



Universidad de Valladolid

Campus de Palencia

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Grado en Enología

**Actividad fotosintética y comportamiento
agronómico de vides cv. Verdejo tratadas con
partículas de caolín en la DOP Rueda**

Alumno: Adam Salgado Vázquez

Tutor: Pedro Martín Peña

Cotutora: María Rosa González García

ÍNDICE

Resumen.....	1
Abstract.....	2
1. Introducción.....	3
1.1 Evaluación fisiológica y agronómica del viñedo	3
1.2 Impacto del cambio climático en la viticultura.....	3
1.3 Efectos del cambio climático en la calidad de la uva	4
1.4 Técnicas de cultivo aplicables para minimizar el efecto del cambio climático.....	5
1.5 Aplicación del caolín en el viñedo	5
2. Objetivos.....	6
3. Materiales y métodos	6
3.1 Diseño experimental.....	6
3.2 Condiciones meteorológicas en la zona de estudio	7
3.3 Controles y observaciones	8
3.3.1 Estado hídrico y actividad fotosintética	8
3.3.2 Rendimiento y vigor	8
3.4 Microvinificaciones	9
3.5 Análisis del mosto.....	9
3.5.1 Grado Brix.....	10
3.5.2 Temperatura	10
3.5.3 Masa volumétrica a 20° C	10
3.5.4 pH y acidez total	10
3.5.5 Ácido málico	10
3.5.6 Ácido tartárico.....	10
3.5.7 Nitrógeno fácilmente asimilable	11
3.5.8 Índice de polifenoles totales	11
3.5.9 Contenido en potasio.....	11
3.5.10 Parámetros de color (CIELab).....	11
3.6 Análisis de vinos	11
3.6.1 Grado alcohólico.....	11
3.6.2 pH y acidez total	12
3.6.3 Acidez volátil	12
3.6.4 Índice de polifenoles totales	12
3.6.5 Parámetros de color (CIELab).....	12
3.6.6 Sulfuroso libre y total	12
3.7 Análisis de datos.....	13
4. Resultados y discusión	13
4.1 Efecto del caolín en la temperatura de la hoja, la fotosíntesis y el estado hídrico.....	13
4.2 Vigor y rendimiento del viñedo	16
4.3 Efecto del caolín en la composición de la uva	16
4.4 Efecto del caolín en la composición del vino	18
5. Conclusiones	18
6. Bibliografía.....	19

Resumen

Este estudio analiza la influencia de la aplicación de partículas de caolín en la actividad fotosintética y el comportamiento agronómico de vides de la variedad Verdejo en la Denominación de Origen Protegida (DOP) Rueda, en el contexto de adaptación al cambio climático. El caolín es una arcilla natural con propiedades reflectantes que ha demostrado ser eficaz en la protección de cultivos frente al estrés térmico y la radiación solar intensa. En este trabajo, se realizaron experimentos durante el ciclo vegetativo de 2021 en un viñedo ubicado en La Seca, Valladolid, evaluando los efectos del caolín sobre el estado hídrico, la fotosíntesis, el vigor, la maduración de la uva y la composición del mosto y el vino.

Los resultados mostraron que las hojas tratadas con caolín mantuvieron temperaturas más bajas en comparación con las plantas de control, lo que contribuyó a una reducción del estrés térmico y oxidativo. Además, se observó una mejora en la eficiencia del fotosistema II, con un aumento significativo en la eficiencia cuántica y la tasa de transporte de electrones, lo que sugiere una mayor capacidad de las plantas tratadas para realizar fotosíntesis en condiciones adversas.

En cuanto a la producción y el vigor de las plantas, no se encontraron diferencias significativas en el rendimiento de uva entre las plantas tratadas y las no tratadas. Sin embargo, el caolín tuvo un impacto positivo en la composición de las uvas, con un aumento del contenido de polifenoles, lo que es crucial para la calidad organoléptica del vino. Los mostos provenientes de las plantas tratadas presentaron un pH ligeramente inferior y una mayor luminosidad de color, lo que podría ser beneficioso en la elaboración de vinos blancos, especialmente en un escenario de calentamiento global.

A nivel de vinificación, las diferencias en la composición del mosto no se tradujeron en cambios significativos en los parámetros finales del vino, como el grado alcohólico, la acidez total o el índice de polifenoles totales. Estos resultados sugieren que, si bien el caolín puede mejorar ciertos aspectos de la calidad de la uva, su influencia en las características finales del vino podría ser limitada, dependiendo de las condiciones específicas del viñedo y las prácticas de vinificación empleadas.

En conclusión, el tratamiento con caolín se presenta como una técnica prometedora para mitigar los efectos negativos del cambio climático en viñedos, especialmente en lo que respecta a la calidad de la uva. No obstante, se recomienda continuar investigando para optimizar su uso y comprender mejor sus efectos en diferentes variedades de uva y condiciones vitícolas.

Palabras claves: caolín, actividad fotosintética, variedad Verdejo, vigor de la planta, cambio climático.

Abstract

This study analyzes the influence of kaolin particle application on the photosynthetic activity and agronomic behavior of Verdejo grapevines in the Rueda Denomination of Origin (DOP), in the context of climate change adaptation. Kaolin is a natural clay with reflective properties that has proven effective in protecting crops from heat stress and intense solar radiation. In this work, experiments were conducted during the 2021 growing season in a vineyard located in La Seca, Valladolid, evaluating the effects of kaolin on water status, photosynthesis, vigor, grape ripening, and the composition of must and wine.

The results showed that kaolin-treated leaves maintained lower temperatures compared to control plants, contributing to a reduction in thermal and oxidative stress. Additionally, an improvement in Photosystem II efficiency was observed, with a significant increase in quantum efficiency and electron transport rate, suggesting a greater capacity for photosynthesis under adverse conditions in treated plants.

Regarding plant production and vigor, no significant differences were found in grape yield between treated and untreated plants. However, kaolin had a positive impact on grape composition, with an increase in polyphenol content, which is crucial for the organoleptic quality of the wine. Musts from treated plants presented slightly lower pH and greater color brightness, which could be beneficial in the production of white wines, especially in a global warming scenario.

At the winemaking level, the differences in must composition did not translate into significant changes in the final wine parameters, such as alcohol content, total acidity, or total polyphenol index. These results suggest that while kaolin can improve certain aspects of grape quality, its influence on the final characteristics of the wine may be limited, depending on the specific conditions of the vineyard and the winemaking practices employed.

In conclusion, kaolin treatment presents itself as a promising technique to mitigate the negative effects of climate change on vineyards, particularly regarding grape quality. However, further research is recommended to optimize its use and better understand its effects on different grape varieties and viticultural conditions.

Keywords: kaolin, photosynthetic activity, Verdejo variety, plant vigor, climate change.

1. Introducción

1.1 Evaluación fisiológica y agronómica del viñedo

El equilibrio vegetativo en un viñedo es crucial. Entender cómo se manifiesta la vegetación en las plantas es fundamental para alcanzar el máximo nivel de calidad posible, lo que a su vez mejora la rentabilidad de la plantación (Hidalgo, 2002).

Según Hidalgo (2002), el potencial vegetativo se refiere al resultado de la interacción entre una variedad específica y su entorno vitícola. Sin embargo, la planta no siempre aprovecha al máximo este potencial, ya que su rendimiento puede verse limitado por diversas pérdidas. La porción del potencial que la planta utiliza para su crecimiento se denomina expresión vegetativa. Esta resulta de la combinación de tres componentes: la producción de frutos, la madera (que incluye todas las partes de la planta excepto el fruto) y la calidad (específicamente el contenido de azúcares en los frutos). Estos tres factores están estrechamente interrelacionados en un equilibrio que puede ser alterado por diferentes prácticas de cultivo, como los sistemas de conducción, la poda, el laboreo, la fertilización, el riego, las podas en verde, los tratamientos fitosanitarios y la vendimia.

El rendimiento y el equilibrio vegetativo son aspectos esenciales en la viticultura, dado que un mayor rendimiento económico puede afectar negativamente la calidad de la uva. Por ello, es fundamental lograr un equilibrio que optimice tanto la productividad como la calidad del fruto (Chapman et al., 2004). Además, un déficit hídrico leve después del envero puede reducir el rendimiento, pero mejorar la calidad de la uva (González et al., 2019).

