	885,78 ± 74,67	ns
fs	781,45 ± 237,14	732,47 ± 78,69	ns
Fv/Fm	0,45 ± 0,05	0,42 ± 0,02	ns
PSII	0,17 ± 0,03	0,17 ± 0,02	ns
qP	0,39 ± 0,10	0,41 ± 0,05	ns
qN	1,82 ± 0,15	1,76 ± 0,06	ns
ETR	106,81 ± 22,17	109,77 ± 11,31	ns

A los 69 DDPF (Tabla 4), aunque las diferencias entre tratamientos fueron menos marcadas, las plantas tratadas con caolín mantuvieron valores más altos de ETR.

La conexión entre estos resultados y la composición del mosto es clara: el mejor desempeño fotosintético en las plantas tratadas con caolín (Glenn et al., 2010) habría

contribuido a una mejor síntesis de compuestos fenólicos. Esto subraya la importancia de mantener la eficiencia fotosintética en condiciones de estrés climático.

4.3. Temperatura de la hoja

En este estudio, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en la temperatura de la hoja entre el tratamiento con caolín y el testigo. Estos resultados contrastan con otros estudios donde sí se encontraron diferencias significativas (Figura 1).

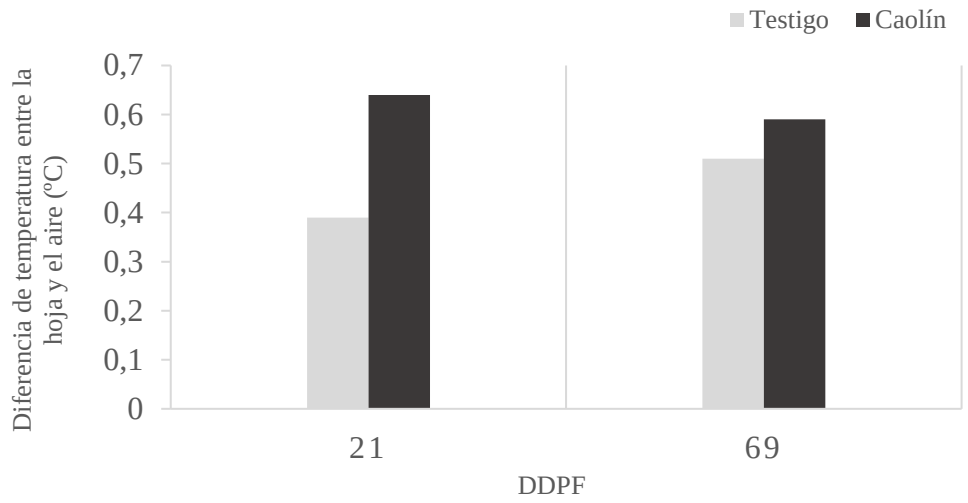

Figura 1 Comparación entre las diferencias de temperatura entre la hoja y el ambiente en las plantas tratadas con caolín y las del grupo testigo a 21 y 69 DDPF.

Por ejemplo, Glenn y Puterka (2005) demostraron que la aplicación de caolín redujo la temperatura foliar entre 1 y 3 °C en vides expuestas a altas temperaturas, lo que mejoró la eficiencia fotosintética al disminuir el estrés térmico. De forma similar, Salgado (2021) documentaron una reducción media de 2,5 °C en la temperatura foliar de plantas tratadas con caolín, especialmente en condiciones de radiación solar intensa y estrés térmico.

La ausencia de diferencias significativas en el presente trabajo podría estar relacionada con factores como la variabilidad en las condiciones meteorológicas de la campaña y las condiciones específicas del ensayo.

4.4. Composición del mosto

En los resultados obtenidos para la composición del mosto (Tabla 5), comparando los tratamientos testigo y caolín, destacan diferencias estadísticamente significativas en la AT y el IPT.

Tabla 5 Composición básica de los mostos procedentes de las muestras del viñedo testigo y tratado con caolín.

