



DIGITAL AGRI

MASTER EN TRANSFORMACIÓN DIGITAL
DEL SECTOR AGROALIMENTARIO Y FORESTAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Evaluación de diferentes estrategias vitícolas dirigidas a paliar los efectos del cambio climático mediante imágenes UAV y establecimiento de correlaciones entre parámetros de calidad y fotogrametría UAV.

Alumno/a: Fernando Sánchez Suárez

Directores:

Francisco Javier Mesas Carrascosa

Rafael A. Peinado Amores

Fecha: Córdoba, 15 de septiembre de 2023

ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE TABLAS	3
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
1 INTRODUCCIÓN	7
1.1 CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VID Y EL VINO	7
1.2 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	9
1.3 TELEDETECCIÓN Y VITICULTURA DE PRECISIÓN	12
2 OBJETIVO	14
3 MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 ZONA DE ESTUDIO	15
3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS	15
3.3 EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL CULTIVO MEDIANTE EL USO DE TERMOGRAFÍA UAV.	16
3.4 DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA ZONA DE RACIMOS	18
3.5 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS AGRONÓMICOS DEL VIÑEDO	19
3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS	20
4 RESULTADOS	20
4.1 TEMPERATURA DEL CULTIVO UAV	20
4.2 TEMPERATURA DEL CULTIVO FLIR	23
4.3 PARÁMETROS AGRONÓMICOS	24
4.3.1 Parámetros productivos	25
4.3.2 Daños por escaldado	26
4.3.3 Parámetros vegetativos y equilibrio vegeto - productivo	27
4.4 PARÁMETROS ENOLÓGICOS	27
5 CONCLUSIONES	28
6 BIBLIOGRAFÍA	29

Índice de Figuras

Figura 1: Índices Huglin, SPE y Frío Nocturno pasados y previstos para 2099	7
Figura 2: Evolución de la fecha de diferentes estados fenológicos de la variedad Riesling en Alsacia ((Duchéne & Schneider, 2005)	8
Figura 3: Evolución de los parámetros enológicos de vinos en Languedoc (van Leeuwen et al., 2019).....	9
Figura 4: Fecha de envero media del periodo 2012-2018 de diferentes variedades en el proyecto VitiAdapt (van Leeuwen et al., 2019).....	11
Figura 5: Cinética de acumulación de azúcares de diferentes clones de Cabernet Franc (van Leeuwen et al., 2013).....	11
Figura 6: Plano de situación de los ensayos.	15
Figura 7: Descripción de los ensayos.....	16
Figura 8: Diagrama de caja y bigotes de los datos de temperatura en envero	21
Figura 9:Diagrama de caja y bigotes de los datos de temperatura en vendimia	21
Figura 10: Imagen Termográfica y puntos de muestreo en envero.	23
Figura 11: Imagen Termográfica y puntos de muestreo en vendimia.....	23
Figura 12: Imágenes termográficas de la zona de racimos en vendimia del sistema en Sprawl (izda.) y VSP (dcha.)	24
Figura 13: Porcentaje de daños por escaldado de los diferentes tratamientos.....	26

Índice de Tablas

Tabla 1: Características del vuelo.....	16
Tabla 2: Características de la plataforma UAV	17
Tabla 3: Características del doble sensor termográfico y RGB	17
Tabla 4: Características de la pistola termográfica FLIR E60	18
Tabla 5: Temperaturas medias de las plantas en cada momento de cultivo y condición de ensayo. ns: no significativo, *: p<0.05; **: p<0.01; ***: p<0.001	22

Tabla 6: Temperatura de la zona de racimos determinadas con la pistola térmica FLIRE60 en vendimia. ns: no significativo, *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$	24
Tabla 7: Número de pulgares y pámpanos en cada tratamiento. ns: no significativo, *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$	25
Tabla 8: Parámetros productivos de los diferentes ensayos. ns: no significativo, *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$	25
Tabla 9: Superficie foliar expuesta (SA) y equilibrio vegeto-productivo (SA/Rto) de los diferentes ensayos ns: no significativo, *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$	27
Tabla 10: Parámetros enológicos de los vinos obtenidos de los diferentes ensayos. TH ₂ : Ácido tartárico; AcH: Ácido acético; ns: no significativo, *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$	28

Evaluación de diferentes estrategias vitícolas dirigidas a paliar los efectos del cambio climático mediante imágenes UAV y establecimiento de correlaciones entre parámetros de calidad y fotogrametría UAV.

Fernando Sánchez Suárez

Francisco Javier Mesas Carrascosa

Rafael A. Peinado Amores

Resumen

El cambio climático es una realidad que afecta directamente a numerosos cultivos, siendo el mundo de la vid y el vino uno de los más afectados por la complejidad de los procesos que tiene lugar. En el presente trabajo se evalúan dos de las medidas que se postulan para reducir los efectos del mismo, los sistemas de conducción no posicionados (Sprawl) y la aplicación de protectores solares como el kaolin. Para su evaluación se han usado medidas remotas, mediante termografía UAV y on-ground y medidas de los parámetros habituales de campo entre los que se encuentran los factores del rendimiento y la superficie foliar expuesta. Además, se han elaborado los vinos de cada ensayo por separado y se han analizado los parámetros habituales como pH, acidez titulable y volátil, contenido en etanol y ácido málico. Entre los resultados principales destacan la menor temperatura del cultivo y mayor acumulación de azúcares en los ensayos en los que se ha aplicado kaolin y un menor porcentaje de bayas afectadas por quemaduras solares o bloqueos madurativos en los tratamientos en Sprawl y aplicaciones de kaolin, actuando ambos de modo sinérgico.

Palabras clave: Viñedo, Sprawl, Kaolin, Termografía UAV, Quemaduras solares

Assessment of different viticultural strategies aimed to mitigating the effects of climate change through UAV imagery and establishment of correlations between quality parameters and UAV photogrammetry.

Fernando Sánchez Suárez

Francisco Javier Mesas Carrascosa

Rafael A. Peinado Amores

Abstract

Climate change is an undeniable reality that directly impacts numerous crops, with the world of grapevines and wine production being among the most affected due to the complexity of the processes involved. In the present study, two measures proposed to mitigate its effects are evaluated: non-positioned training systems (Sprawl) and the application of solar protectants such as kaolin. To assess these measures, remote sensing techniques, including UAV thermography and on-ground measurements of standard field parameters, were employed. These parameters encompass yield factors and exposed leaf surface area. Furthermore, wines were produced separately for each trial, and customary parameters such as pH, titratable and volatile acidity, ethanol content, and malic acid content were analyzed. Among the key findings are lower crop temperatures and higher sugar accumulation in the trials where kaolin was applied, as well as a reduced percentage of berries affected by sunburn or maturation blockages in the Sprawl and kaolin application treatments, with both acting synergistically.

Palabras clave: Grapevine, Sprawl, Kaolin, UAV Thermography, sunburn

1 Introducción

1.1 Cambio climático en la vid y el vino

Los efectos del cambio climático son una realidad que afecta cada vez con más intensidad a todos los cultivos y procesos naturales. El mundo de la vid y el vino son uno de los sectores más perjudicados en este ámbito debido a la gran pérdida de cantidad y calidad de las cosechas y el producto final obtenido, especialmente en las regiones del arco mediterráneo más meridionales y con cultivos de secano que buscan una elevada calidad en sus productos.

Además, la previsión para las próximas décadas es que los efectos del cambio climático sean más severos y persistentes, pudiendo poner en entredicho el cultivo de la vid en las zonas más al sur de Europa, como son el caso del sur de España, Italia o Grecia. Esto se manifiesta en una predicción de sequías más prolongadas, clima más cálido y noches menos frescas, tal y como recoge la Figura 1, mediante los índices SPE, Huglin y de frío nocturno, respectivamente (Santillán et al., 2019).

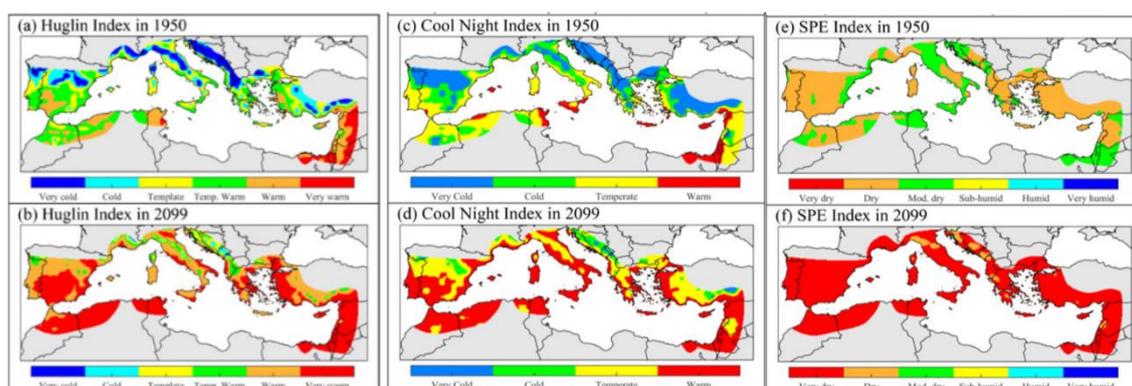


Figura 1: Índices Huglin, SPE y Frío Nocturno pasados y previstos para 2099

Como se aprecia en la Figura 1, el índice de Huglin, el cual expresa las posibilidades heliotérmicas de un medio vitícola (Hidalgo Fernández-Cano & Hidalgo Togores, 2019), está pasando España de zonas muy frías a cálidas en 1950 a una previsión de zonas cálidas o muy cálidas en 2099. Del mismo modo, el índice de frío nocturno, el cual se calcula mediante la media de las temperaturas mínimas del mes de septiembre, siendo favorable las noches frías para la acumulación de sustancias odorantes, responsables del color y mantenimiento de la acidez (Hidalgo Fernández-Cano & Hidalgo Togores, 2019). La previsión es pasar de noches muy frías a templadas en 1950 a templadas a cálidas en 2099, con la consiguiente pérdida de calidad de las cosechas.