El vigor de la vid, así como su variación dentro del viñedo, influye en la uniformidad del rendimiento y en la composición de las bayas. Tanto un vigor excesivo como uno insuficiente pueden tener consecuencias negativas para la calidad de la uva. Un exceso de vigor puede causar racimos sombreados y condiciones de humedad que favorecen enfermedades, mientras que un vigor bajo limita la capacidad de síntesis de la vid, afectando negativamente la calidad del fruto (Smart y Robinson, 1991).

La calidad del vino está estrechamente relacionada con el equilibrio entre producción y vigor, medido a menudo mediante el índice de Ravaz, cuyos valores óptimos se sitúan entre 5 y 10 (Hidalgo, 2002). Estrés hídrico moderado y una baja disponibilidad de nitrógeno pueden ser beneficiosos para aumentar el contenido fenólico de las bayas, mejorando la calidad del vino (Choné et al., 2001).

1.2 Impacto del cambio climático en la viticultura

El clima desempeña un papel fundamental en la viticultura, ya que afecta la fisiología de la vid, la composición de la uva y, en última instancia, el resultado final del vino. La comprensión de la interacción entre el clima, el suelo y las prácticas agrícolas es esencial para lograr una producción vitivinícola de calidad y garantizar la consistencia y singularidad de los vinos en una región determinada (Sotés, 2018).

El cambio climático representa uno de los mayores desafíos a nivel global en el siglo XXI, ya que plantea amenazas significativas para el medio ambiente, la sociedad y la economía. A lo largo de los años, el clima de la Tierra ha experimentado cambios, y las temperaturas están aumentando a nivel mundial. Por ejemplo, durante las dos primeras décadas del siglo XX, se registraron temperaturas relativamente frías, pero a partir de los años 70, todas las décadas han sido más cálidas en comparación con el promedio del siglo anterior (Bernstein et al., 2008). Esta tendencia indica que es

altamente probable que las próximas décadas sean aún más cálidas. El aumento de las temperaturas se debe principalmente al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, los cuales están estrechamente relacionados con las actividades humanas y sus emisiones.

El cambio climático está generando un incremento gradual de las temperaturas y una reducción en las precipitaciones, lo que a su vez está provocando períodos más prolongados de sequía. Estos cambios climáticos tienen un impacto significativo en la viticultura, acelerando el proceso de maduración de las uvas y adelantando las etapas fenológicas. Además, la escasez de agua causa un estrés hídrico considerable en las vides, lo que resulta en una disminución significativa en el rendimiento de los cultivos (Armas Lima, 2014).

La disminución de las precipitaciones conlleva un aumento en la evaporación del agua y una menor disponibilidad y calidad de este recurso vital. Sin embargo, no solo es la cantidad total de precipitación anual lo que importa, sino también la distribución diaria promedio de estas precipitaciones. En ocasiones, las lluvias se vuelven intensas y torrenciales, lo que provoca la erosión del suelo, pérdidas de cultivos y la escorrentía y filtración excesiva del agua de lluvia, impidiendo que se incorpore adecuadamente a la reserva de agua del suelo (Sotés, 2018).

De acuerdo con varios estudios, se prevé que las temperaturas seguirán aumentando de manera continua y asimétrica y se reducirán las precipitaciones, junto con la variabilidad en su distribución, lo que tendrá un impacto significativamente negativo en la agricultura mediterránea, siendo más pronunciado en las áreas interiores, especialmente en la meseta peninsular y algunas zonas montañosas (Sotés, 2018).

El cultivo de la vid necesita unas condiciones climáticas bien definidas, determinadas principalmente por la temperatura, la insolación, las precipitaciones y el viento. Estos cambios no solo afectarán la forma en que las vides crecen y se desarrollan, sino también los patrones de plagas y enfermedades, así como el equilibrio en la maduración de la uva. Como resultado, se verá afectado tanto el rendimiento como la calidad de la cosecha obtenida (Schultz, 2000; Jones et al., 2005).

1.3 Efectos del cambio climático en la calidad de la uva

El calentamiento global ha estado afectando a las regiones vitivinícolas de todo el mundo en los últimos años, causando un estrés severo durante los meses de verano, afectando negativamente la calidad de la uva. (Pallioti et al., 2014; Santillán et al., 2019).

El cambio climático está teniendo un impacto cada vez más profundo en la fenología de la vid y la composición de la uva, lo cual tiene consecuencias significativas en las vinificaciones, la microbiología y la química del vino, así como en los aspectos sensoriales.

Entre los efectos más relevantes relacionados con el cambio climático se encuentran la anticipación de la época de cosecha y el aumento de las temperaturas, lo que a su vez provoca concentraciones más altas de azúcar en la uva, resultando en niveles elevados de alcohol en el vino, una disminución de la acidez y modificaciones en los compuestos aromáticos característicos de cada variedad. En condiciones de temperaturas extremadamente altas, que ya se están experimentando en algunas regiones, el metabolismo de la vid puede verse inhibido, lo que conlleva una menor acumulación de metabolitos que afectan el aroma y el color del vino. Los mostos con altas concentraciones de azúcar generan una respuesta de estrés en la levadura, lo

que se traduce en una mayor formación de co-productos de la fermentación, como el ácido acético. Si no se controla mediante la adición de ácido, el pH más elevado puede generar cambios significativos en la ecología microbiana de los mostos y los vinos, aumentando el riesgo de deterioro y degradación organoléptica (Mira de Orduña, 2010).

1.4 Técnicas de cultivo aplicables para minimizar el efecto del cambio climático

Para hacer frente al cambio climático existen técnicas de cultivo dirigidas a mitigar los efectos de la radiación solar, las altas temperaturas y la falta de agua. Por ejemplo, prácticas como el manejo del suelo, el uso de cubiertas vegetales o labores mínimas pueden ayudar a evitar la erosión causada por fuertes lluvias.

En el caso de las cubiertas vegetales, es importante considerar que pueden aumentar el consumo de agua, lo cual puede ser un desafío en zonas áridas. Sin embargo, el uso de *mulching* de paja como cobertura del suelo puede tener efectos positivos en la retención de agua en el suelo. Por otro lado, el acolchado es un tipo de cubierta que se coloca sobre el suelo del viñedo utilizando diferentes materiales, y se utiliza por diversas razones como son: mejorar la calidad del suelo, optimizar el microclima del dosel y controlar el crecimiento de las malas hierbas (Ross, 2010; Ferrara et al., 2012). Con el uso de este tipo de cubierta se ha observado que los viñedos experimentan menos estrés térmico e hídrico (Fraga and Santos, 2018).

Otras técnicas para minimizar el efecto del cambio climático sería realizar cambios en los sistemas de poda, ya que, puede ayudar a proteger los racimos de la exposición excesiva al sol (Yuste, 2017). Así mismo, es importante cultivar variedades que estén bien adaptadas a condiciones de alta insolación, temperatura y sequía.

Recientemente, se ha observado un aumento en el uso de tecnologías basadas en películas de partículas minerales, ya que ha demostrado ser un método beneficioso y económico para mitigar el estrés térmico, debido a los efectos adversos de las altas temperaturas, en los procesos fisiológicos del dosel, las quemaduras solares, el rendimiento y la calidad de las bayas (Frioni et al., 2019 a, b) (Kok and Bal, 2018). Esta técnica es similar a los antitranspirantes, ya que consiste en cubrir las hojas con delgadas películas de nanopartículas (Brillante et al., 2016).

1.5 Aplicación del caolín en el viñedo

Los efectos adversos derivados de los cambios en el clima han impulsado la búsqueda de soluciones para mitigar dichos impactos a corto plazo. Una de estas estrategias consiste en utilizar compuestos externos que puedan mantener o incluso mejorar la productividad de las plantas en condiciones ambientales desfavorables. Después de llevar a cabo diversas experiencias con diferentes compuestos, se ha encontrado que la aplicación de caolín, un mineral químicamente inerte con excelentes propiedades reflectantes ha arrojado resultados alentadores (Dinis et al., 2016).

