



---

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

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

**Grado en enología**

Tratamientos con auxinas: una técnica para  
mejorar el potencial enológico de la uva  
Tempranillo en el contexto del cambio climático.

Alumno: Alberto Sobrino Arévalo

Tutor: Pedro Martín Peña

Cotutora: María Rosa González García

Febrero de 2025

## ÍNDICE

<b>1. RESUMEN</b> .....	1
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>2.1 EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VITICULTURA</b> .....	4
<b>2.2 LA REGULACIÓN HORMONAL DEL DESARROLLO DE LA UVA. APLICACIÓN DE AUXINAS PARA RETRASAR LA MADURACIÓN.</b> .....	5
<b>3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO</b> .....	6
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	7
<b>4.1 DISEÑO EXPERIMENTAL</b> .....	7
<b>4.2. CONTROLES Y OBSERVACIONES</b> .....	7
<b>4.2.1. CONDICIONES METEOROLÓGICAS</b> .....	7
<b>4.2.2. SEGUIMIENTO DE MADURACIÓN</b> .....	8
<b>4.2.3. CONTROLES DE VENDIMIA</b> .....	8
<b>4.3. ANÁLISIS DE MOSTOS</b> .....	9
<b>4.3.1. PH Y ACIDEZ TOTAL</b> .....	9
<b>4.3.2. GRADO BRIX</b> .....	9
<b>4.3.3. ÁCIDO MÁLICO</b> .....	9
<b>4.3.4. ÁCIDO TARTÁRICO</b> .....	9
<b>4.3.5. POTASIO</b> .....	9
<b>4.3.6. NITRÓGENO ASIMILABLE</b> .....	10
<b>4.3.7. ÍNDICE DE POLIFENOLES TOTALES</b> .....	10
<b>4.3.8. PARÁMETROS DE COLOR (CIELAB)</b> .....	10
<b>4.3.9. ANTOCIANOS TOTALES Y FACILMENTE EXTRAIBLES</b> .....	10
<b>4.4. ANÁLISIS DE DATOS</b> .....	10
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	11
<b>5.1 SEGUIMIENTO DE LA MADURACIÓN</b> .....	11
<b>5.2 COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DEL VIÑEDO</b> .....	12
<b>5.3 COMPOSICIÓN DE LA UVA</b> .....	13
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	16
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	16

## 1. RESUMEN

El cambio climático está provocando graves perjuicios económicos en muchas áreas vitivinícolas de todo el mundo. El incremento de temperaturas produce un desacoplamiento de la maduración fenólica y tecnológica de la uva, con cosechas cada vez más tempranas que dan vinos con alto contenido en alcohol, alteraciones en el perfil aromático, baja concentración de polifenoles e intensidad de color. Es crucial implementar estrategias a corto plazo para mitigar estos efectos, eficientes y de bajo coste, capaces de mantener y mejorar la calidad de los vinos sin comprometer la productividad del viñedo.

Una de las técnicas posibles es el tratamiento del racimo con auxinas como el ácido 1-naftalenacético (NAA). El tratamiento podría retrasar la maduración, de forma que fuera más equilibrada a temperaturas más bajas, mejorando así el potencial enológico de la uva.

En este trabajo se realiza un ensayo en el viñedo del campo de prácticas de la ETSIIAA con objeto de evaluar el impacto de aplicaciones de NAA y ácido salicílico sobre los racimos, previas al envero, en la cinética de maduración y los parámetros de composición de la uva cv. Tempranillo.

Los resultados mostraron que la aplicación de NAA pudo retrasar la acumulación de azúcares hasta dos semanas con respecto a las muestras no tratadas, experimentando cambios significativos en la composición de la uva. Se produjo un descenso en la concentración de compuestos fenólicos, así como en la concentración de ácido tartárico. También se produjeron cambios en los parámetros de color  $L^*$ ,  $h^*$  y  $b^*$ .

Por otro lado, la aplicación de ácido salicílico no provocó retraso en la maduración de las bayas ni cambios significativos en su composición.