Por su parte, el índice de sequía determina el valor de humedad de los viñedos y está muy relacionado con la calidad de la cosecha (Hidalgo Fernández-Cano & Hidalgo Togores, 2019). La previsión para España es pasar de una zona medianamente seca o seca en 1950 a una zona muy seca en 2099.

Los principales efectos pueden agruparse en dos categorías, los efectos térmicos e hídricos, traducidos en sequía. El primero de ellos se manifiesta por un aumento de la temperatura (Ramos, 2017) y, además, la severidad, duración y frecuencia de las olas de calor. La temperatura es el motor del desarrollo fenológico de los cultivos (Parker et al., 2011), es por ello por lo que un aumento de las temperaturas durante todo el ciclo se manifiesta en un adelanto fenológico (Duchéne & Schneider, 2005; van Leeuwen et al., 2019). Un ejemplo de esto se recoge en la Figura 2, donde se muestran la evolución del momento del año en el que se alcanzan los estados fenológicos principales en la variedad Riesling en la región de Alsacia y sus líneas de tendencia, todas ellas de pendiente negativa. En ella se aprecian que los adelantos se producen de forma más acusadas en los estados de envero y vendimia.

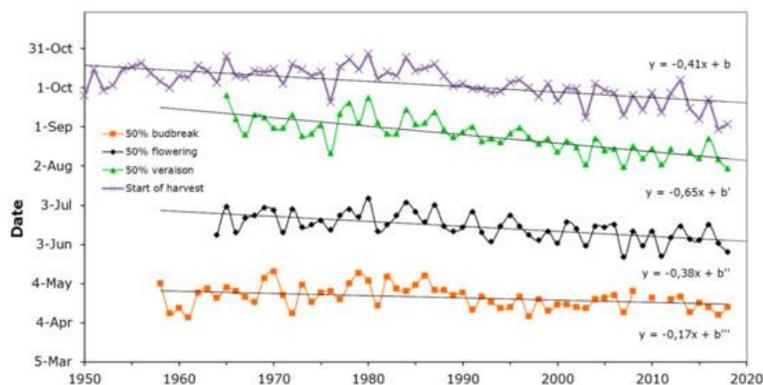


Figura 2: Evolución de la fecha de diferentes estados fenológicos de la variedad Riesling en Alsacia ((Duchéne & Schneider, 2005)

Este adelanto fenológico provoca que el momento de maduración coincida con una época más cálida que tiene diferentes efectos en la vendimia. Estos efectos son fundamentalmente maduraciones sacarimétrica y fenólica desacompañadas, teniendo, por tanto, mostos con mayor contenido en azúcares, que se transforman en vinos con una mayor graduación alcohólica. Además, estos presentan una menor acidez y un mayor pH. Como consecuencia de todo esto se ve afectada de forma negativa la calidad analítica de los mostos (van Leeuwen & Darriet, 2016). Como ejemplo se recoge en la Figura 3 los valores medios de los análisis de alcohol, acidez total y pH de cada añada de infinidad de vinos, siguiendo los tres parámetros la tónica comentada anteriormente.

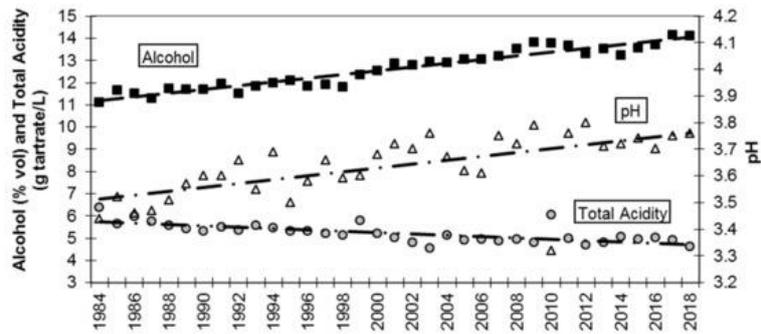


Figura 3: Evolución de los parámetros enológicos de vinos en Languedoc (van Leeuwen et al., 2019).

Por otro lado, el segundo factor en importancia es la falta de precipitaciones o que estas tengan carácter torrencial, lo que impide la infiltración del agua en el suelo y como consecuencia hay una menor disponibilidad hídrica para la vid (Ramos, 2017). Aún más grave es el efecto que las altas temperaturas tienen sobre la transpiración del cultivo, existiendo una relación directa entre ambos factores. Existe, por tanto, un círculo vicioso, ya que a los efectos de una menor disponibilidad hídrica se suman una mayor necesidad y demanda por parte de la planta (van Leeuwen et al., 2019).

Este estrés hídrico más acusado tiene como principales efectos una menor productividad y una mayor sensibilidad a golpes de calor, bloqueos madurativos y, además, una menor capacidad de respuesta de la planta a las altas temperaturas al no poder enfriarse por transpiración (van Leeuwen et al., 2019). Aun así, en determinadas ocasiones pudiera tener un efecto positivo en algunos parámetros como el observado como por algunos autores en relación con el aumento del contenido en polifenoles en la baya de variedades tintas (Ojeda et al., 2002).

1.2 Medidas de adaptación al cambio climático

Entre las medidas de adaptación a las condiciones de cambio climático pueden discernirse entre aquellas implementables en viñedos ya establecidos o aquellas que impliquen una renovación del mismo.

En viñedos ya establecidos tienen un buen efecto sobre la maduración la reducción del área foliar de las plantas, pudiéndose hacer mediante defoliaciones o despuntes (de Toda et al., 2014). El objetivo de esta técnica es reducir por un lado la superficie foliar y por ende el consumo de agua de la planta y por otro retrasar la acumulación de azúcares en las bayas, con el consiguiente retraso en la maduración sacarimétrica, acompasándose con la polifenólica (de Toda & Balda, 2013). Otra técnica es la utilización de sistemas de gestión de la vegetación no posicionados de modo que la vegetación sombree la zona de

racimos, evitando una sobreexposición de estos a la radiación solar, reduciéndose los daños por golpe de sol, las pasificaciones y/o los bloqueos madurativos (Reynolds & Vanden Heuvel, 2009). Otra técnica interesante consiste en la aplicación de protectores solares. Uno de los más utilizados en otros cultivos es el Kaolín; según diferentes autores en aplicaciones al viñedo a concentraciones entre el 3 y el 5% p/v y volúmenes de disolución comprendidos entre 500 a 1000 l/ha han conseguido importantes beneficios en las plantas, como reducción de la temperatura foliar, aumentos de fotosíntesis neta (Conde et al., 2018; L. T. Dinis et al., 2018; Garrido et al., 2019), de la acidez de los vinos y reducciones de los daños por escaldados y bloqueos madurativos de la uva (Brito et al., 2019; L.-T. Dinis et al., 2016; Luzio et al., 2021; Oliveira et al., 2022; Padua et al., 2022; Szmania et al., 2023).

Por otro lado, en nuevas plantaciones de viñedo cobran especial importancia la elección de variedades y clones de las mismas que se caractericen por tener un ciclo más largo, más resistencia a la sequía y a las altas temperaturas (van Leeuwen et al., 2019, 2013). Por ejemplo, el uso de variedades como las tintas Cariñena, Garnacha o Agliánico, las cuales son más resistentes a la sequía y poseen ciclos más largos que otras variedades más utilizadas como el Tempranillo o el Merlot. Actualmente se está realizando investigaciones sobre otras variedades minoritarias como el Xinistry (Chipre) que parecen tener un comportamiento excepcional en condiciones de sequía y altas temperaturas (Copper et al., 2020). Como muestra, en el proyecto VitiAdapt, se plantó un viñedo experimental compuesto por diferentes variedades para conocer su comportamiento en las mismas condiciones edafoclimáticas, recogiendo las fechas de envero. En la Figura 4, se aprecia una diferencia de más de 30 días en el momento de envero entre las variedades más tempranas y tardías (van Leeuwen et al., 2019).

Incluso entre clones de una misma variedad puede haber diferencias en las fechas de vendimia o en la acumulación de azúcares, pudiendo paliar uno de los efectos del cambio climático como es el aumento de la concentración de azúcares en la fecha de la vendimia y, por ende, del alcohol de los vinos. En la Figura 5 se recogen los resultados de diferentes clones de Cabernet Franc en las mismas condiciones, encontrándose una diferencia de 30 g/l de azúcar aproximadamente entre clones, lo que resultaría en prácticamente un 1,75% v/v menos de alcohol en el vino (van Leeuwen et al., 2013).