El caolín es una arcilla natural que se ha utilizado para contrarrestar los efectos negativos de las altas temperaturas y la sequía prolongada en la fisiología de la vid (Glenn et al., 2010, 2012; Brito et al., 2019). El caolín tiene la capacidad de aumentar la reflexión de la radiación, lo cual contribuye a proteger la funcionalidad del dosel y facilita la recuperación del estrés mediante la regulación del ácido abscísico (ABA). Su mecanismo de acción se basa en incrementar la reflexión de la luz para influir en la

cantidad de radiación absorbida por la hoja (Brito et al., 2008). En las últimas décadas, la aplicación de protectores solares basados en caolín se ha convertido en una opción prometedora para reducir el daño solar en manzanos, granadas (Sharma et al., 2018) y vides (Dinis et al., 2016 ab; Bernardo et al., 2017). Además, numerosos estudios han demostrado la eficacia del caolín para proteger las frutas contra insectos dañinos cuando se rocía sobre ellas (Leskey et al., 2010; Pascual et al., 2010; D'Aquino et al., 2011).

Las propiedades protectoras del caolín son de gran interés y es necesario realizar investigaciones más detalladas para comprender mejor cómo puede proteger la vid contra las condiciones adversas como las olas de calor, la intensa radiación solar y la escasez de agua. Al aplicar una película de partículas de caolín en las plantas de vid, se observan efectos beneficiosos como la reducción de las temperaturas, una menor tasa de transpiración en condiciones de humedad del suelo adecuada, protección de la estructura y función del sistema fotosintético en las hojas expuestas a altas temperaturas y radiación solar intensa, así como cambios en los componentes de calidad de la uva, como el contenido total de sólidos solubles y la concentración de polifenoles y antocianinas (Dinis et al., 2016).

2. Objetivos

El objetivo de este estudio es evaluar el efecto de la aplicación de partículas de caolín sobre la vegetación del viñedo, como técnica de adaptación al cambio climático, sobre el comportamiento fisiológico y agronómico del viñedo y la composición de la uva de la variedad Verdejo.

Los objetivos concretos de este trabajo son los siguientes:

- Evaluar el efecto del caolín en la actividad fotosintética, el estado hídrico y el vigor de la planta.
- Estudiar el efecto del caolín en la maduración y composición de la uva.
- Valorar el tratamiento aplicado en la calidad del mosto y vino.

3. Materiales y métodos

3.1 Diseño experimental

El estudio se realizó en 2021, en una parcela de viñedo en plena producción, localizada en el término municipal de La Seca (Valladolid), dentro de la D.O.P. Rueda a una altitud de unos 720 m s.n.m.

El viñedo seleccionado pertenece a la variedad de uva Verdejo y se encuentra injertado sobre el portainjerto 110-Richter. Las vides se cultivan en un sistema de doble guyot, con una distancia de plantación de 3,0 x 1,5 metros, lo que equivale a 2222 vides por hectárea. La carga de las vides se estima en aproximadamente 35 000 yemas por hectárea. Se utilizó un sistema de riego por goteo, suministrando en promedio del 30% de la evapotranspiración de referencia a lo largo de todo el ciclo de cultivo.

El estudio se llevó a cabo utilizando un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cada parcela elemental estaba compuesta por 16 plantas para viñas tratadas con caolín (K) y otras tantas como testigo (T). Se dejó una planta de borde entre cada dos parcelas elementales. Antes de aplicar los tratamientos, se realizó un ligero deshojado manual en la zona de los racimos en todas las plantas.

Con objeto de mantener una buena cobertura del caolín en la superficie de hojas y frutos, los tratamientos con caolín se aplicaron en tres ocasiones, a los 20, 42 y 63 días después de la plena floración, que correspondieron a las fechas del 29 de junio, 20 de julio y 10 de agosto, respectivamente. En cada una de estas fechas, se trató toda la vegetación y los racimos con partículas de caolín en una concentración del 5% (p/v), utilizando el producto comercial Surround WG® (BASF Agricultural Solutions España). En la primera aplicación, se añadió un 0,05% de Agral® (Syngenta Agro, Madrid, España), que es un tensioactivo no iónico, a la solución de caolín. Las plantas testigo fueron pulverizadas con agua más el surfactante en la primera fecha, y solo con agua en las otras dos aplicaciones. Todos los tratamientos se aplicaron utilizando un pulverizador manual, a ambos lados de la espaldera, hasta alcanzar el punto de escurrido.

3.2 Condiciones meteorológicas en la zona de estudio

Las condiciones meteorológicas registradas en el área de estudio a lo largo del año 2021 se detallan en la Tabla 1. Durante este período, se observaron temperaturas máximas elevadas en fechas específicas, como el 11, 17, 20 y 21 de julio, donde los valores oscilaron entre 34 y 35 °C. Además, entre el 12 y el 15 de agosto se alcanzaron temperaturas máximas absolutas que variaron entre 35,5 y 38,6 °C. En cuanto a días con temperaturas extremas, 20 días superaron los 32 °C y 6 días superando los 35 °C en julio y agosto.

Las precipitaciones anuales en el 2021 fueron de 367mm, por debajo de la media.

Tabla 1: Valores mensuales de temperatura máxima absoluta (Ta), temperatura máxima (T), temperatura media (tm), temperatura mínima absoluta (t), temperatura mínima (ta) y precipitación (P en mm) del año 2021. Datos adquiridos la estación meteorológica de Rueda (Valladolid) (VA-103). Fuente Inforiego (2022).

MES	Ta (°C)	T (°C)	tm (°C)	t (°C)	ta (°C)	P (mm)
ENE	18,22	7,02	2,60	-0,98	-9,09	11,20
FEB	17,41	13,03	8,26	4,32	-1,55	51,60
MAR	25,81	15,72	8,83	2,48	-2,29	5,80
ABR	22,62	16,95	10,92	5,72	-1,14	61,80
MAY	31,14	21,75	14,77	7,89	3,37	19,07
JUN	32,55	26,47	18,81	11,71	8,41	57,90
JUL	35,45	29,71	21,64	13,17	7,61	0,80
AGO	38,60	31,11	22,15	13,22	8,00	4,10
SEP	33,55	24,39	17,66	12,05	6,19	47,20
OCT	26,89	20,79	13,27	6,73	0,81	31,70
NOV	15,73	10,77	5,27	0,73	-2,02	45,50
DIC	15,59	11,20	6,40	2,66	-3,03	30,80

3.3 Controles y observaciones

3.3.1 Estado hídrico y actividad fotosintética

Se llevaron a cabo mediciones del estado hídrico de las plantas, como el potencial hídrico del tallo, en cuatro momentos diferentes después de la plena floración: a los 30, 51, 63 y 84 días. También se evaluó la actividad fotosintética en esos mismos momentos.

Las mediciones del potencial hídrico del tallo se realizaron entre las 11 y las 13 horas (hora solar) en hojas adultas ubicadas en el lado sombreado del enrejado. Para garantizar condiciones estables, las hojas fueron cubiertas con bolsas de aluminio durante 1.5 horas antes de la medición. Se utilizó una cámara de presión tipo Scholander (Solfranc Technologies SL, España) para realizar las mediciones.

Se realizaron mediciones de la asimilación neta ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$), así como de las temperaturas de las hojas y del ambiente ($^{\circ}\text{C}$), y se analizaron los parámetros de fluorescencia de la clorofila. Esto se llevó a cabo utilizando un dispositivo portátil de análisis de gas por infrarrojo LI-Cor 6400 (IRGA), que estaba equipado con un fluorómetro de modulación de ancho de pulso para la cámara de la hoja 6400-40 (Li-Cor, Inc., Lincoln, Nebr., EE. UU.). Los parámetros de fluorescencia que se midieron incluyeron la fluorescencia mínima (F_0), la eficiencia (ΦPSII) y la eficiencia máxima del fotosistema II (F_v/F_m), así como la tasa aparente de transporte de electrones (ETR) y los niveles de extinción fotoquímica (q_P) y no fotoquímica (q_N). Las mediciones de la fotosíntesis se realizaron entre las 11:00 y las 13:00 horas (hora solar) en el espacio entre venas del lóbulo principal derecho de las hojas expuestas en la zona media del brote. Se tomó una muestra de dos hojas en cada parcela elemental. La velocidad del flujo de aire a través de la cámara de la hoja se mantuvo constante en $500 \mu\text{mol/s}$.