	Parámetros	***Testigo***	***Caolín***	***Significación***
Composición del mosto	pH	3,46 ± 0,11	3,43 ± 0,05	ns
	AT (g/L)	3,7 ± 0,3	4,1 ± 0,1	*
	Ácido málico (g/L)	1,4 ± 0,3	1,1 ± 0,2	ns
	Ácido tartárico (g/L)	1,1 ± 0,3	1,4 ± 0,4	ns
	K (mg/L)	1010 ± 111	1062 ± 48	ns
	NFA (mg/L)	166 ± 11	152 ± 23	ns
	IPT	8 ± 0	10 ± 1	*
Parámetros CIELAB	L*	90,76 ± 1,11	92,24 ± 1,88	ns
	C*	3,36 ± 0,62	4,03 ± 0,94	ns
	H*	94,67 ± 2,81	93,93 ± 2,05	ns
	a*	-0,31 ± 0,04	-0,28 ± 0,04	ns
	b*	3,34 ± 0,63	4,04 ± 0,93	ns

**: diferencias significativas $p < 0,05$*

El pH presentó valores similares entre ambos tratamientos, sin diferencias significativas. Este resultado concuerda con los estudios de Dinis et al. (2020), en variedades blancas. Por el contrario, la AT fue significativamente mayor en el mosto de plantas tratadas respecto al testigo. Este incremento ha sido documentado por Glenn y Puterka (2005), quienes señalaron que el caolín puede limitar la pérdida de ácidos orgánicos en la uva a lo largo de la maduración, bajo estrés térmico, favoreciendo una mayor acumulación de estos compuestos. Este efecto es valioso particularmente en variedades como Verdejo, cuya frescura dependen en gran medida de la acidez.

En cuanto al ácido málico, los niveles fueron menores en el mosto de las plantas tratadas con caolín en comparación con el testigo, aunque sin diferencia estadísticamente significativa. El contenido de ácido tartárico fue ligeramente superior en el tratamiento con caolín frente al testigo. Estudios como el de Brillante et al. (2016), reportaron que el caolín contribuye a la conservación de este ácido bajo condiciones de alta temperatura y radiación solar. Su preservación es clave para el equilibrio ácido del mosto, sobre todo en climas cálidos.

El contenido de K no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 5). Según Monteiro y Lopes (2007), los niveles de K en las uvas dependen más del manejo del suelo y las condiciones climáticas que de tratamientos foliares como el caolín. El NFA también presentó valores similares entre los tratamientos (Tabla 5). Sin embargo, Aerny (1996) señala que este parámetro puede estar influenciado por el estrés térmico durante la maduración de las uvas.

Por otro lado, el IPT mostró un incremento significativo en el tratamiento con caolín respecto al testigo. Este resultado coincide con los estudios de Shellie y King (2013),

quienes demostraron que el caolín favorece la acumulación de compuestos fenólicos en la uva al reducir el estrés oxidativo. Esta mejora es relevante para la calidad antioxidante del vino, lo que incrementa su estabilidad, y favorece su capacidad de envejecimiento.

Respecto a los parámetros de color del mosto, analizados mediante el sistema CIELAB, no se observaron diferencias estadísticamente significativas.

En general, los resultados obtenidos destacan la capacidad del caolín para incrementar la AT y el IPT, parámetros esenciales en la calidad del mosto para vinos blancos, al tiempo que otros componentes como el pH, el NFA o el K no se ven afectados. Estos resultados apoyan que el caolín pueda ser utilizado como herramienta para optimizar la composición del mosto en escenarios de estrés climático. No obstante, su impacto limitado en ciertos parámetros sugiere que su efectividad puede depender de factores adicionales, como las condiciones del viñedo y el manejo agronómico aplicado.

4.5. Composición del vino

Los resultados obtenidos en las microvinificaciones (Tabla 6) reflejan que los parámetros medidos no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos caolín y testigo.

Tabla 6 Parámetros de la composición del vino.

	Parámetros	***Caolín***	***Testigo***	***Significación***
Composición del vino	AT (g/L)	5,5 ± 0,1	5,4 ± 0,3	ns
	pH	3,72 ± 0,13	3,69 ± 0,15	ns
	IPT	6 ± 0	6 ± 1	ns
	GA (% v/v)	15,12 ± 1,23	13,42 ± 0,31	ns
	AV (g/L)	0,26 ± 0,09	0,24 ± 0,04	ns
	DPPH (µmol/L de Trolox)	0,39 ± 0,06	0,51 ± 0,15	ns
Parámetros CIELAB	L*	82,15 ± 2,17	83,65 ± 1,29	ns
	a*	0,21 ± 0,04	0,16 ± 0,11	ns
	b*	12,59 ± 0,11	12,14 ± 0,81	ns
	C*	12,59 ± 0,11	12,14 ± 0,81	ns
	H*	89,04 ± 0,17	89,29 ± 0,49	ns

La AT fue ligeramente mayor en el vino elaborado con uvas tratadas con caolín en comparación con el testigo, aunque esta diferencia no alcanzó significancia estadística. De manera similar, el pH permaneció estable entre ambos tratamientos. Estos resultados concuerdan con los hallazgos de Salgado (2021), quien señaló que el caolín no produce variaciones significativas en la acidez del vino.