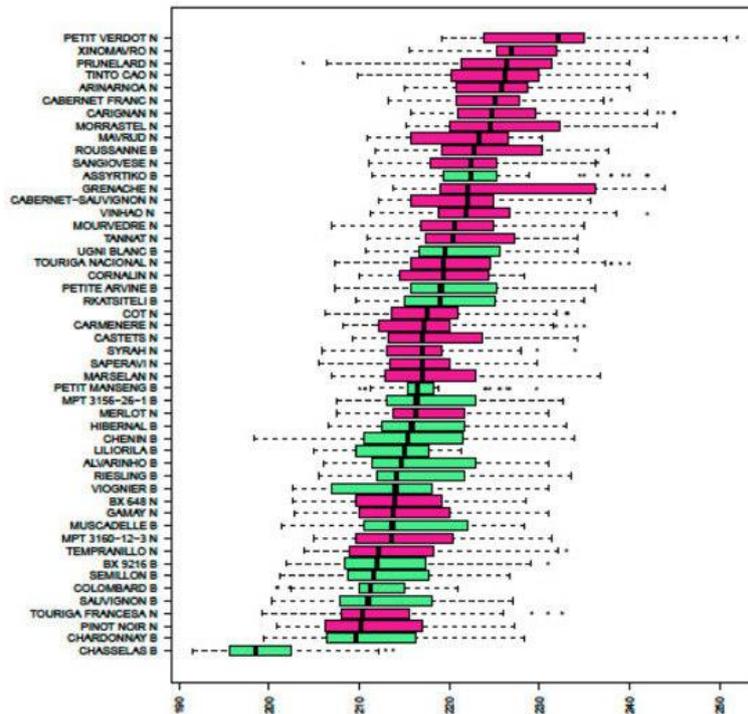


Figura 4: Fecha de envero media del periodo 2012-2018 de diferentes variedades en el proyecto VitiAdapt (van Leeuwen et al., 2019).

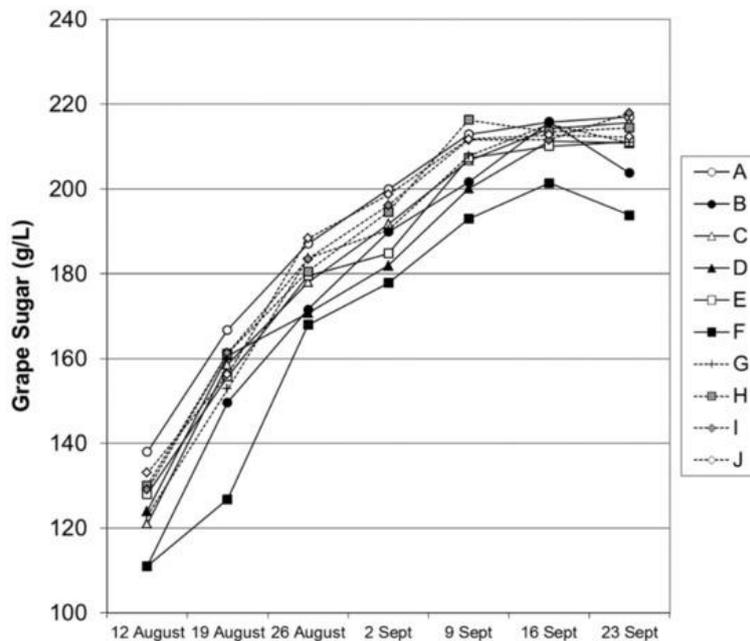


Figura 5: Cinética de acumulación de azúcares de diferentes clones de Cabernet Franc (van Leeuwen et al., 2013).

Al igual que el cambio hacia variedades más tardías y resistentes, cobra especial importancia la elección de patrones con estas mismas características, es decir, que sean resistentes a condiciones de sequía, vigorosos y que provoquen un atraso fenológico en la variedad. De esta forma, patrones como el 140-Ru o el 1103-Paulsen provenientes de cruces de *Vitis rupestris* x *Vitis berlandieri* presentan una mejor tolerancia a condiciones

de sequía que otros cruces que impliquen como parental a *Vitis riparia* (Ollat et al., 2015; Serra et al., 2014).

Por último, una de las medidas más efectivas contra las elevadas temperaturas causadas por el cambio climático sería disponer de riego en la explotación, aunque la disponibilidad de agua se encuentra limitada precisamente por el cambio climático (Intrigliolo et al., 2016).

1.3 Teledetección y Viticultura de precisión

La teledetección se define como la técnica de adquisición de datos mediante de sensores instalados en plataformas remotas sin que exista contacto físico de objetos, cubiertas o fenómenos en la Tierra, o fuera de ella. Estas plataformas se agrupan en satélites, vehículos aéreos tripulados y vehículos aéreos no tripulados (UAV, drones).

La teledetección es posible gracias a la interacción de la energía que se realiza entre la superficie terrestre y el sensor instalado en la plataforma remota. Esta energía puede provenir del Sol, sensores pasivos como cámaras térmicas, hiperespectrales, etc o de un haz energético artificial emitido por el propio sensor, sensores activos como el LIDAR o RADAR.

Por ello, mediante la teledetección es posible la toma de datos y decisiones basadas en los mismos implementándose en lo que se conoce como viticultura de precisión. La viticultura de precisión se define como una nueva modalidad de control y toma de decisiones en el viñedo basado en la adquisición de gran cantidad de datos procedentes de diversas fuentes (sensores, imágenes satélites, controles de campo, etc.) procesados digitalmente. Esto tiene como objetivo el aumento de la productividad y calidad de la uva obtenida, así como de un ahorro económico para el agricultor enmarcado en un contexto de maximización del respeto por el medio ambiente.

Entre las dos principales plataformas utilizadas, espaciales y UAV, hay diferencias sustanciales. Si bien los programas de observación de la Tierra se presentan en distintas modalidades, contando con acceso a datos de forma libre y abierta como los ofrecidos por los programas Copernicus o Landsat, estos ofrecen una resolución espaciotemporal media que no satisface los requisitos para su adecuado uso en viticultura de precisión. Tales inconvenientes son solventados mediante el uso de plataformas UAV, permitiendo capturar los datos a una muy alta resolución espaciotemporal, registrando imágenes de pocos centímetros justo en el momento necesario. No obstante, los costes del empleo de

estas plataformas presentan unos costes económicos más elevados dependiendo del sensor empleado, así como todos aquellos vinculados a un trabajo de campo.

De entre los múltiples sensores a embarcar en una plataforma UAV, los sensores termográficos permiten registrar valores de temperatura considerando a esta como una variable cuantitativa, permitiendo determinar posteriormente las diferencias térmicas entre el aire y el cultivo en cuestión. Esta diferencia térmica se encuentra a su vez estrechamente relacionada con el estrés hídrico del cultivo, ya que cuando una planta se encuentra estresada cierra sus estomas, aumentando la temperatura de la planta (Costa et al., 2010), es por ello por lo que indirectamente, la temperatura de la planta está relacionada con la conductancia estomática y ésta con el estrés hídrico del cultivo (Jones, 2002). Así autores como Ochagavía et al. (, 2011) aseguran que la temperatura de la planta está correlacionada con la conductancia estomática y ésta con el potencial hídrico, es decir, una medida directa del estrés hídrico de la planta mediante termografías de la zona cenital del viñedo y de la pared vegetal, resultando ambas igualmente útiles. Un buen ejemplo de lo anterior es el estudio llevado a cabo por (Santesteban et al., 2017) donde se compara la idoneidad del uso de termografía UAV de alta resolución para el control del estado hídrico de un viñedo en España. Entre los resultados principales se obtienen correlaciones muy elevadas ($R^2 = 0,82$ y $0,86$) entre los valores de potencial hídrico en el tallo medidos en campo y predichos por termografía UAV. Esto es un gran avance ya que la medida de potencial hídrico es una labor lenta, que debe realizarse en un corto espacio de tiempo y que limita de un modo excepcional la superficie evaluable. Resultados similares se obtuvieron en otros estudios, utilizándose en ambos el índice CWSI para caracterizar el estado hídrico de la planta. (Bellvert et al., 2014)

2 Objetivo

El objetivo del presente trabajo es la evaluación del uso de diferentes sistemas de gestión de la vegetación y de reflectores solares (kaolin) como medida paliativa de la exposición a altas temperaturas y radiación. Evaluándose mediante el uso de termografía UAV, termografía próxima y toma de datos de campo en viñedo.

Como objetivos secundarios se estudia el efecto de estos tratamientos en la calidad de los vinos obtenidos y los parámetros de rendimiento del cultivo.

3 Materiales y Métodos

3.1 Zona de estudio

El ensayo se ha llevado a cabo en un viñedo comercial propiedad de la empresa Viñas de Alange S.A. ubicado en el término municipal de Alange (Badajoz). El viñedo es de la variedad Syrah injertada sobre patrón 1103 Paulsen en condiciones de riego deficitario, 700 m³/ha. El marco de plantación es de 3 x 1,2 m (2778 plantas/ha) conducido en doble cordón Royat con una carga de 6 pulgares de dos yemas por planta (33.333 yemas/ha).

La parcela de 0,7 ha de superficie se encuentra en las coordenadas 38° 40' 10" N, 6° 16' 32" W (ETRS89) y con una altitud de 357 msnm. La ubicación de la parcela se recoge en la Figura 6.