3.3.2 Rendimiento y vigor

La producción total por planta se determinó al momento de la cosecha. La fecha de la vendimia se determinó observando el proceso de maduración de las bayas en el viñedo. Se decidió recolectar las uvas cuando el contenido de sólidos solubles en el mosto alcanzó un mínimo de 21,5 grados Brix en el campo.

Racimos/cepa: se ejecutó un conteo del número de racimos cortados en cada cepa.

Peso medio del racimo: con la realización de la vendimia, se realizó la pesada en campo de todo lo recogido en cubos, empleando la báscula de campo digital, con un error de ± 5 g.

Peso de 100 bayas: se recogieron bayas de los racimos al azar de distintas partes de los racimos, tanto de la parte soleada como de la sombría de cada vid.

Peso medio del sarmiento: se calculó como el coeficiente entre el peso de la madera de poda y el número de sarmientos totales, expresado en gramos.

Peso de madera de poda: de forma previa a la ejecución de la poda, se hizo un recuento del número sarmientos por cepa. Tras la realización de la poda, se recogió el material en cubos, pesando el material de poda en una báscula digital de campo con un error de ± 5 g, se expresó en $\text{kg madera}/\text{m}^2$.

Sarmientos/cepa: El número de sarmientos por cepa, en las vides seleccionadas por repetición, se calculó realizando la media sobre los valores obtenidos por conteo previo a la poda en relación con el número total de cepas.

Índice de Ravaz: se determinó al dividir la producción de uva por cepa entre el peso de la madera de poda por cepa. Este cálculo nos proporciona un índice que nos ayuda a evaluar el equilibrio entre la producción de uva y el desarrollo vegetativo de la planta.

3.4 Microvinificaciones

Para vinificar se utilizaron unos 20 kg de uva del tratamiento testigo sin tratar "T" y tratamiento con caolín "K". La uva de cada repetición se congeló a -20 °C en la cámara del edificio de Enología.

El 8 de febrero de 2021, con las uvas ya descongeladas, se llevaron a cabo las microvinificaciones utilizando el método tradicional de vinificación en blanco. Se despallilló y estrujó en una despalladora de paletas de acero inoxidable y en una estrujadora de rodillos de perfiles conjugados y estriados. Seguidamente, se utilizó una prensa hidráulica vertical con un ciclo de 1,5 bares, y se encubó cada tratamiento por separada en recipientes de acero inoxidable de 20 L.

Tras el encubado se sulfitó a 30 mg/L de SO₂ total, para el posterior desfangado estático por frío (4° C), durante 24 horas. Una vez realizado el trasiego para eliminar los fangos se hicieron los análisis físico-químicos del mosto: grado Brix, pH, acidez total, ácido málico y tartárico, nitrógeno fácilmente asimilable (NFA), índice de polifenoles totales (IPT) y parámetros de color (CIELab).

Posteriormente, se sembró el mosto con levaduras neutras comerciales utilizando la dosis recomendada de 30 g/hL. La levadura utilizada fue *Saccharomyces cerevisiae* Zymafkire Spark (Laffort, Bordeaux, Francia).

Para el seguimiento de la fermentación alcohólica se controló diariamente la temperatura y la densidad de cada depósito, realizando un ligero bazuqueo durante los primeros días para facilitar la activación de las levaduras. Una vez que las densidades se estabilizaron alrededor de 990-995 g/L se trasegó y se dio por finalizada la fermentación alcohólica.

Una vez realizados los trasiegos del vino, se añadió sulfuroso hasta conseguir llegar a 30 mg/L de SO₂ libre. Posteriormente se realizó una estabilización tartárica por frío en la cámara de refrigeración a 8° C, y tras un mes se volvió a trasegar el vino para eliminar los tartratos precipitados y se comprobó el sulfitado, corrigiendo aquellos vinos por debajo de 30 mg/L de SO₂ libre. Luego, el vino fue embotellado y, finalmente, se realizaron los análisis físico-químicos completos de los vinos finales: grado alcohólico, pH, acidez total, acidez volátil, índice de polifenoles totales y parámetros de color (CIELab).

3.5 Análisis del mosto

Se utilizan los métodos oficiales de la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV, 2020) para la realización de los análisis físico-químicos del mosto y del vino, a menos que se especifique lo contrario.

3.5.1 Grado Brix

El método para determinar los azúcares del mosto se basa en la medición de su concentración utilizando el índice de refracción. El grado alcohólico probable (GAP) se determinó a partir del grado Brix, cuya relación viene determinada por la fórmula: $GAP = (0,6757 * BRIX_{20\text{ }^{\circ}\text{C}}) - 2,0839$ (García, Xirau, & Azorín, 2000).

3.5.2 Temperatura

El control de temperatura de los mostos y vinos se realiza directamente mediante termómetros.

3.5.3 Masa volumétrica a 20° C

La determinación se realiza a partir de la lectura de los areómetros, graduados en unidades de masa volumétrica a 20 °C (densímetro) que se introducen en el vino (García et al., 2000).

3.5.4 pH y acidez total

Se realizaron medidas de pH utilizando un pH-metro y medidas de acidez total mediante una valoración potenciométrica con NaOH 0,1 N a pH 7. La acidez total se refiere al contenido total de ácidos presentes en un vino y se expresa en ácido tartárico (Comisión Europea, 1990).

3.5.5 Ácido málico

Para determinar la cantidad de ácido málico, se utilizó un método enzimático. Este método se basa en la transformación del ácido L-málico en oxalacetato a través de una reacción catalizada por la enzima L-malato deshidrogenasa y la coenzima NAD. Luego, se midió la concentración de NADH formado a una longitud de onda de 340 nm, lo cual está directamente relacionado con la cantidad de ácido L-málico presente en la muestra inicial.

3.5.6 Ácido tartárico

Se determinó el contenido de ácido tartárico en los mostos utilizando el método gravimétrico estándar. Este método se basa en la formación de precipitado de tartrato de calcio al precipitar el ácido tartárico, y el precipitado se cuantifica gravimétricamente. Las condiciones de precipitación (pH, volumen total utilizado, concentración de iones precipitantes) se establecieron de manera que se completa la precipitación del tartrato de calcio, mientras que el tartrato D (-) de calcio permanece en solución.

3.5.7 Nitrógeno fácilmente asimilable

El índice de formol es un método sencillo que permite estimar los niveles de aminoácidos libres y amonio en una muestra. Este método se basa en la valoración de la acidez de los compuestos formados por la reacción del formaldehído con los aminoácidos presentes (Aerny, 1996).

3.5.8 Índice de polifenoles totales

La espectroscopía UV permite analizar la interacción de la luz ultravioleta con las moléculas presentes en la muestra. Al medir la absorción de la muestra a 280 nm, se obtiene información sobre la concentración de polifenoles presentes en la muestra (Zamora, 2003).

3.5.9 Contenido en potasio

Se empleó la técnica de fotometría de llama y se aplicó la metodología propuesta por la OIV y el reglamento de la UE para determinar el contenido de potasio en los mostos (Comisión Europea, 1990).

En el estudio, se utilizó un fotómetro PFP-7 Jenway (Bibby Scientific Limited, Staffordshire, Reino Unido), con filtro para medir el potasio. Para calibrarlo se puso una solución de referencia, compuesta por potasio, aniones, cationes y compuestos orgánicos.

3.5.10 Parámetros de color (CIELab)

El método CIELab define el color a partir de unas coordenadas denominadas L^* , a^* , b^* que determinan un espacio tridimensional.

Para obtener dichas coordenadas es necesario medir las absorbancias a 450, 520, 570 y 630 nm mediante espectrofotometría. Los cálculos se realizaron a través del programa MSCV® de la Universidad de La Rioja. Este programa compara las coordenadas L^* (Luminosidad), C^* (Croma), h^* (Tonalidad), a^* (proporción rojo/verde), y b^* (proporción azul/amarillo) dentro del espacio CIELab (Gilabert, 1998).