El tratamiento combinado de NAA y ácido salicílico experimentó un retraso en la maduración de las bayas, no siendo tan notable como con la aplicación única de auxina. El efecto inhibitorio de la acumulación de compuestos polifenólicos ocasionada por la auxina se vio mitigada por la acción combinada con el ácido salicílico, también se produjeron cambios significativos en las concentraciones de potasio, NFA y parámetros de color.

En conclusión, la aplicación de NAA en las fases próximas al envero ocasionó un retraso de la acumulación de azúcares en las bayas manteniendo la acidez y disminuyendo la concentración de polifenoles, mitigando los efectos adversos del cambio climático sobre el potencial de calidad de la uva. La aplicación conjunta de auxina y ácido salicílico pudo compensar algunos de los efectos no deseados inducidos por los tratamientos de NAA.

## ABSTRACT

Climate change is causing severe economic damage in many wine-producing regions around the world. Rising temperatures lead to a mismatch between phenolic and technological grape ripening, resulting in increasingly early harvests that produce wines with high alcohol content, alterations in the aromatic profile, low polyphenol concentration, and reduced color intensity. It is crucial to implement short-term strategies that are cost-effective and efficient in mitigating these effects while maintaining and even enhancing wine quality without compromising vineyard productivity.

One potential technique is the treatment of grape clusters with auxins, such as 1-naphthaleneacetic acid (NAA). This treatment could delay ripening, allowing for a more balanced process at lower temperatures and thereby improving the oenological potential of the grapes.

This study presents a field trial conducted at the ETSIIAA experimental vineyard to evaluate the impact of NAA and salicylic acid applications on grape clusters before veraison, assessing their effects on ripening kinetics and the compositional parameters of cv. Tempranillo grapes.

The results showed that NAA application delayed sugar accumulation by up to two weeks compared to untreated samples, leading to significant changes in grape composition. There was a decrease in the concentration of phenolic compounds and tartaric acid. Additionally, changes were observed in the color parameters  $L^*$ ,  $h^*$ , and  $b^*$ .

On the other hand, the application of salicylic acid did not delay berry ripening or cause significant changes in its composition.

The combined treatment of NAA and salicylic acid resulted in a delayed ripening of the berries, although not as pronounced as with auxin alone. The inhibitory effect of auxin on polyphenol accumulation was mitigated by the combined action with salicylic acid, and significant changes were observed in potassium concentration, non-flavonoid anthocyanins (NFA), and color parameters.

In conclusion, the application of NAA in the pre-veraison stages delayed sugar accumulation in the berries while maintaining acid levels, mitigating the adverse effects of climate change on grape quality potential. The combined application of auxin and salicylic acid was able to counteract some of the undesirable effects induced by NAA treatments.

## 2. INTRODUCCIÓN

El sector vitivinícola en España es un componente esencial de su economía y cultura, posicionando al país como el líder mundial en extensión de superficie de viñedos, situándose en 922.920 ha en 2022 (FAOSTAT, 2022), y uno de los mayores productores de vino.

Con una producción anual que oscila entre 35 y 40 millones de hectolitros, España es un actor clave en el mercado global del vino, siendo el principal exportador mundial por volumen y el tercero por valor económico (MAPA, 2023).

En las últimas décadas se viene produciendo un cambio climático, resultando en que la temperatura global de la Tierra sea aproximadamente 1,47°C más cálida en 2024 que en el periodo preindustrial de finales del siglo XIX (1850-1900), representado en la Figura 1 (NASA, 2024).

Este cambio en la temperatura es provocado principalmente por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y metano (CH<sub>4</sub>), entre otros (Rahimpour et al., 2024).