El IPT fue prácticamente idéntico entre ambos tratamientos. Como indica el estudio de Dinis et al. (2020), el caolín aumenta la acumulación de compuestos fenólicos en el mosto, pero estos cambios no siempre logran diferencias significativas en el vino final.

El GA fue ligeramente superior en el vino tratado con caolín frente al testigo, pero esta diferencia no fue estadísticamente significativa. La AV también presentó valores similares entre ambos tratamientos, lo que indica que no hubo desviaciones en el proceso fermentativo (Glenn y Puterka, 2005).

En cuanto a la capacidad antioxidante, medida mediante el índice DPPH, se observó un valor ligeramente inferior en el vino tratado con caolín en comparación con el testigo. Este resultado contradice el estudio de Brillante et al. (2016), quienes reportaron un aumento en la capacidad antioxidante asociada al mayor contenido de polifenoles en uvas tratadas.

En términos de los parámetros cromáticos evaluados mediante el sistema CIELAB, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos. La luminosidad (L*), el croma (C*) y la tonalidad (H*) fueron similares. Estos resultados coinciden con los reportados por Shellie y Glenn (2008).

En general, los resultados obtenidos indican que el tratamiento con caolín no produjo diferencias significativas en la composición ni en las características cromáticas del vino.

Aunque el caolín mostró efectos positivos en ciertos parámetros del mosto, como la acidez y el contenido fenólico, estos no fueron cambios notables en el vino. Esto podría explicarse por la influencia de los procesos de vinificación, que tienden a homogenizar las características iniciales del mosto. Estos hallazgos subrayan la importancia de continuar investigando cómo optimizar la aplicación del caolín para maximizar su impacto en la calidad del vino.

5. Conclusiones

Este trabajo ha permitido evaluar el efecto del tratamiento con caolín en viñedos de la variedad Verdejo, bajo las condiciones de cultivo de la Denominación de Origen Rueda. Los resultados obtenidos indican que el uso de caolín puede ser una estrategia eficaz para mitigar algunos de los efectos adversos asociados al cambio climático en la calidad de la uva y el vino.

El tratamiento con caolín mejoró la eficiencia fotosintética de las plantas bajo condiciones de estrés térmico. Estos efectos, no se tradujeron en diferencias significativas en parámetros como el vigor y el rendimiento, pero tuvieron un impacto positivo en el mantenimiento de la acidez del mosto y en un incremento del contenido polifenólico del mismo. Sin embargo, en el vino las diferencias entre los tratamientos fueron mínimas, lo que sugiere que los efectos observados en el mosto podrían verse amortiguados por el proceso de vinificación.

Sería interesante ampliar la investigación en la temática de este estudio, para evaluar la eficacia de los tratamientos con caolín en campañas con variaciones meteorológicas y explorar su interacción con otras prácticas de manejo vitícola y enológico.

6. Referencias bibliográficas

Aerny, J. (1996). Composés azotés des moûts et des vins. Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic., 28(3), 161–165.

Brillante, L., Gaiotti, F., y Tonietto, J. (2016). Impact of kaolin particle film on the performance of grapevine cv. Verdejo in warm-climate regions. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 64(12), 2302–2311.

Choné, X., Van Leeuwen, C., Dubourdieu, D., y Gaudillere, J. P. (2001). Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. Journal of Experimental Botany, 52(365), 1659–1664.

Diffenbaugh, N. S., White, M. A., Jones, G. V., y Ashfaq, M. (2011). Climate adaptation wedges: A case study of premium wine in the western United States. Environmental Research Letters, 6(2), 024024.

Dinis, L. T., Bernardo, S., Conde, A., Correia, C. M., y Moutinho-Pereira, J. (2016). Kaolin-based particle film application improves grapevine tolerance to drought and heat stress in warm climates. Journal of the Science of Food and Agriculture, 96(13), 4357–4366.

Duchêne, E., y Schneider, C. (2005). Grapevine and climatic changes: A glance at the situation in Alsace. Agronomy for Sustainable Development, 25(1), 93–99.

Fernandes, A., Nieddu, G., Chaves, M. M., y Delrot, S. (2021). Grapevine photosynthesis and climate change: Mechanisms of adaptation and response. Functional Plant Biology, 48(7), 567–586.

García, J. (1990). Técnicas analíticas para vinos. Primera edición. Barcelona: GAB System. https://bit.ly/2UUwz37

Glenn, D. M., y Puterka, G. J. (2005). Particle films: A new technology for agriculture. Horticultural Reviews, 31, 1–44.