3.6 Análisis de vinos

3.6.1 Grado alcohólico

El método ebulloscópico se fundamenta en los cambios en el punto de ebullición de las soluciones hidroalcohólicas en función de la proporción de alcohol presente. En condiciones normales de presión atmosférica ($760 \text{ mm Hg/cm}^2 \equiv 1013 \text{ hPa}$), el agua hierve a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ y el alcohol a $78,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Al mantener una mezcla constante de alcohol y agua bajo refrigeración, la solución alcanzará su punto de ebullición, que estará más cerca de los $100 \text{ }^\circ\text{C}$ cuanto menor sea el contenido de alcohol, y viceversa.

Por lo tanto, es posible determinar la concentración de alcohol en una mezcla a partir de las relaciones establecidas entre el porcentaje de alcohol y la temperatura de ebullición. Mediante este método, se puede fijar la composición alcohólica de una mezcla, ya que la temperatura de ebullición varía de manera predecible según el contenido de alcohol presente (García et al., 2000).

3.6.2 pH y acidez total

Se realizaron medidas de pH utilizando un pH-metro y medidas de acidez total mediante una valoración potenciométrica con NaOH 0,1 N a pH 7. La acidez total se refiere al contenido total de ácidos presentes en un vino y se expresa en ácido tartárico (Comisión Europea, 1990).

3.6.3 Acidez volátil

La acidez volátil en el vino se refiere a la presencia de ácidos grasos de la serie acética, como el ácido acético, que pueden encontrarse tanto en forma libre como combinada en forma de sales. Estos ácidos son los principales responsables de la característica desagradable conocida como "picado" en los vinos.

Para analizar la acidez volátil en el vino, se utiliza el método García-Tena. Este método se basa en realizar una destilación fraccionada del vino, después de eliminar el dióxido de carbono presente, y posteriormente llevar a cabo una valoración ácido-base de la segunda porción del destilado obtenido (García et al., 2000).

3.6.4 Índice de polifenoles totales

La espectroscopía UV permite analizar la interacción de la luz ultravioleta con las moléculas presentes en la muestra. Al medir la absorción de la muestra a 280 nm, se obtiene información sobre la concentración de polifenoles presentes en la muestra (Zamora, 2003).

3.6.5 Parámetros de color (CIELab)

El método CIELab define el color a partir de unas coordenadas denominadas L^* , a^* , b^* que determinan un espacio tridimensional.

Para obtener dichas coordenadas es necesario medir las absorbancias a 450, 520, 570 y 630 nm mediante espectrofotometría. Los cálculos se realizaron a través del programa MSCV® de la Universidad de La Rioja. Este programa compara las coordenadas L^* (Luminosidad), C^* (Croma), h^* (Tonalidad), a^* (proporción rojo/verde), y b^* (proporción azul/amarillo) dentro del espacio CIELab (Gilbert, 1998).

3.6.6 Sulfuroso libre y total

Para determinar la cantidad de dióxido de azufre en una muestra, se empleó un método conocido como método Ripper. Este método se basa en una reacción de óxido-reducción entre el dióxido de azufre y el yodo en un medio ácido. Para facilitar la detección del punto final de la reacción, se utilizó almidón como indicador (García et al., 2000).

3.7 Análisis de datos

Para analizar los efectos del tratamiento con caolín sobre las diferentes variables estudiadas, se utilizó la prueba t de Student. Esta prueba estadística permitió comparar las diferencias entre el grupo de vides tratadas con caolín y el grupo de vides de control, en relación con las variables analizadas.

4. Resultados y discusión

4.1 Efecto del caolín en la temperatura de la hoja, la fotosíntesis y el estado hídrico

La Figura 1 muestra las diferencias en la temperatura entre las hojas y el aire, al mediodía, en vides tratadas y no tratadas en las fechas de control.

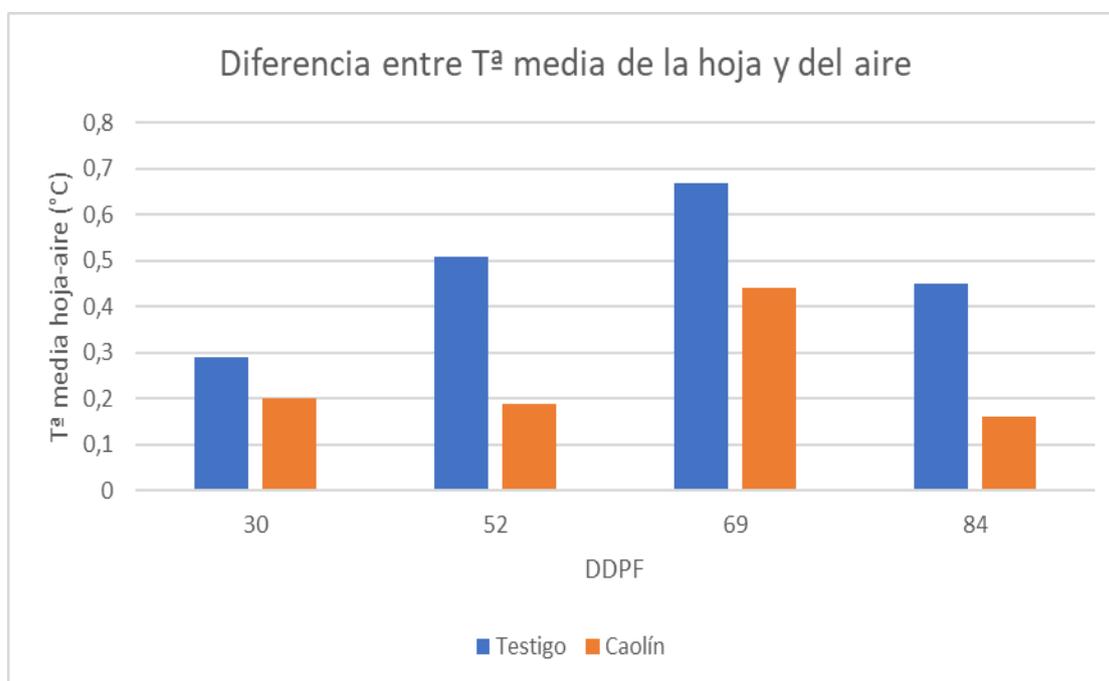


Figura 1. Diferencias entre las temperaturas medias de las hojas y el aire ($T_{\text{leaf}} - T_{\text{air}}$), medidas alrededor del mediodía en vides de uva Verdejo, tratadas con caolín y sin tratar, en cuatro días diferentes después de la plena floración (DDPF).

Los resultados indican que las hojas de las plantas tratadas con caolín siempre tuvieron una temperatura más baja que las hojas de las plantas de control. Estas diferencias fueron significativas a los 52 y 84 días después de la plena floración (DDPF). Estos fueron los días más cálidos en los que se realizaron las mediciones.

El efecto de la aplicación de la película de caolín para reducir la temperatura del dosel ha sido reportado previamente en la literatura científica (Conde et al., 2018; Garrido et al., 2019; Cataldo et al., 2022). Esta reducción en la temperatura de las hojas tratadas se debe al efecto de reflexión solar de las partículas de caolín, que actúan como una barrera reflectante. Además, la película reduce el riesgo de daños en hojas y frutos causados por quemaduras solares y altas temperaturas (Glenn, 2012).

La disminución de la temperatura de las hojas en las plantas tratadas también está relacionada con una reducción del estrés oxidativo. Se ha observado una disminución en el contenido de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y la actividad de la enzima catalasa en las hojas tratadas (Paciello et al., 2017). Estos cambios bioquímicos indican una menor presencia de especies reactivas de oxígeno (ROS), que son moléculas altamente reactivas y pueden causar daño celular y estrés oxidativo en las plantas. Por lo tanto, la película de caolín parece tener un efecto protector al reducir la acumulación de ROS.

En concordancia con lo observado por otros autores (Sheille and Glenn 2008; Glenn,2010), no se encontraron diferencias significativas en los valores de potencial hídrico del tallo entre las plantas tratadas y no tratadas. Esto indica que la aplicación de la película de caolín no tuvo un impacto significativo en el estado hídrico de las plantas de vid (Tabla 2).

En cuanto a la asimilación de CO₂ por parte de las plantas tratadas, se observó una tendencia a ser menor en comparación con las plantas de control a los 52 y 84 días después de la brotación (DFB). Sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas (Tabla 2).