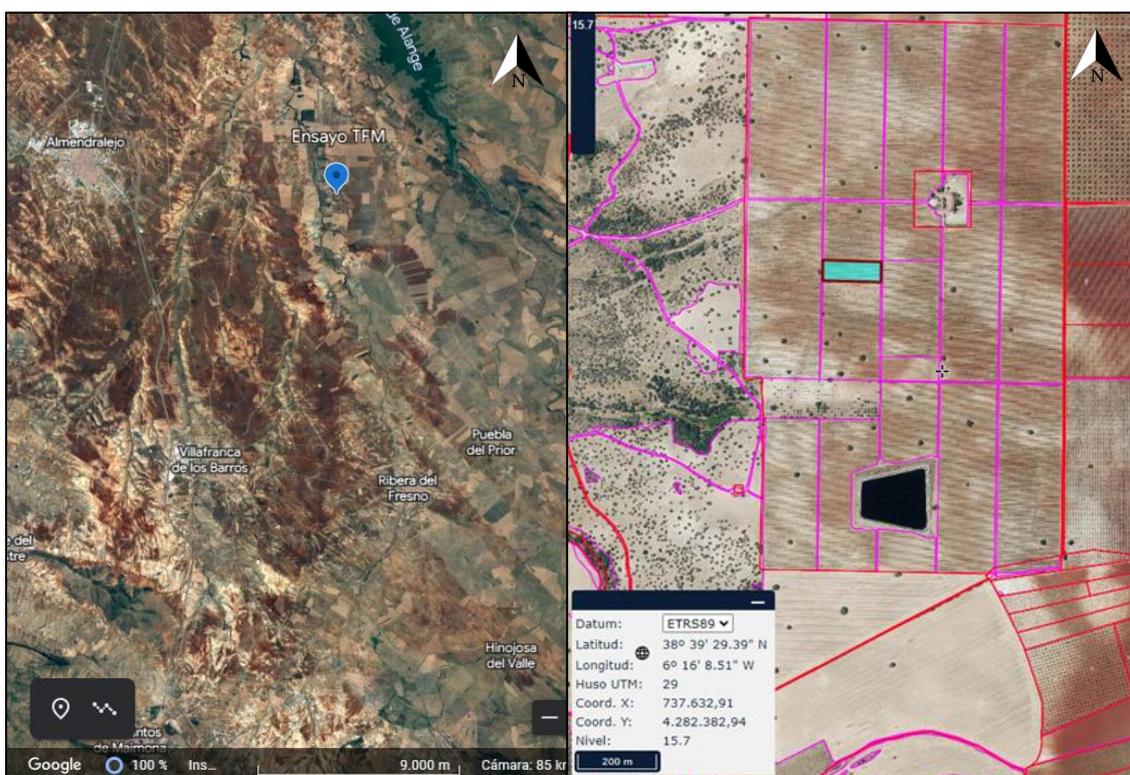


Figura 6: Plano de situación de los ensayos.

3.2 Descripción de los ensayos

Los ensayos establecidos se corresponden con:

- Sistemas de conducción: Se han evaluado dos sistemas de conducción:
 - Espaldera convencional, (VSP por sus siglas en inglés, *Vertical Shoot Positioning*): Este sistema es el habitual de la bodega y se caracteriza por el guiado vertical de los sarmientos aumentando la exposición de la uva y las hojas.

- Sprawl Asimétrico: Este sistema de conducción se caracteriza por un guiado igual al VSP en la cara norte de la espaldera y la liberación de la masa foliar en la cara sur de la misma, con el consiguiente sombreado de los racimos.
- Protector solar: Se ha empleado como protector solar kaolin, a una dosis de 5% p/v con un volumen de caldo de 1000 l/ha de un producto comercial a un 98% de pureza en días previos al inicio de envero, coincidiendo con la previsión de una ola de calor.

En cada ensayo se han empleado un total de 45 plantas distribuidas en 3 bloques de 15 plantas cada uno alternos a lo largo de la fila para minimizar las influencias del suelo o la pendiente, quedando los ensayos como aparece en la Figura 7.

Fila 1	Sprawl + Kaolin	Sprawl	Sprawl + Kaolin	Sprawl	Sprawl + Kaolin	Sprawl
Fila 2	VSP + Kaolín	VSP	VSP + Kaolín	VSP	VSP + Kaolín	VSP

Figura 7: Descripción de los ensayos

3.3 Evaluación de la temperatura del cultivo mediante el uso de termografía UAV.

Para evaluar el efecto de los diferentes ensayos se han realizado dos tomas de datos de la temperatura superficial del cultivo mediante termografía UAV en dos momentos claves del ciclo de la vid, envero y vendimia. Para ello se han realizado las tomas de datos el 27/06/2023 y 27/07/2023 coincidiendo con el 50% de envero y dos días antes del momento de vendimia, respectivamente.

Para esta toma de datos se ha utilizado como plataforma UAV un Matrice 300 RTK (SZ DJI Technology Co, Shenzhen, China) sobre el que se ha embarcado un doble sensor termográfico y RGB Zenmuse XT2 (SZ DJI Technology Co, Shenzhen, China), con las siguientes características de vuelo (Tabla 1):

Tabla 1: Características del vuelo

GSD	3,65 cm
Altura sobre el suelo	40 m
Velocidad	2,3 m/s
Solapes transversal y longitudinal	70%

Las características principales de ambos sensores se recogen en las Tablas 2 y 3, respectivamente.

Tabla 2: Características de la plataforma UAV

Matrice 300 RTK	
Tamaño	810 x 670 x 430 mm
Peso	6,3 kg
Distancia máx. de transmisión	15 km
Tiempo máx. de vuelo	55 min

Tabla 3: Características del doble sensor termográfico y RGB

Zenmuse XT2	
<i>Cámara térmica</i>	
Tamaño de la imagen	640 x 512 píxeles
Distancia focal	9 cm
Rango espectral	7,5 a 13,5 μm
Sensibilidad (NE Δ T)	<50 mk a f/1.0
<i>Cámara RGB</i>	
Tamaño de la imagen	3840 x 2160 píxeles 4K Ultra HD
Distancia focal	8 mm

Para la calibración del ortomosaico termográfico una vez procesado mediante el método de *empirical lines* se colocaron dos paneles de calibración en la zona de vuelo (blanco y negro). Una vez finalizado el vuelo se registraron sus valores de temperatura en tierra empleando una pistola termográfica FLIR E60 (Teledyne FLIR LCC, Wilsonville, Oregon, USA) calibrada según las condiciones meteorológicas del momento de captura. Posteriormente, se determinaría la recta de calibración entre la temperatura real y la relativa obtenida por el sensor termográfico embarcado en el UAV. Las principales características se recogen en la Tabla 4.

Tabla 4: Características de la pistola termográfica FLIR E60

FLIR E60	
Tamaño de la imagen	320 x 240 píxeles
Rango espectral	7,5 – 13 μm
Sensibilidad térmica	<0,05 $^{\circ}\text{C}$
Precisión	$\pm 2^{\circ}\text{C}$ o 2%

Previo al vuelo UAV se colocaron 5 puntos de apoyo topográfico, 4 en las esquinas de la zona de vuelo y uno en la zona central. Las coordenadas de estos 5 puntos se obtuvieron midiendo mediante un sensor GNSS bifrecuencia Leica GS15 en tiempo real, recibiendo correcciones mediante el protocolo NTRIP por parte de la red ERGNSS del Instituto Geográfico Nacional (<https://www.ign.es/web/gds-gnss-estaciones-permanentes>). Estos puntos posteriormente serán empleados en la fase de aerotriangulación, permitiendo determinar de forma exacta y precisa la orientación externa (posición y orientación) de cada una de las imágenes termográficas tomadas durante el vuelo. Los vuelos UAV fueron procesados mediante Pix4D mapper (Pix4D S.A., Prilly, Suiza).

Tras el postprocesado de las imágenes y obtención del ortomosaico RGB y termográfico se ha procedido a la obtención de las temperaturas del cultivo mediante el uso del software QGIS en distintas fases:

1. Obtención de una malla de puntos de muestreo que representen el centro de cada una de las plantas.
2. Buffer de muestreo de los píxeles de 0,05 m alrededor del punto de muestreo para evitar la influencia del suelo.
3. Obtención de la temperatura media del buffer antes de la calibración y extrapolación a la temperatura real mediante la recta de calibración obtenida mediante el uso de paneles radiométricos y la pistola térmica FLIRE60 calibrada según las condiciones meteorológicas del momento de captura.

3.4 Determinación de la temperatura de la zona de racimos

Además de la temperatura superficial del cultivo se ha determinado mediante una serie de imágenes termográficas tomadas pie tierra la temperatura de la zona de racimos

de los diferentes ensayos mediante el empleo de una pistola termográfica FLIRE60 calibrada según las condiciones meteorológicas del momento de captura.

Esto se ha realizado con el objetivo de completar la termografía UAV, la cual no permite la toma de datos de la temperatura de los racimos al encontrarse estos bajo el dosel de vegetación.

Para ello se han tomado un total de 12 imágenes, 3 por cada uno de los ensayos determinándose manualmente en cada una de las imágenes 3 subzonas de racimos (dcha., centro e izda.) de donde se ha extraído la temperatura media de cada una de ellas.