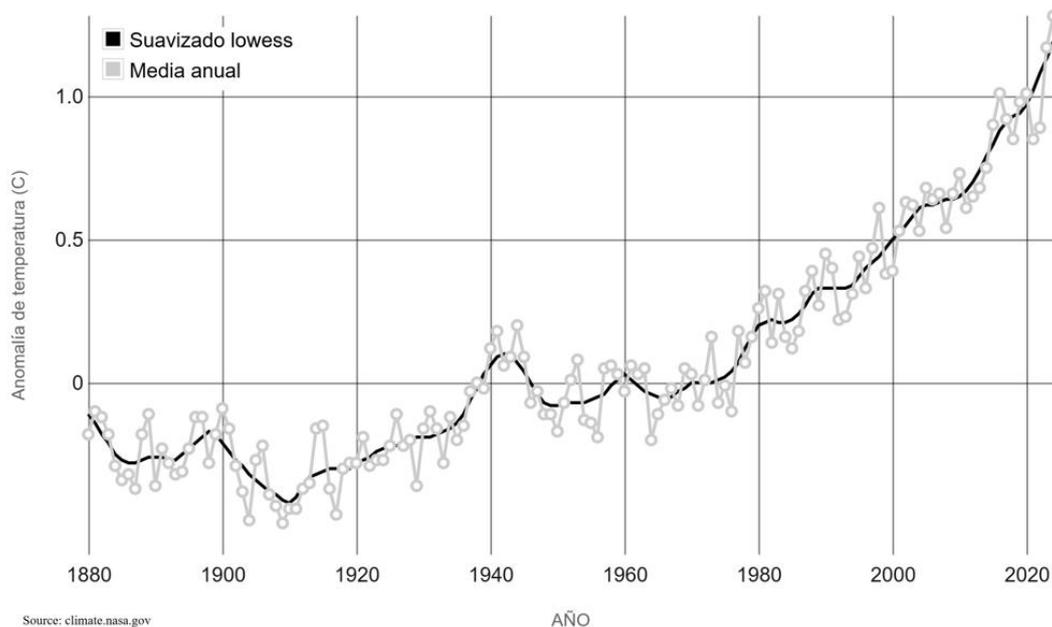


Figura 1: Tendencia al aumento de temperatura global promedio desde 1880 hasta la actualidad 2024. (Fuente: NASA, 2024)

El IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023) también advierte que, si no se toman medidas inmediatas y significativas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, el aumento de la temperatura global podría llegar a desencadenar cambios climáticos extremos y generalizados.

Estas anomalías climáticas no solo están resultando en un paulatino aumento de las temperaturas, también son causantes de alteraciones en los patrones de precipitación y eventos climáticos extremos como sequías u olas de calor (Mokhov et al., 2020), incidiendo directamente en nuestros ecosistemas, agricultura y recursos naturales.

A consecuencia de estas variaciones en las condiciones climáticas está ocurriendo que muchos cultivos sensibles al clima, como es el caso de la vid, dejen de ser viables si esta tendencia sigue en aumento (Hannah et al., 2013). Asimismo, algunos autores afirman que aquellas latitudes más frías podrían ser nuevas oportunidades para el correcto desarrollo de los diferentes cultivos (Van Leeuwen et al., 2013).

## 2.1 EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VITICULTURA

Dentro de los factores climáticos que tienen mayor impacto en el desarrollo de la vid encontramos la temperatura, importante en todas las etapas de su ciclo (Van Leeuwen y Darriet, 2016).

En este aspecto, el cambio climático está ocasionando que las vendimias sean cada vez más tempranas por la rápida acumulación de azúcares lo que está generando un cada vez mayor desacoplamiento de la madurez tecnológica con la madurez fenólica de la uva, produciendo vinos desequilibrados con elevado grado alcohólico (Jones et al., 2005) y una baja acidez aumentando el riesgo de inestabilidad microbiana (Martínez de Toda, 2018).

La madurez tecnológica, referente al momento óptimo azúcar/acidez de la baya es responsable del grado alcohólico del vino y por norma general la incipiente de determinar el momento de la vendimia mientras que la madurez fenólica es aquella que hace referencia a la concentración de polifenoles (Rajha et al., 2017), principalmente los antocianos, responsables del color indispensables para la crianza y envejecimiento del vino, y los taninos aportando estructura, estabilidad y potencial de envejecimiento al vino (Combee y McCarthy, 2000).