El efecto de la película de caolín sobre la fotosíntesis es variable y puede depender mucho de las condiciones ambientales. Por ejemplo, se ha informado que el caolín puede disminuir la tasa fotosintética neta en condiciones de óptima hidratación y en ambientes con baja irradiancia (Cantore et al.,2009; Boari et al., 2015). En otras circunstancias, como en ambientes con limitaciones de agua, altas temperaturas o salinidad, el caolín puede aumentar la asimilación neta de CO₂ (Brito et al.,2019).

Es importante tener en cuenta que, en el sitio de estudio, las condiciones meteorológicas de julio mostraron que hubo pocos días calurosos y las temperaturas máximas no superaron los niveles óptimos para el crecimiento de la vid (sección 4.2)

Según los resultados presentados en la Tabla 2, los valores de potencial hídrico del tallo medidos en plantas tanto tratadas y no tratadas no mostraron diferencias significativas en ninguna de las fechas de medición, lo que sugiere que la aplicación de la película de caolín no afectó el estado hídrico de las plantas. Sin embargo, los tratamientos experimentales con la película de caolín sí evidenciaron un efecto significativo en los parámetros de fluorescencia de la clorofila foliar. Las plantas tratadas con caolín exhibieron mayores valores de Fv/Fm (rendimiento cuántico del fotosistema II), ΦPSII (eficiencia cuántica del fotosistema II), qP (coeficiente de eficiencia fotoquímica) y ETR (tasa de transporte electrónico) en comparación con las plantas de control.

Estos resultados son consistentes con los hallados por Dinis et al. (2020) en uvas blancas cv. Cerceal, con aumentos en la eficiencia del fotosistema II y el apagado fotoquímico en plantas tratadas con caolín. Esto se atribuye al efecto protector de la película de caolín, que reduce la susceptibilidad de las plantas a la fotoinhibición, es decir, el daño causado por una sobreexposición a la luz solar.

Tabla 2: Potencial hídrico (Ψ) y parámetros de fluorescencia de clorofila medidos al mediodía 30, 52, 69 y 84 días después de la plena floración (DDPF) en hojas de vides testigo y tratadas con caolín.

30 DDPF			
Parámetros	Testigo	Caolín	Significación
Ψ (MPa)	-0,36 \pm 0,05	-0,35 \pm 0,07	ns
F0	473,7 \pm 64	448,7 \pm 74,2	ns
Fv/Fm	0,34 \pm 0,04	0,39 \pm 0,04	ns
Φ PSII	0,15 \pm 0,02	0,15 \pm 0,03	ns
ETR	98,5 \pm 13,1	95,3 \pm 22,5	ns
qP	0,43 \pm 0,03	0,42 \pm 0,05	ns
qN	1,53 \pm 0,1	1,55 \pm 0,09	ns
52 DDPF			
Parámetros	Testigo	Caolín	Significación
Ψ (MPa)	-0,84 \pm 0,05	-0,83 \pm 0,07	ns
F0	444,7 \pm 70,0	342,2 \pm 92,7	*
Fv/Fm	0,40 \pm 0,09	0,44 \pm 0,03	*
Φ PSII	0,13 \pm 0,03	0,16 \pm 0,04	*
ETR	77,5 \pm 17,8	100,7 \pm 26,8	*
qP	0,33 \pm 0,1	0,37 \pm 0,1	*
qN	1,69 \pm 0,3	1,76 \pm 0,1	ns
69 DDPF			
Parámetros	Testigo	Caolín	Significación
Ψ (MPa)	-0,76 \pm 0,08	-0,79 \pm 0,04	ns
F0	440,6 \pm 47,3	407,54 \pm 71,8	ns
Fv/Fm	0,38 \pm 0,05	0,39 \pm 0,09	ns
Φ PSII	0,17	0,19 \pm 0,03	*
ETR	106,8 \pm 1,6	122,4 \pm 20,4	*
qP	0,45 \pm 0,08	0,48 \pm 0,03	ns
qN	1,55 \pm 0,11	1,67 \pm 0,2	*
84 DDPF			
Parámetros	Testigo	Caolín	Significación
Ψ (MPa)	-0,79 \pm 0,14	-0,86 \pm 0,16	ns
F0	434,9 \pm 54,0	378,3 \pm 45,5	*
Fv/Fm	0,35 \pm 0,01	0,37 \pm 0,02	*
Φ PSII	0,15 \pm 0,02	0,17 \pm 0,02	*
ETR	96,8 \pm 11,8	113,3 \pm 10,2	*
qP	0,43 \pm 0,05	0,48 \pm 0,03	*
qN	1,54 \pm 0,04	1,59 \pm 0,05	*

Parámetros: potencial hídrico (Ψ) fluorescencia basal (F0), eficiencia cuántica máxima del fotosistema II (Fv/Fm), eficiencia efectiva de PSII (Φ PSII), tasa de transporte de electrones (ETR), extinción fotoquímica (qP) y extinción no fotoquímica (qN). El asterisco significa las diferencias significativas entre medias dentro del mismo día ($p < 0,05$).

Además, la disminución de los valores de F0 en las plantas tratadas indica que no se superó la capacidad fotoprotectora y se evitó el daño fotoinhibidor en el fotosistema II (Valladares and Percy 1997). En otras palabras, las hojas tratadas con caolín pudieron mantener un equilibrio adecuado entre la captura y el uso de la luz solar para la fotosíntesis sin daños en el aparato fotosintético.

Se observaron valores más altos de qN (coeficiente de eficiencia no fotoquímica) en las plantas tratadas en comparación con las de control a los 69 y 84 días después de la brotación (DDPB). Esto sugiere que las plantas tratadas tuvieron una mayor disipación del exceso de energía producido por el calor con el propósito de evitar el daño fotosintético debido a la oxidación (Baker, 2008).

4.2 Vigor y rendimiento del viñedo

Tabla 3: Valores medios de rendimiento y vigor

Parámetros	Testigo	Caolín	Significación
Rendimiento (kg/cepa)	4,26 ± 0,64	4,38 ± 0,28	ns
Peso 100 bayas (g)	182,2 ± 9,51	184,0 ± 8,99	ns
Peso de madera de poda (kg/cepa)	1,34 ± 0,19	1,21 ± 0,14	*

El tratamiento aplicado no afectó de manera significativa en el rendimiento (tabla 3), aunque hubo una tendencia a que las plantas tratadas presentaran un rendimiento ligeramente mayor a las no tratadas. En cuanto al peso de madera de poda hay una significación, que pudo ser causada en la ejecución de toma de muestras.

4.3 Efecto del caolín en la composición de la uva

El tratamiento con caolín no tuvo un impacto significativo en las concentraciones de sólidos solubles, nitrógeno asimilable por levaduras y concentración de potasio en el mosto, como se muestra en la tabla 4.

En cuanto a la acidez titulable del mosto, se observó una tendencia a ser ligeramente superior en las plantas tratadas en comparación con las de control, pero esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($p > 0,05$). Sin embargo, se notó que el tratamiento con caolín disminuyó los valores de pH del mosto en comparación con las plantas de control. Estudios recientes también encontraron una tendencia similar en uvas Touriga Francesa y Cerceal tratadas con caolín (Singh et al., 2020; Dinis et al., 2020).

La disminución del pH en el mosto de las plantas tratadas puede estar relacionada con la protección proporcionada por la película de caolín, que redujo la temperatura de las uvas y tendió a disminuir la descomposición respiratoria de la acidez en las mismas. Esto sugiere que el caolín puede tener un efecto positivo en la calidad de las bayas, al mantener una mayor acidez en el mosto, lo cual es muy interesante en el contexto del cambio climático.

En las uvas provenientes de las plantas tratadas con caolín, se observó un aumento del 16% en el índice de polifenoles totales en comparación con las uvas de las plantas de control (tabla 4). Este aumento en la concentración de polifenoles es consistente con lo que han encontrado varios investigadores (Khaleghi et al., 2015; Kok and Bal, 2018; Dinis et al., 2020), quienes también reportaron un incremento en las

concentraciones de antocianos y fenoles en las bayas al final de la maduración en respuesta a tratamientos con caolín.