3.5 Determinación de parámetros agronómicos del viñedo.

Se han tomado una serie de parámetros agronómicos habituales en viñedo, con el objetivo de determinar posibles diferencias entre los tratamientos. Los parámetros determinados han sido los siguientes:

- Parámetros productivos: Se han determinado el número de pulgares, pámpanos, racimos y peso de vendimia de cada una de las cepas vendimiadas. A partir de estos datos también se ha podido obtener mediante cálculo los índices de fertilidad y peso del racimo como:

$$Fertilidad = \frac{N^{\circ} \text{ Racimos}}{N^{\circ} \text{ Pámpanos}} \quad (1)$$

$$Peso \text{ del racimo} = \frac{\text{Peso de vendimia}}{N^{\circ} \text{ Racimos}} \quad (2)$$

- Daños por escaldado: Como el objetivo de estos ensayos es minimizar los efectos del cambio climático, se ha determinado el porcentaje de los racimos afectados por pasificaciones, quemaduras y/o bloqueos madurativos, clasificándose como racimos sanos o con un 25, 50, 75 y 100% de daños por quemaduras, pasificaciones o bloqueos madurativos.
- Parámetros vegetativos: Se ha determinado la superficie foliar expuesta (SA, *Surface Area*) según las fórmulas descritas a continuación para cada uno de los sistemas de conducción (Sprawl: (3) y VSP: (4)), además de posteriormente calcular el equilibrio vegetativo-productivo como la ratio entre la superficie foliar expuesta y el rendimiento.

$$SA (Sprawl) = L * H + \pi * \frac{H + R}{2} * L \quad (3)$$

$$SA (VSP) = 2 * H * L + E * L \quad (4)$$

$$Equilibrio\ vegeto - productivo = \frac{SA}{Rendimiento} \quad (5)$$

- Parámetros enológicos: Una vez llegada la maduración de la uva se procedió a su vendimia y vinificación por separado para conocer el efecto de los diferentes ensayos en el producto final. La vinificación se realizó en depósitos de 15 l con temperatura controlada (21 ± 1 °C) y levaduras autóctonas. Se ha realizado la caracterización de los vinos obtenidos de los diferentes ensayos mediante la determinación del contenido en etanol, pH, acidez titulable y volátil y ácido málico en los vinos según los métodos de análisis oficiales de la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV).

3.6 Análisis estadístico de los resultados

Para el análisis estadístico de los resultados se ha empleado el software SPSS Statistics 25 de IBM (Armonk, Nueva York, Estados Unidos). Para conocer la existencia de diferencias significativas se ha empleado el análisis de la varianza de dos factores (ANOVA de dos factores) para conocer simultáneamente el efecto de las dos variables en los resultados, habiéndose realizado previamente la comprobación de la normalidad de los datos mediante el test de Levene. Se han etiquetado como "ns" para resultados no significativamente diferentes y "*", "**" y "***" para resultados significativamente diferentes con una probabilidad del 95, 99 y 99,9% respectivamente.

Los datos se presentan como las medias más la desviación típica.

4 Resultados

4.1 Temperatura del cultivo UAV

Se han determinado la temperatura de un total de 180 plantas, 45 de cada uno de los ensayos. Por el volumen de datos se ha recurrido a un diagrama de caja y bigotes como paso previo para detectar posibles outliers y eliminarlos. En las Figuras 8 y 9 se recogen los diagramas de cajas y bigotes con los casos extremos de los datos de enero y vendimia.

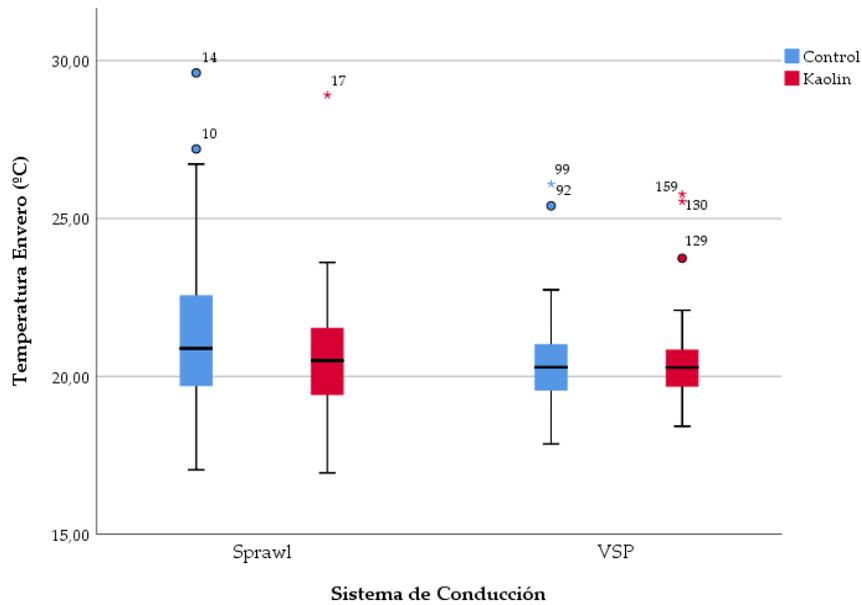


Figura 8: Diagrama de caja y bigotes de los datos de temperatura en enero

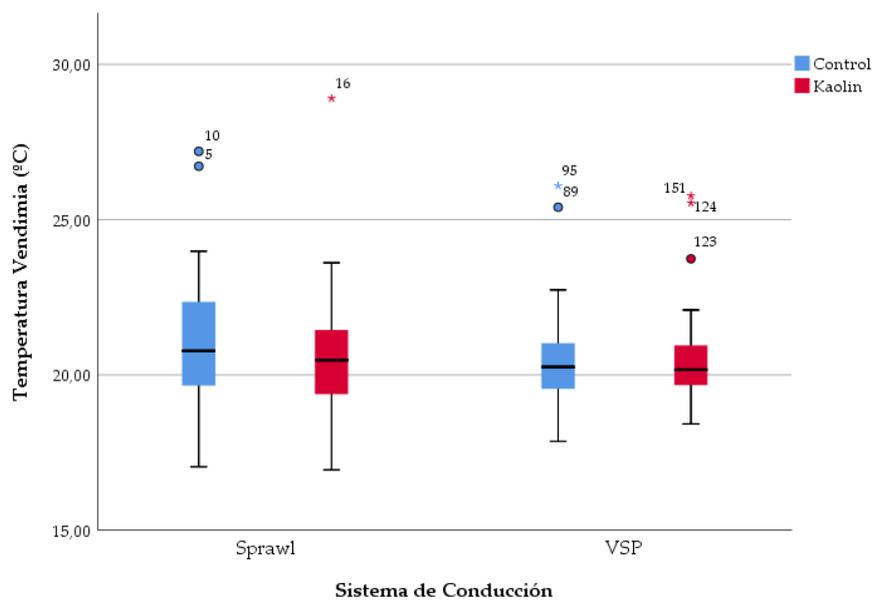


Figura 9: Diagrama de caja y bigotes de los datos de temperatura en vendimia

Se ha determinado que la temperatura superficial del cultivo ha sido más baja en los tratamientos en los que se ha aplicado kaolin frente a aquellos en los que no se ha aplicado el mismo. Concretamente se ha encontrado una reducción significativa de la temperatura de 0,88 °C y 0,76°C en el momento de enero y 0,45°C y 0,02°C en el momento de vendimia para los sistemas de conducción en Sprawl y VSP, respectivamente.

Tabla 5: Temperaturas medias de las plantas en cada momento de cultivo y condición de ensayo. ns: no significativo, *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$

	Temperatura en Envero (°C)	Temperatura en Vendimia (°C)
Sprawl + Kaolin	28 ± 2	20 ± 2
Sprawl	30 ± 3	21 ± 2
VSP + Kaolin	27 ± 2	20,1 ± 0,8
VSP	28 ± 2	20 ± 1
Protector solar	**	*
Sistema de conducción	***	ns
Sistema de conducción x Protector solar	ns	ns

Estos resultados coinciden con numerosos autores que encuentran que las plantas tratadas con kaolin presentan una temperatura inferior que aquellas no tratadas (Brillante et al., 2016; Brito et al., 2019; Correia et al., 2015; Lobos et al., 2015).

Por su parte, entre los sistemas de conducción no se han encontrado diferencias significativas en el momento de vendimia, pero sí de envero, donde la superficie foliar del ensayo en Sprawl ha tenido una mayor temperatura superficial que los ensayos en espaldera, esto puede haber sido debido a un ángulo de incidencia solar más perpendicular sobre esta superficie que sobre la espaldera.

Además, como se aprecia en las Figuras 10 y 11, la temperatura del cultivo en envero era mucho mayor en envero que en vendimia, esto sucede por dos factores que además pueden paliar las diferencias en el momento de vendimia. De un lado, en el momento de envero se produjo una ola de calor, superando valores de temperatura del aire de 40°C mientras que en vendimia eran condiciones normales. Por otro lado, y aún más importante, en el momento de envero el viñedo se encontraba en condiciones de secano, mientras que en el momento de vendimia estaba recibiendo el riego de apoyo habitual, lo que hace que la planta transpire agua con facilidad y se enfríe, encontrando menos

diferencias entre los diferentes ensayos que en un momento de estrés como fue el envero.