Por otro lado, las variaciones en las precipitaciones y los periodos de sequías u olas de calor pueden llegar a generar un estrés en la planta que conlleve a una bajada del rendimiento y aumente su vulnerabilidad frente a plagas y enfermedades (Schultz, 2016).

En vista de lo expuesto, surge la necesidad de buscar aquellas alternativas que pudiesen retrasar el inicio de maduración a fechas más tardías con temperaturas más bajas para poder así garantizar unas condiciones óptimas en el momento de la vendimia (Gutiérrez-Gamboa et al., 2021). Una maduración en fechas más tardías resultará en la elaboración de vinos más equilibrados conservándose en mayor medida la acidez, el contenido polifenólico y los aromas.

En el contexto del cambio climático, han surgido diversas técnicas para afrontar las altas temperaturas retrasando la maduración de las bayas a fechas con temperaturas más frescas, como sería el empleo de una poda tardía, mínima o no poda, o aumento de la carga con un posterior aclareo de racimos/brotes. También se podría retrasar la maduración reduciendo la actividad fotosintética por medio de recortes o deshojados (reducción de la superficie foliar) o el uso de antitranspirantes. Por otro lado, se podría reducir la temperatura de los racimos de manera aislada empleando el sombreado con redes o mallas, o pulverizando sustancias reflectantes sobre los mismos. Finalmente existe la posibilidad de realizar una doble vendimia o vendimia en dos momentos distintos (Martínez de Toda, 2018). Para lograr esta segunda vendimia se realiza un forzado de las yemas latentes del pámpano cuyo desarrollo en condiciones normales ocurre al siguiente año de su formación.

Cada una de estas prácticas puede retrasar la maduración entre 10 y 15 días, destacando que el forzado de yemas puede retrasar hasta en dos meses la maduración

de las bayas. Al combinar varias de ellas, es posible extender el retraso de la maduración entre 15 y 45 días (Martínez de Toda, 2020).

Además de estas técnicas, se ha estudiado el empleo de fitorreguladores que alteren el control hormonal de las bayas con el fin de retrasar el inicio de la maduración.

## 2.2 LA REGULACIÓN HORMONAL DEL DESARROLLO DE LA UVA. APLICACIÓN DE AUXINAS PARA RETRASAR LA MADURACIÓN.

Las fitohormonas son las encargadas del control de los diferentes procesos fisiológicos de las plantas, interaccionando de diferente manera atendiendo a la etapa en la que se encuentre. En el periodo comprendido entre la floración y maduración de las uvas, donde a medida que avanza el desarrollo de los racimos, las concentraciones y presencia de dichas hormonas se irán sucediendo como se indica en la Figura 2 (Parada Ramírez et al., 2017).