Este fenómeno se explicaría por la capacidad de las plantas tratadas con caolín para adaptarse mejor a la radiación solar excesiva. La película de caolín actúa como un escudo protector, reduciendo la pérdida de agua al disminuir la temperatura de los tejidos de las hojas y frutos (Khaleghi et al., 2015). Esta reducción en la temperatura ayuda a mitigar el estrés causado por el calor, lo que favorece la acumulación de compuestos fenólicos en las uvas.

Por otra parte, se ha observado que el caolín estimula la vía de los fenilpropanoides y los flavonoides a nivel molecular (Conde et al., 2016; Singh et al., 2020). Estos procesos metabólicos son responsables de la síntesis de compuestos fenólicos, lo que contribuye al aumento en la concentración de polifenoles en las uvas tratadas con caolín.

El contenido de polifenoles es un indicador esencial de la calidad de la uva, ya que estos compuestos son fundamentales para las características organolépticas del vino. Los polifenoles son responsables de los sabores, aromas y colores distintivos del vino, y, además, poseen beneficios para la salud debido a sus propiedades antioxidantes.

En general, la mayoría de los parámetros CIELab no mostraron diferencias significativas entre los mostos analizados (tabla 4). Sin embargo, hay un aspecto que cabe resaltar: el mosto proveniente de las vides tratadas con caolín presentó valores más altos de luminosidad en comparación con las plantas de control. Este aumento en la luminosidad del mosto de las vides tratadas podría tener implicaciones en la calidad organoléptica del vino final. La luminosidad de un vino puede afectar su apariencia visual y la percepción sensorial del consumidor.

Tabla 4: Parámetros de la composición del mosto obtenidos en la cosecha del ensayo de aplicación de caolín.

Parámetros	Testigo	Caolín	Significación
Composición del mosto			
°Brix	21,30 ± 0,25	21,30 ± 0,38	ns
pH	3,43 ± 0,0	3,40 ± 0,05	*
Acidez total (g/L)	6,15 ± 0,17	6,24 ± 0,09	ns
Ácido tartárico (g/L)	4,97 ± 2,72	4,01 ± 1,28	ns
Ácido málico (g/L)	2,58 ± 0,27	2,36 ± 0,31	ns
Índice de polifenoles totales	13,01 ± 1,64	15,54 ± 1,81	*
Nitrógeno Fácilmente Asimilable (mg/L)	180,32 ± 5,54	176,40 ± 13,35	ns
Potasio (mg/L)	1715,37 ± 268,15	1162,04 ± 407,99	ns
Parámetros CIELab			
L*	88,16 ± 2,27	91,46 ± 1,55	*
a*	0,32 ± 0,04	0,29 ± 0,06	ns
b*	9,34 ± 0,58	14,93 ± 17,23	ns
C	9,35 ± 0,58	7,94 ± 0,90	ns
h	88,05 ± 0,10	88,02 ± 0,15	ns

* Diferencias significativas (p<0,05)

4.4 Efecto del caolín en la composición del vino

Los resultados presentados en la tabla 5 indican que la aplicación de caolín no tuvo un impacto significativo en los parámetros medidos de la composición del vino en comparación con el tratamiento testigo. Específicamente, no se observaron diferencias significativas en el pH, acidez total, índice de polifenoles totales, grado alcohólico, acidez volátil, capacidad antioxidante y parámetros de color.

Tabla 5: Valores medios de la composición del vino obtenidos en el ensayo de aplicación de caolín.

Composición del vino	Testigo	Caolín	Significación
pH	3,65 ± 0,03	3,63 ± 0,05	ns
Acidez total (g/L)	6,21 ± 0,4	5,98 ± 0,24	ns
Índice de polifenoles totales	6,41 ± 0,21	6,49 ± 0,24	ns
Grado alcohólico	14,5 ± 0,6	14,6 ± 0,3	ns
Acidez volátil (g/L)	0,387 ± 0,074	0,322 ± 0,091	ns
Capacidad Antioxidante (mM Tolox)	1,82 ± 0,45	1,83 ± 0,45	ns
Parámetros CIELab			
L*	94,2 ± 10,78	98,02 ± 0,1	ns
a*	0,33 ± 0,04	0,33 ± 0,04	ns
b*	1,49 ± 0,16	1,51 ± 0,21	ns
C	1,53 ± 0,16	1,55 ± 0,22	ns
h	103,4 ± 0,74	103,12 ± 0,73	ns

* Diferencias significativas ($p < 0,05$)

Estos resultados sugieren que las diferencias observadas en las características de los mostos podrían tener un efecto limitado en las propiedades físico-químicas de los vinos. Los efectos de los tratamientos de caolín en el vino podrían ser variables en función de la variedad de uva, las condiciones de cultivo y los métodos de vinificación. Sería interesante desarrollar en un futuro nuevas investigaciones sobre estos aspectos.

5. Conclusiones

Los resultados preliminares obtenidos en este estudio indican que el tratamiento con caolín tuvo un efecto positivo en la fisiología de las plantas al mejorar la eficiencia del fotosistema II. Además, la aplicación de la película de caolín influyó positivamente en la composición de las uvas de la variedad Verdejo, si bien estos cambios no se trasladaron a los parámetros del vino analizados en el ensayo.

En particular, las uvas tratadas con caolín mostraron un aumento en el contenido de compuestos fenólicos, lo que puede ser beneficioso para la calidad y características organolépticas del vino. También se observó que los mostos obtenidos a partir de las uvas tratadas presentaron un menor pH y una mayor luminosidad de color. Estos resultados sugieren que el tratamiento con caolín puede contribuir a mejorar la calidad de las uvas destinadas a la producción de vino blanco.

6. Bibliografía

- Aerny, J. (1996). Composés azotés des moûts et des vins. *Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic.*, 28(3), 161–165.
- Armas, C. I. (2014). *Viticultura y cambio climático*. Trabajo de Fin de Grado, Universidad de la Rioja.
- Baker, N. R. (2008). Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis in vivo. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 89-113.
- Bernardo, S., Dinis, L. T., Luzio, A., Pinto, G., Meijón, M., Valledor, L., ... & Moutinho-Pereira, J. (2017). Kaolin particle film application lowers oxidative damage and DNA methylation on grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 139, 39–47.
- Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R., & Riahi, K. (2008). Climate change 2007: synthesis report. *IPCC 2007*.
- Boari, F., Donadio, A., Schiattone, M. I., & Cantore, V. (2015). Particle film technology: A supplemental tool to save water. *Agricultural Water Management*, 147, 154-162.
- Brito, C., Dinis, L. T., Ferreira, H., Rocha, L., Pavía, I., Moutinho-Pereira, J., & Correia, C. M. (2008). Kaolin particle film modulates morphological, physiological, and biochemical olive tree responses to drought and rewatering. *Plant Physiology Biochemistry*, 133, 29-39.
- Brito, C., Dinis, L. T., Moutinho-Pereira, J., & Correia, C. (2019). Kaolin: An emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. *Scientia Horticulturae*, 250, 310-316.
- Brillante, L., Belfiore, N., Gaiotti, F., Lovat, L., Sansone, L., Poni, S., & Tomasi, D. (2016). Comparing kaolin and pinolene to improve sustainable grapevine production during drought. *PLoS ONE*, 11(6), e0156631.
- Cantore, V., Pace, B., & Albrizio, R. (2009). Kaolin-based particle film technology affects tomato physiology, yield and quality. *Environmental and Experimental Botany*, 66(2), 279-288.
- Cataldo, E., Fucile, M., & Mattii, G. B. (2022). Effects of kaolin and shading net on the ecophysiology and berry composition of Sauvignon Blanc grapevines. *Agriculture*, 12(4), 491.
- Chapman, D. M., Matthews, M. A., & Guinard, J. X. (2004). Sensory attributes of Cabernet Sauvignon wines made from vines with different crop yields. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55(4), 325-334.
- Choné, X., van Leeuwen, C., Chéry, P., & Ribéreau-Gayon, P. (2001). Terroir influence on water status and nitrogen status of non-irrigated Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera*): Vegetative development, must and wine composition (Example of a Medoc top estate vineyard, Saint Julien area, Bordeaux 1997). *South African Journal for Enology and Viticulture*, 22(1), 8-15.
- Comisión Europea. (1990). *Reglamento (CEE) nº 2676/90 del 17 de septiembre de 1990 por el que se determinan los métodos oficiales de análisis de vinos, zumos y mostos de uva*. Diario Oficial de las Comunidades Europeas L272 (3 de octubre de 1990), 1-192.
- Conde, A., Pimentel, D., Neves, A., Dinis, L. T., Bernardo, S., Correia, C. M., ... & Moutinho-Pereira, J. (2016). Kaolin foliar application has a stimulatory effect on

phenylpropanoid and flavonoid pathways in grape berries. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1150.