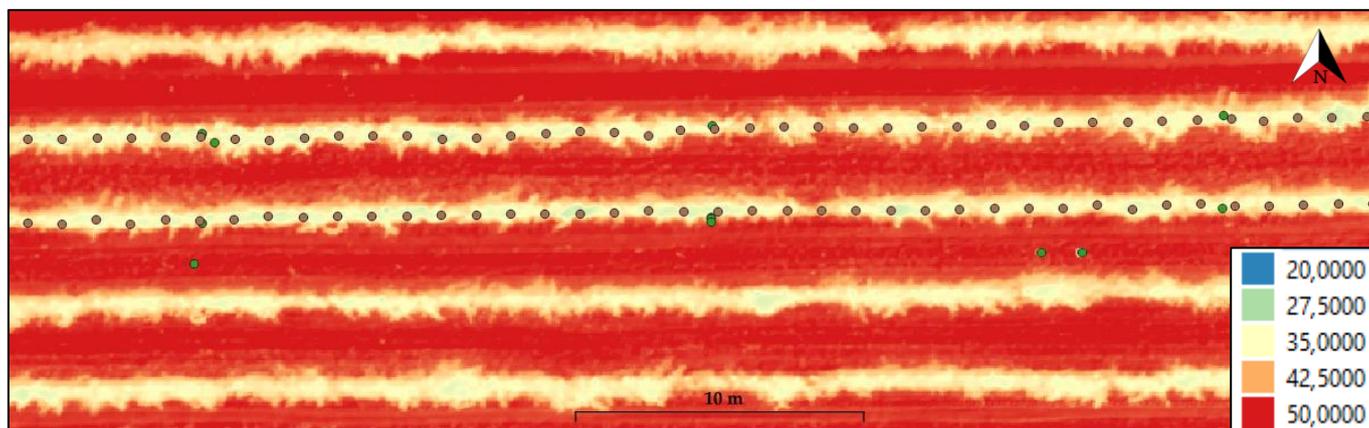


Figura 10: Imagen Termográfica y puntos de muestreo en envero.

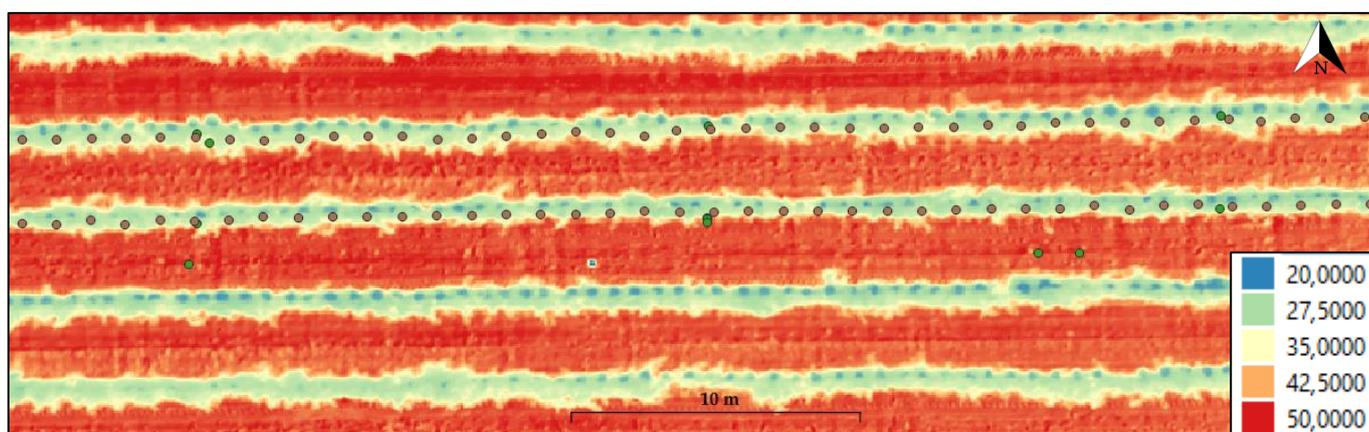


Figura 11: Imagen Termográfica y puntos de muestreo en vendimia.

4.2 Temperatura del cultivo FLIR

En cuanto a las imágenes tomadas de la zona de racimos en el momento de la vendimia, no se han encontrado diferencias significativas entre los diferentes ensayos realizados como se recoge en la Tabla 6. Esto puede explicarse en parte por una menor deposición de kaolin en los ensayos en Sprawl en la zona de racimos debido a que el propio sistema de conducción interfiere con la aplicación. Otro de los motivos ha podido ser que por encontrarse en un año especialmente seco donde no se ha conseguido generar la suficiente vegetación como para conseguir toda la cobertura vegetal deseable. Además, esto puede causar un estrés hídrico mayor en las plantas que provoque un calentamiento global de éstas por la reducción de la conductancia estomática y, por ende, de la transpiración.

Tabla 6: Temperatura de la zona de racimos determinadas con la pistola térmica FLIRE60 en vendimia. ns: no significativo, *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$

	Temperatura zona de racimos (°C)
Sprawl + Kaolin	32,3 ± 0,5
Sprawl	32 ± 1
VSP + Kaolin	32,1 ± 0,6
VSP	31,9 ± 0,5
Protector solar	ns
Sistema de conducción	ns
Sistema de conducción x Protector solar	ns

No obstante, como se aprecia en la Figura 12 a modo de ejemplo, si se detectan entre las imágenes del Sprawl con Kaolin frente al VSP control diferencias en tanto en cuanto se aprecian zonas de las hojas en el segundo muy deterioradas, con daños por radiación y muy elevada temperatura, mientras que en el primero se aprecian pocas zonas de hojas con estas características, siendo por tanto hojas mucho más funcionales que sigan siendo activas en la producción de sustancias para la uva, especialmente azúcares.

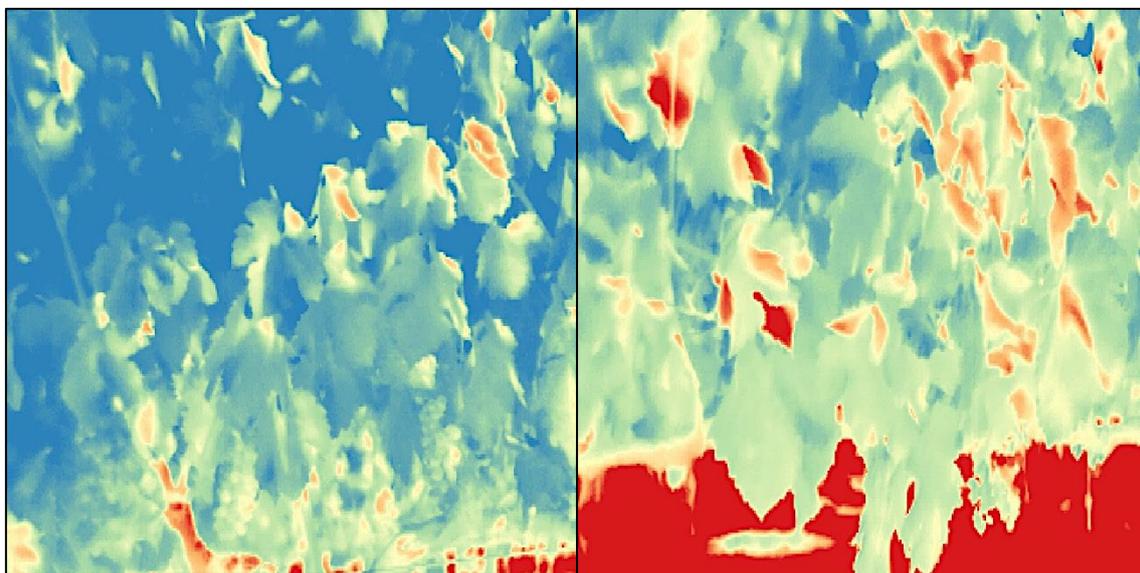


Figura 12: Imágenes termográficas de la zona de racimos en vendimia del sistema en Sprawl (izda.) y VSP (dcha.)

4.3 Parámetros agronómicos

En los parámetros agronómicos determinados en los diferentes ensayos se han determinado en dos grupos, productivos y vegetativos.

4.3.1 Parámetros productivos

Entre los parámetros productivos no se han encontrado diferencias significativas entre los tratamientos con y sin protector solar (Kaolin) según se recoge en la Tabla 7.

Por el contrario, si se aprecian diferencias significativas en el número de pámpanos entre los dos sistemas de conducción empleados, teniendo un mayor número de pámpanos el sistema de conducción libre (Sprawl).

Tabla 7: Número de pulgares y pámpanos en cada tratamiento. ns: no significativo, *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$

	Nº Pulgares	Nº Pámpanos
Sprawl + Kaolin	5,8 ± 0,4	11 ± 1
Sprawl	5,7 ± 0,5	11 ± 2
VSP + Kaolin	5,4 ± 0,7	10 ± 2
VSP	5 ± 1	9 ± 2
Protector solar	ns	ns
Sistema de conducción	ns	**
Sistema de conducción x Protector solar	ns	ns

En cuanto a los parámetros de rendimiento, se aprecian diferencias significativas similares a la Tabla 8. El número de racimos es significativamente superior en los tratamientos de Sprawl frente al VSP.

Tabla 8: Parámetros productivos de los diferentes ensayos. ns: no significativo, *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$

	Nº Racimos	Rendimiento (kg/cepa)	Peso del racimo (g)	Fertilidad (racimos/pámpano)
Sprawl + Kaolin	17 ± 5	1,2 ± 0,4	72 ± 17	1,5 ± 0,4
Sprawl	16 ± 5	1,2 ± 0,3	75 ± 12	1,4 ± 0,3
VSP + Kaolin	14 ± 4	1,0 ± 0,4	74 ± 22	1,4 ± 0,4
VSP	12 ± 4	1,0 ± 0,4	91 ± 25	1,3 ± 0,5
Protector solar	ns	ns	ns	ns
Sistema de conducción	**	ns	ns	ns
Sistema de conducción x Protector solar	ns	ns	ns	ns

No obstante, se aprecia un fenómeno de compensación habitual en el viñedo, que es que el ensayo de VSP presenta un mayor peso de racimo que el resto de los ensayos,

debido fundamentalmente al menor número de racimos. Esto hace que, aunque hay diferencia en el número de racimos, las diferencias en el rendimiento son menores.