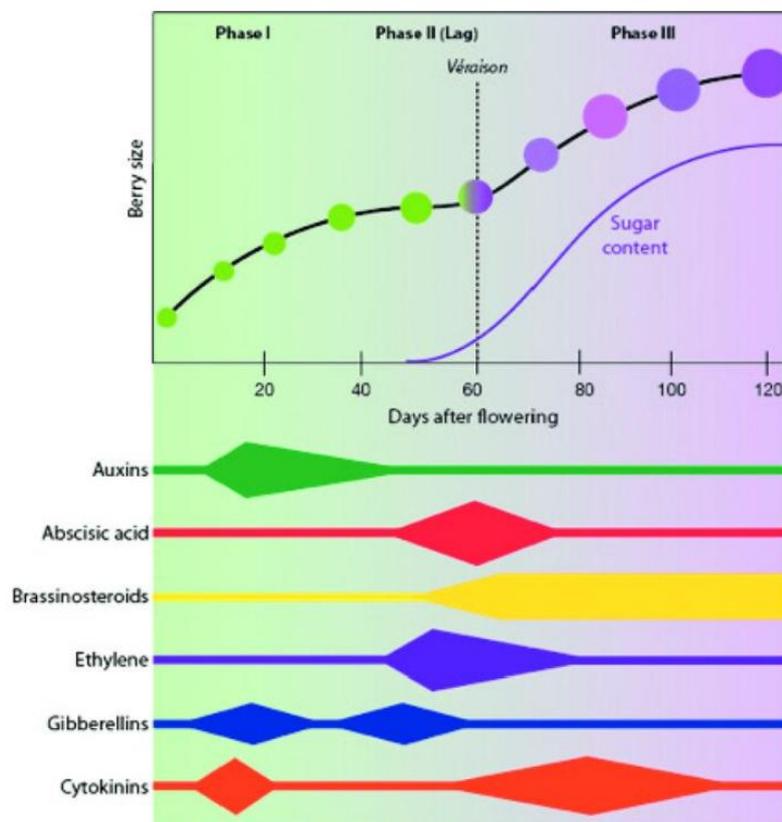


Figura 2: Representación esquemática del contenido hormonal en las etapas de desarrollo de la uva. Se muestran cambios en los niveles hormonales de auxinas, ácido abscísico, brasinosteroides, etileno, giberelinas y citoquininas. (Fuente: Parada Ramírez et al., 2017)

En la primera fase, el inicio de la floración y cuajado de las bayas, las auxinas y las giberelinas junto con las citoquininas presentan un aumento en su concentración. Las auxinas ayudan a estimular el crecimiento del ovario y las giberelinas promueven la elongación celular (Boss y Thomas, 2002).

Durante la fase herbácea del desarrollo del fruto, auxinas y giberelinas siguen presentes en el crecimiento celular, además de las citoquininas actuando en la división celular (Coombe y Hale, 1973).

Una vez llegado el envero, al ácido abscísico juega un papel fundamental marcando el inicio de la acumulación de azúcares, reblandecimiento de las bayas y cambios en la tonalidad (Giribaldi et al., 2010). El etileno también está presente, aunque no es tan dominante como en frutas climatéricas.

Durante la fase de maduración, el ácido abscísico sigue presente siendo el regulador principal de las vías metabólicas relacionadas con la síntesis de compuestos fenólicos, acumulación de azúcares y formación de aromas; el aumento de los niveles de brassinosteroides han mostrado tener un papel importante en la regulación final del tamaño del fruto y la concentración de azúcares (Symons et al., 2006).

Se ha demostrado que la aplicación de auxinas antes del envero puede retrasar el inicio de la maduración y acumulación de azúcares, incluso en varias semanas (Böttcher et al., 2021; He et al. 2020); además, se ha observado un mantenimiento en la integridad de las bayas, debido a cambios en la estructura de la pared celular.

Ziliotto et al. (2012) observaron un retraso en la acumulación de azúcares en la variedad Merlot que fue acompañado de una acumulación de antocianos y sólidos solubles más lenta que en las muestras sin tratar, pero sin obtener diferencias significativas tras su vendimia; respuesta similar tuvo el descenso de la acidez y el aumento del volumen. El retraso en la acumulación de azúcares podría atribuirse al desequilibrio hormonal provocado por la aplicación de auxinas exógenas, lo que genera alteraciones significativas en la expresión de genes relacionados con la maduración de las bayas a nivel transcripcional.

Por otro lado, el empleo de fitohormonas también es viable para aumentar la concentración de compuestos fenólicos, un ejemplo sería la aplicación de ácido salicílico (Blanch y Gomez-Jimenez, 2020).

Para conseguir este efecto es primordial que el tratamiento sea realizado en las fases próximas al envero (Oraei et al., 2019). Kraeva et al. (1998) pudieron observar un retraso en la maduración de la variedad Shiraz en dos a cuatro semanas, además de experimentar un aumento en la concentración fenólica de las bayas.

Hasta la fecha no se han realizado estudios que combinen los tratamientos de NAA y ácido salicílico en busca de una posible sinergia entre ambos, para alcanzar una vendimia de la mayor calidad posible en el escenario del cambio climático.