Conde, A., Neves, A., Breia, R., Pimentel, D., Dinis, L. T., Bernardo, S., ... & Moutinho-Pereira, J. (2018). Kaolin particle film application stimulates photoassimilate synthesis and modifies the primary metabolome of grape leaves. *Journal of Plant Physiology*, 223, 47-56.

D'Aquino, S., Cocco, A., Ortu, S., & Schirra, M. (2011). Effects of kaolin-based particle film to control *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) infestations and postharvest decay in citrus and stone fruit. *Crop Protection*, 30(8), 1079-1086.

Dinis, L. T., Bernardo, S., Conde, A., Pimentel, D., Ferreira, H., Félix, L., ... & Moutinho-Pereira, J. (2016). Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress. *Journal of Plant Physiology*, 191, 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.12.005>

Dinis, L. T., Ferreira, H., Pinto, G., Bernardo, S., Correia, C. M., & Moutinho-Pereira, J. (2016a). Kaolin-based foliar reflective film protects photosystem II structure and function in grapevine leaves exposed to heat and high solar radiation. *Photosynthetica*, 54(1), 47–55.

Dinis, L. T., Bernardo, S., Matos, C., Malheiro, A., Flores, R., Alves, S., ... & Moutinho-Pereira, J. (2020). Overview of kaolin outcomes from vine to wine: Cerceal white variety case study. *Agronomy*, 10(9), 1422.

Ferrara, G., Fracchiolla, M., Chami, Z. A., Camposeo, S., Lasorella, C., Pacifico, A., ... & Montemurro, P. (2012). Effects of mulching materials on soil and performance of cv. Nero di Troia grapevines in the Puglia Region, southeastern Italy. *American Journal of Enology and Viticulture*, 63(2), 269–276. <https://doi.org/10.5344/ajev.2011.11092>

Fraga, H., & Santos, J. A. (2018). Vineyard mulching as a climate change adaptation measure: Future simulations for Alentejo, Portugal. *Agricultural Systems*, 164, 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.04.006>

Froni, T., Saracino, S., Squeri, C., Tombesi, S., Palliotti, A., Sabbatini, P., Magnanini, E., & Poni, S. (2019a). Understanding kaolin effects on grapevine leaf and whole-canopy physiology during water stress and re-watering. *Journal of Plant Physiology*, 153020.

Froni, T., Tombesi, S., Luciani, E., Sabbatini, P., Berríos, J. G., & Palliotti, A. (2019b). Kaolin treatments on Pinot noir grapevines for the control of heat stress damages. *BIO Web of Conferences*, 13, 04004.

García, J., Xirau, M., & Azorín, R. (2000). *Técnicas usuales de análisis en enología*. Panreac.

Garrido, A., Serôdio, J., De Vos, R., Conde, A., & Cunha, A. (2019). Influence of foliar kaolin application and irrigation on photosynthetic activity of grape berries. *Agronomy*, 9(11), 685.

Gilbert, E. J. (1998). *Medida de luz y el color*. Universidad Politécnica de Valencia.

Glenn, D. M. (2010). Canopy gas exchange and water use efficiency of "Empire" apple in response to particle film, irrigation, and microclimate factors. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 135(1), 25-32.

- Glenn, D. M. (2012). The mechanisms of plant stress mitigation by kaolin-based particle films and applications in horticultural and agricultural crops. *HortScience*, 47(6), 710-711.
- González, M. R., Hailemichael, G., Catalina, Á., & Martín, P. (2019). Combined effects of water status and iron deficiency chlorosis on grape composition in non-irrigated vineyards. *Scientia Agricola*, 76(6), 473–480.
- Hidalgo, J. (2002). *Tratado de viticultura general*. Mundi-Prensa.
- International Organisation of Vine and Wine. (2020). *Compendium of international methods of wine and must analysis*. OIV.
- Jones, G., White, M. A., Cooper, O. R., & Storchmann, K. (2005). Climate change and global wine quality. *Climatic Change*, 73, 319-343.
- Khaleghi, E., Arzani, K., Moallemi, N., & Barzegar, M. (2015). The efficacy of kaolin particle film on oil quality indices of olive trees (*Olea europaea* L.) cv. 'Zard' grown under warm and semi-arid region of Iran. *Food Chemistry*, 166, 35-41.
- Kok, D., & Bal, E. (2018). Leaf removal treatments combined with kaolin particle film technique from different directions of grapevine's canopy affect the composition of phytochemicals of cv. Muscat Hamburg (*V. Vinifera* L.). *Erwerbs-Obstbau*, 60(1), 39–45.
- Leskey, T. C., Wright, S. E., Glenn, D. M., & Puterka, G. J. (2010). Effect of Surround WP on behavior and mortality of apple maggot (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, 103(2), 394-401.
- Mira de Orduña, R. (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>
- Paciello, P., Mencarelli, F., Palliotti, A., Ceccantoni, B., Thibon, C., Darriet, P., ... & Bellincontro, A. (2017). Nebulized water cooling of the canopy affects leaf temperature, berry composition, and wine quality of Sauvignon blanc. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(4), 1267-1275.
- Palliotti, A., Tombesi, S., Silvestroni, O., Lanari, V., Gatti, M., & Poni, S. (2014). Changes in vineyard establishment and canopy management urged by earlier climate-related grape ripening: A review. *Scientia Horticulturae*, 178, 43-54.
- Pascual, S., Cobos, G., Seris, E., & González-Núñez, M. (2010). Effects of processed kaolin on pests and non-target arthropods in a Spanish olive grove. *Journal of Pest Science*, 83(2), 121-133.
- Ross, O. C. (2010). Reflective mulch effects on the grapevine environment, Pinot noir vine performance, and juice and wine characteristics. *Degree of Master of Applied Science*, Lincoln University.
- Santillán, D., Iglesias, A., La Jeunesse, I., Garrote, L., & Sotés, V. (2019). Vineyards in transition: A global assessment of the adaptation needs of grape producing regions under climate change. *Science of the Total Environment*, 657, 839-852.
- Schultz, H. (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.

Sharma, R. R., Datta, S. C., & Varghese, E. (2018). Effect of Surround WP®, a kaolin-based particle film, on sunburn, fruit cracking, and postharvest quality of 'Kandhari' pomegranates. *Crop Protection*, 114, 18-22. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.08.009>

Shellie, K., & Glenn, D. M. (2008). Wine grape response to foliar particle film under differing levels of preveraison water stress. *HortScience*, 43(5), 1392-1397.

Singh, R. K., Afonso, J., Nogueira, M., Oliveira, A. A., Cosme, F., & Falco, V. (2020). Silicates of potassium and aluminium (kaolin): Comparative foliar mitigation treatments and biochemical insight on grape berry quality in *Vitis vinifera* L. (cv. Touriga Nacional and Touriga Franca). *Biology*, 9(3), 58.

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

Sotés, V. (2018). Impactos y adaptación al cambio climático en España: El sector vitivinícola frente al desafío del cambio climático. En *Próximos retos de la viticultura*. Fundación para la Cultura de Vino, pp. 29.

Valladares, F., & Percy, R. W. (1997). Interactions between water stress, sun-shade acclimation, heat tolerance, and photoinhibition in the sclerophyll *Heteromeles arbutifolia*. *Plant, Cell & Environment*, 20(1), 25-36.

Yuste, J. (2017). Estrategias vitícolas frente al cambio climático: Influencia en la maduración tecnológica y fenólica, en el aroma y la composición nitrogenada de la uva. En *Próximos retos de la viticultura*. Fundación para la Cultura de Vino, pp. 29.

Zamora, F. (2003). *Elaboración y crianza del vino tinto: aspectos científicos y prácticos*. Madrid: Mundi-Prensa.