Por parte de la fertilidad, no hay diferencias entre los diferentes tratamientos, esto es algo esperable ya que la fertilidad de los pámpanos depende de las condiciones atmosféricas y el estado de las plantas de la campaña anterior, no de la presente. En caso de repetir estos ensayos un año más, podrían verse diferencias o no.

4.3.2 Daños por escaldado

En la determinación de los daños por escaldado no se han encontrado diferencias significativas. No obstante, sí se observa una tendencia clara de menor daño por escaldado en los sistemas de conducción no posicionados y los tratamientos con kaolin frente al resto, coincidiendo con algunos autores como (Hosseinabad & Khadivi, 2019; Teker, 2023) como se aprecia en la Figura 13.

Destaca positivamente el ensayo en Sprawl + Kaolin, donde el porcentaje de racimos sin ningún tipo de daño supera el 90% y los racimos con más de un 50% de daño suman tan solo el 2% de los mismos. En el otro extremo se encuentra el sistema de conducción habitual de la bodega (VSP), donde el porcentaje de racimos completamente sanos baja hasta el 83% y aquellos con más de un 50% de daños suman el 8%.

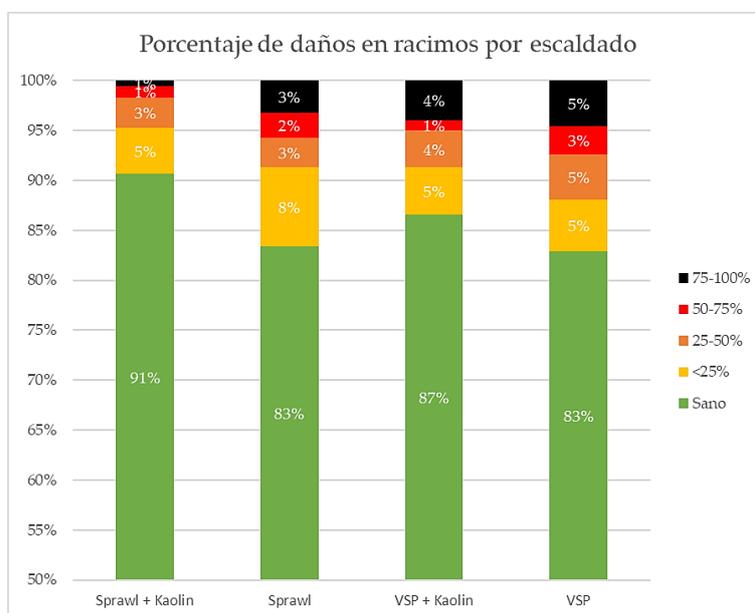


Figura 13: Porcentaje de daños por escaldado de los diferentes tratamientos.

Además, esto puede traducirse en la mejora organoléptica de los vinos, ya que los daños por escaldado y pasificaciones afectan de una forma muy significativa a la calidad organoléptica de los vinos. (Szmania et al., 2023)

4.3.3 Parámetros vegetativos y equilibrio vegeto - productivo

Como se aprecia en la Tabla 9, el equilibrio vegeto-productivo no presenta diferencias significativamente diferentes entre ambos sistemas de conducción o la aplicación de protectores solares.

Por su parte, en términos absolutos, los ensayos en Sprawl presentan una mayor superficie foliar expuesta (SA, *Surface Area*) que los ensayos en espaldera convencional. Esto es debido a que este sistema maximiza el porcentaje de hojas completamente expuestas y minimiza las hojas interiores en el sistema de conducción.

Tabla 9: Superficie foliar expuesta (SA) y equilibrio vegeto-productivo (SA/Rto) de los diferentes ensayos ns: no significativo, *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$

	SA (m ² /ha)	SA/Rendimiento (m ² /kg)
Sprawl + Kaolin	10540	3,35
Sprawl	11166	3,79
VSP + Kaolin	6516	2,53
VSP	6766	3,14
Protector solar	ns	ns
Sistema de conducción	***	ns
Sistema de conducción x Protector solar	ns	ns

4.4 Parámetros enológicos

Como se aprecia en la tabla 9, los vinos obtenidos no presentan diferencias significativas en ningún parámetro entre los sistemas de conducción empleados a excepción del contenido en ácido málico, mayor en los sistemas en Sprawl frente al VSP. Esto se explica debido a una menor exposición de los racimos al sol y por tanto una menor degradación de ácido málico en la baya como resultado de una mayor temperatura y/o radiación. (Hidalgo Togores, 2018)

Por el contrario, los vinos obtenidos de los ensayos con kaolin frente al control presentan un mayor pH y una menor acidez titulable. Entre los autores hay disparidad de resultados respecto de este parámetro, algunos autores como (Szmania et al., 2023) encontraron que los vinos obtenidos tras el tratamiento con kaolin presentan mayor acidez que los homólogos sin aplicación, tanto en los tratamientos defoliados como

aquellos sin defoliación basal. Sin embargo, otros autores no encuentran diferencias entre los tratamientos (Brillante et al., 2016; Teker, 2023b).

Tabla 10: Parámetros enológicos de los vinos obtenidos de los diferentes ensayos. TH₂: Ácido tartárico; AcH: Ácido acético; ns: no significativo, *: p<0.05; **: p<0.01; ***: p<0.001

	pH	Acidez titulable (g/l TH ₂)	Acidez volátil (g/l AcH)	Capacidad tampón (meq/l)	Etanol (% v/v)	Ácido málico (g/l)
Sprawl + Kaolin	3,44 ± 0,04	6,80 ± 0,06	0,77 ± 0,02	1,39 ± 0,04	16,8 ± 0,1	1,41 ± 0,04
Sprawl	3,28 ± 0,03	7,04 ± 0,04	0,74 ± 0,08	1,47 ± 0,03	15,5 ± 0,2	1,54 ± 0,04
VSP + Kaolin	3,40 ± 0,03	6,88 ± 0,06	0,79 ± 0,02	1,33 ± 0,02	17,0 ± 0,1	1,34 ± 0,04
VSP	3,34 ± 0,04	6,98 ± 0,08	0,72 ± 0,07	1,45 ± 0,02	16,0 ± 0,2	1,22 ± 0,03
Protector solar	***	**	ns	**	***	ns
Sistema de conducción	ns	ns	ns	ns	**	***
Sistema de conducción x Protector solar	*	ns	ns	ns	**	***

Respecto del contenido en etanol, los vinos con el tratamiento con Kaolin destacan por un mayor contenido alcohólico, previsible según los datos de los mostos de partida. Esto es explicable ya que como se aprecia en el punto 4.2, los tratamientos con esta arcilla resultan en hojas con menor temperatura y, por ende, mayor eficiencia fotosintética, ya que a altas temperaturas comienza la degradación de la clorofila y el mal funcionamiento de los fotosistemas encargados de la cadena de transporte de electrones. (Bernardo et al., 2021; L.-T. Dinis et al., 2016; Garrido et al., 2019)

5 Conclusiones

Del presente trabajo se puede extraer como conclusión principal que los tratamientos con kaolin y los sistemas que maximizan el sombreado de los racimos pueden ser medidas útiles para paliar los efectos del cambio climático ya que por separado o mediante la combinación de los mismos consiguen:

- Reducir la incidencia de quemaduras y escaldados de las bayas y daños por radiación en hojas.

- Mejoran la eficiencia fotosintética y por tanto la acumulación de sustancias en la uva, con el consiguiente aumento del contenido en etanol.

Por parte del UAV, la temperatura determinada ha permitido detectar diferencias según protector solar en envero y vendimia y sistemas de conducción en envero. En resumen, la temperatura ha presentado cambios, aunque estos se hayan reflejado únicamente en un aumento de etanol en los vinos obtenidos.

Debe destacarse que los resultados en términos generales no son concluyentes y deberían repetirse los ensayos en varias campañas a fin de confirmar las tendencias y resultados obtenidos ya que el año de ensayo ha sido extremadamente anómalo, especialmente marcado por unas lluvias muy escasas y una vendimia adelantada, haciendo énfasis en el efecto del riego.