Hannah, L., Roehrdanz, P. R., Ikegami, M., Shepard, A. V., Shaw, M. R., Tabor, G., y Hijmans, R. J. (2013). Climate change, wine, and conservation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110(17), 6907–6912.

Hidalgo, J. (2002). Tratado de Viticultura General y Aplicada. Ediciones Mundi-Prensa.

IPCC (2008). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/

Jones, G. V., White, M. A., Cooper, O. R., y Storchmann, K. (2005). Climate change and global wine quality. Climatic Change, 73(3), 319–333.

Keller, M. (2015). The science of grapevines: Anatomy and physiology. Academic Press.

Lanyon, D. M., Cass, A., y Hansen, D. (2004). The effect of soil properties on vine performance and wine quality in the Coonawarra wine region of South Australia. Australian Journal of Grape and Wine Research, 10(1), 32–45.

Martínez-Lüscher, J., Kizildeniz, T., Včetić, V., Dai, Z. W., Lavoie-Lamoureux, A., Gomès, E., ... y Delrot, S. (2016). Sensitivity of grapevine phenology to water availability, temperature, and CO_2 concentration. Frontiers in Plant Science, 7, 1403.

Mira, R. (2010). Climate change associated effects on grape and wine quality and production. Food Research International, 43(7), 1844–1855.

Monteiro, A., y Lopes, C. M. (2007). Influence of cover cropping on water use and performance of grapevines in Mediterranean Portugal. Agriculture, Ecosystems and Environment, 121(4), 336–342.

Ollat, N., Tandonnet, J. P., Lafontaine, M., y Schultz, H. R. (2016). Climate change and rootstocks: Adaptation potential and challenges. Acta Horticulturae, 1136, 99–104.

Percival, D. C., Sullivan, J. A., Fisher, H., y Sullivan, D. M. (2009). The influence of particle film technology on vine and berry temperature, solar injury and fruit composition of 'L'Acadie' (*Vitis* spp.) grapevines in Nova Scotia. Canadian Journal of Plant Science, 89(1), 77–86.

Poni, S., Palliotti, A., y Silvestroni, O. (2004). Light interception and distribution in the canopy of grapevines. American Journal of Enology and Viticulture, 55(3), 260–268.

Rosati, A., Metcalf, S. G., Buchner, R. P., Fulton, A. E., Lampinen, B. D., y Shackel, K. A. (2006). Physiological effects of kaolin applications in well-irrigated and water-stressed walnut and almond trees. Annals of Botany, 98(2), 267–275.

Salgado, C. (2021). Efectos del uso de caolín en viñedos de secano: Impacto en la calidad de la uva y el vino. Revista Española de Viticultura y Enología, 12(4), 45–58.

Schultz, H. R. (2000). Climate change and viticulture: A European perspective on climatology, carbon dioxide, and UV-B effects. Australian Journal of Grape and Wine Research, 6(1), 2–12.

Shellie, K. C., y King, B. A. (2013). Kaolin particle film and water deficit influence red wine grape color under high solar radiation in an arid climate. American Journal of Enology and Viticulture, 64(2), 214–222.

Smart, R. E., y Robinson, M. (1991). Sunlight into wine: A handbook for winegrape canopy management. Winetitles.

Stoll, M., Schultz, H. R., y Baecker, G. (2008). Canopy management strategies for optimizing light and temperature conditions in the grapevine canopy under extreme weather conditions. Acta Horticulturae, 785, 187–193.

Tardaguila, J., De Toda, F. M., y Poni, S. (2008). Effects of timing and severity of summer pruning on yield components and grape composition in Tempranillo (*Vitis vinifera* L.). Australian Journal of Grape and Wine Research, 14(3), 99–106.

Van Leeuwen, C., y Destrac-Irvine, A. (2017). Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard. OENO One, 51(2), 147–154.

Williams, L. E., y Araujo, F. J. (2002). Correlations among predawn leaf, midday leaf, and midday stem water potential and their correlations with other measures of soil and plant water status in *Vitis vinifera*. Journal of the American Society for Horticultural Science, 127(3), 448–454.

Zamora, F. (2003). Fundamentos de Enología: Aspectos químicos y microbiológicos del vino. Ediciones Mundi-Prensa.

Zou, J., Li, Z., y Wang, X. (2022). Effects of foliar applications of particle film technology on the physiological responses and yield of grapevines under drought stress. Horticulture Environment and Biotechnology, 63(3), 231–242.