6 Bibliografía

- Bellvert, J., Zarco-Tejada, P. J., Girona, J., & Fereres, E. (2014). Mapping crop water stress index in a 'Pinot-noir' vineyard: comparing ground measurements with thermal remote sensing imagery from an unmanned aerial vehicle. *Precision Agriculture*, 15(4), 361–376. <https://doi.org/10.1007/s11119-013-9334-5>
- Bernardo, S., Dinis, L.-T., Luzio, A., Machado Nelson and Vives-Peris, V., Lopez-Climent, M. F., Gomez-Cadenas, A., Zacarias, L., Jesus Rodrigo, M., Malheiro, A. C., Correia, C., & Moutinho-Pereira, J. (2021). Particle film technology modulates xanthophyll cycle and photochemical dynamics of grapevines grown in the Douro Valley. *PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY*, 162, 647–655. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.038>
- 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). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156631>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.070>
- Conde, A., Neves, A., Breia, R., Pimentel Diana and Dinis, L.-T., Bernardo, S., Correia, C. M., Cunha, A., Geros, H., & 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.
<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.02.004>
- Copper, A. W., Collins, C., Bastian, S., Johnson, T., Koundouras, S., Karaolis, C., & Savvides, S. (2020). Vine performance benchmarking of indigenous Cypriot grape varieties Xynisteri and Maratheftiko. *OENO One*, 54(4), 935–954.
<https://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.4.3863>
- Correia, C. M., Dinis, L.-T., Fraga, H., Pinheiro, R., Ferreira, H. M., Costa, J., Goncalves, I., Oliveira, A. A., Pinto, G., Santos, J. A., Malheiro, A. C., & Moutinho-Pereira, J. M. (2015). Enhanced yield and physiological performance of Mediterranean grapevines through foliar kaolin spray. In D. Edwards & G. Oldroyd (Eds.), *AGRICULTURE AND CLIMATE CHANGE - ADAPTING CROPS TO INCREASED UNCERTAINTY (AGRI 2015)* (Vol. 29, pp. 247–248). ELSEVIER SCIENCE BV.
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.295>
- Costa, J. M., Grant, O. M., & Chaves, M. M. (2010). Use of Thermal Imaging in Viticulture: Current Application and Future Prospects. In *Methodologies and Results in Grapevine Research* (pp. 135–150). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9283-0_10
- de Toda, F., & Balda, P. (2013). Delaying berry ripening through manipulating leaf area to fruit ratio. *Vitis: Journal of Grapevine Research*, 52, 171–176.
- de Toda, F., Sancha, J., Zheng, W., & Balda, P. (2014). Leaf area reduction by trimming, a growing technique to restore the anthocyanins: Sugars ratio decoupled by the warming climate. *VITIS*, 53, 189–192.
- Dinis, L. T., Malheiro, A. C., Luzio, A., Fraga, H., Ferreira, H., Gonçalves, I., Pinto, G., Correia, C. M., & Moutinho-Pereira, J. (2018). Improvement of grapevine physiology and yield under summer stress by kaolin-foliar application: water relations, photosynthesis and oxidative damage. *Photosynthetica*, 56(2), 641–651.
<https://doi.org/10.1007/s11099-017-0714-3>
- Dinis, L.-T., Ferreira, H., Pinto, G., Bernardo, S., Correia, C. M., & Moutinho-Pereira, J. (2016). 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. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0156-8>

- Duchéne, E., & Schneider, C. (2005). Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace. *Agronomy for Sustainable Development*, 25(1), 93–99. <https://doi.org/10.1051/agro:2004057>
- Garrido, A., Serodio, J., De Vos, R., Conde, A., & Cunha, A. (2019). Influence of Foliar Kaolin Application and Irrigation on Photosynthetic Activity of Grape Berries. *AGRONOMY-BASEL*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/agronomy9110685>
- Hidalgo Fernández-Cano, L., & Hidalgo Togados, J. (2019). *Tratado de Viticultura. Volumen I y II*. Mundi Prensa.
- Hidalgo Togados, J. (2018). *Tratado de Enología. Volumen I y II*. Mundi-Prensa Libros.
- Hosseinabad, A., & Khadivi, A. (2019). Foliar application of kaolin reduces the incidence of sunburn in ‘Thompson Seedless’ grapevine. *EUROPEAN JOURNAL OF HORTICULTURAL SCIENCE*, 84(3), 171–176. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2019/84.3.7>
- Intrigliolo, D. S., Lizama, V., García-Esparza, M. J., Abrisqueta, I., & Álvarez, I. (2016). Effects of post-veraison irrigation regime on Cabernet Sauvignon grapevines in Valencia, Spain: Yield and grape composition. *Agricultural Water Management*, 170, 110–119. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.020>
- Jones, H. G. (2002). Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 53(378), 2249–2260. <https://doi.org/10.1093/jxb/erf083>
- Lobos, G. A., Acevedo-Opazo, C., Guajardo-Moreno, A., Valdes-Gomez, H., Taylor, J. A., & Felipe Laurie, V. (2015). Effects of kaolin-based particle film and fruit zone netting on Cabernet-Sauvignon grapevine physiology and fruit quality. *JOURNAL INTERNATIONAL DES SCIENCES DE LA VIGNE ET DU VIN*, 49(2), 137–144.
- Luzio, A., Bernardo, S., Correia, C., Moutinho-Pereira, J., & Dinis, L.-T. (2021). Phytochemical screening and antioxidant activity on berry, skin, pulp and seed from seven red Mediterranean grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) treated with kaolin foliar sunscreen. *SCIENTIA HORTICULTURAE*, 281. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109962>

- Ochagavía, H., Grant, O. M., Baluja, J., Diago, M. P., & Tardáguila, J. (2011). Exploring zenithal and lateral thermography for the assessment of vineyard water status. *Proceedings of 17th International Symposium of GiESCO*.
- Ojeda, H., Andary, C., Kraeva, E., Carbonneau, A., & Deloire, A. (2002). Influence of Pre- and Postveraison Water Deficit on Synthesis and Concentration of Skin Phenolic Compounds during Berry Growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(4), 261–267. <https://www.ajevonline.org/content/53/4/261.1>
- Oliveira, A., Dinis, L.-T., Santos, A. A., Fontes, P., Carnellosi, M., Fagundes, J., & Oliveira-Junior, L. (2022). Particle Film Improves the Physiology and Productivity of Sweet Potato without Affecting Tuber's Physicochemical Parameters. *AGRICULTURE-BASEL*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/agriculture12040558>
- Ollat, N., Peccoux, A., Papura, D., Esmenjaud, D., Marguerit, E., Tandonnet, J. -P., Bordenave, L., Cookson, S. J., Barrieu, F., Rossdeutsch, L., Lecourt, J., Lauvergeat, V., Vivin, P., Bert, P. -F., & Delrot, S. (2015). Rootstocks as a component of adaptation to environment. In *Grapevine in a Changing Environment* (pp. 68–108). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118735985.ch4>
- Padua, L., Bernardo, S., Dinis, L.-T., Correia Carlos and Moutinho-Pereira, J., & Sousa, J. J. (2022). The Efficiency of Foliar Kaolin Spray Assessed through UAV-Based Thermal Infrared Imagery. *REMOTE SENSING*, 14(16). <https://doi.org/10.3390/rs14164019>
- Parker, A. K., De Cortázar-Atauri, I. G., Van Leeuwen, C., & Chuine, I. (2011). General phenological model to characterise the timing of flowering and veraison of *Vitis vinifera* L. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17(2), 206–216. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00140.x>
- Ramos, M. C. (2017). Projection of phenology response to climate change in rainfed vineyards in north-east Spain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 247, 104–115. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.07.022>
- Reynolds, A. G., & Vanden Heuvel, J. E. (2009). Influence of Grapevine Training Systems on Vine Growth and Fruit Composition: A Review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 60(3), 251–268. <https://doi.org/10.5344/ajev.2009.60.3.251>

- Santesteban, L. G., Di Gennaro, S. F., Herrero-Langreo, A., Miranda, C., Royo, J. B., & Matese, A. (2017). High-resolution UAV-based thermal imaging to estimate the instantaneous and seasonal variability of plant water status within a vineyard. *Agricultural Water Management*, 183, 49–59. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.026>
- Santillán, D., Sotés, V., Iglesias, A., & Garrote, L. (2019). Adapting viticulture to climate change in the Mediterranean region: Evaluations accounting for spatial differences in the producers-climate interactions. *BIO Web of Conferences*, 12, 01001. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191201001>
- Serra, I., Strever, A., Myburgh, P. A., & Deloire, A. (2014). Review: the interaction between rootstocks and cultivars (*Vitis vinifera* L.) to enhance drought tolerance in grapevine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 20(1), 1–14. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12054>
- Szmania, C., Waber, J., Bogs, J., & Fischer, U. (2023). Sensory and aroma impact of mitigation strategies against sunburn in Riesling. *OENO One*, 57(3), 127–140. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2023.57.3.7287>
- Teker, T. (2023a). A study of kaolin effects on grapevine physiology and its ability to protect grape clusters from sunburn damage. *Scientia Horticulturae*, 311, 111824. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2022.111824>
- Teker, T. (2023b). A study of kaolin effects on grapevine physiology and its ability to protect grape clusters from sunburn damage. *SCIENTIA HORTICULTURAE*, 311. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111824>
- van Leeuwen, C., & Darriet, P. (2016). The Impact of Climate Change on Viticulture and Wine Quality. *Journal of Wine Economics*, 11(1), 150–167. <https://doi.org/10.1017/jwe.2015.21>
- van Leeuwen, C., Roby, J.-P., Alonso-Villaverde, V., & Gindro, K. (2013). Impact of Clonal Variability in *Vitis vinifera* Cabernet franc on Grape Composition, Wine Quality, Leaf Blade Stilbene Content, and Downy Mildew Resistance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(1), 19–24. <https://doi.org/10.1021/jf304687c>
- van Leeuwen, Destrac-Irvine, Dubernet, Duchêne, Gowdy, Marguerit, Pieri, Parker, de Rességuier, & Ollat. (2019). An Update on the Impact of Climate Change in

Viticulture and Potential Adaptations. *Agronomy*, 9(9), 514.
<https://doi.org/10.3390/agronomy9090514>