### **3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

El objetivo de este estudio ha sido evaluar el impacto de la aplicación de tratamientos de ácido 1-naftalenacético (NAA) y ácido salicílico sobre los racimos en las fases próximas al envero sobre la fecha de vendimia y la composición final del mosto, valorando su interés como herramienta útil para mitigar los efectos adversos del cambio climático sobre la calidad de la uva.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

El ensayo se realizó en el campo de prácticas de la ETSIIAA en 2024, parcela localizada en Palencia a 736 metros sobre el nivel del mar.

El viñedo de estudio, de 24 años de edad, pertenece a la variedad Tempranillo, injertado sobre el portainjerto 41B. Asimismo, el sistema de conducción es en espaldera en cordón Royat doble. El viñedo cuenta con riego por goteo.

El diseño experimental del ensayo es completamente aleatorizado, con tres repeticiones por tratamiento. Cada parcela elemental estuvo compuesta por tres cepas seguidas en el mismo lineo, dejando una cepa de borde entre cada dos de estas.

Los tratamientos experimentales aplicados fueron los siguientes:

-T: Testigo, sin tratar.

-S: Ácido salicílico 5 mM (675 mg/L), con dos aplicaciones aproximadamente 10 días antes del envero y al inicio del mismo.

-A: Ácido 1-naftalenacético (100 mg/L), con dos aplicaciones aproximadamente 10 días antes del envero y al inicio del mismo.

-AS: Combinación de los tratamientos A y S.

Con el objetivo de garantizar una mejor penetración de los productos se practicó, antes de aplicar los productos, un deshojado ligero en la zona de carga de las cepas en todas las repeticiones, incluyéndose los testigos.

Las aplicaciones de los tratamientos se realizaron los días 1 de agosto (10 días antes del envero) y 12 de agosto (inicio del envero).

Las aplicaciones se llevaron a cabo con pulverizadores manuales, dirigidos exclusivamente a la zona de los racimos. La aplicación se realizó desde ambos lados de la espaldera para garantizar la total cobertura de estos.

El gasto aproximado fue de 0,25 L/cepa por tratamiento, unos 450 L de caldo por hectárea.

En los caldos con tratamientos se añadió un mojante no iónico. En los tratamientos de los testigos se pulverizó agua y mojante. El producto empleado fue DYNATENS (Quimsa ITW) 0,5 ml/L.

### 4.2. CONTROLES Y OBSERVACIONES

#### 4.2.1. CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Para conocer las condiciones meteorológicas que han sucedido durante el periodo comprendido entre la pasada y actual vendimia del viñedo de estudio se han recogido los datos de la estación meteorológica de Palencia "Granja Viñalta", distante en 4 kilómetros de la zona experimental y situada a 736 metros sobre el nivel del mar.

Como podemos observar en la Tabla 1, el periodo libre de heladas de este último año agrícola comenzó a mediados de abril por lo que no existió riesgo alguno para el viñedo. Por otro lado, tenemos que el episodio donde se registraron las temperaturas más elevadas fue entre el 25 y 30 de julio superándose los 35°C y con una máxima de 37,4°C, misma máxima que la alcanzada en el mes de agosto el día 12, donde el episodio de

temperaturas máximas comprendió los días 9, 10, 11, 12 y 13 superándose también los 35°C.

En cuanto a la precipitación, destacamos los 25,6 mm caídos a finales de agosto.

Tabla 1: Temperatura máxima absoluta (Ta), temperatura media (tm), temperatura mínima absoluta (ta) y precipitación (P) mensuales desde el 1 de noviembre de 2023 hasta el 31 de octubre del 2024 en el observatorio de Viñalta, Palencia. (Fuente: AEMET)

Año	Mes	Ta (°C)	tm (°C)	ta (°C)	P (mm)
2023	NOV	18,9	9,6	-0,4	59,6
	DIC	15,8	3,9	-3,5	26,8
2024	ENE	15,9	5,3	-5,5	45,6
	FEB	18,2	6,9	-3,7	41,2
	MAR	26,3	8,4	-1,8	64,0
	ABR	27,2	10,7	-1,6	25,8
	MAY	30,1	13,1	1,1	37,4
	JUN	32,3	18,2	4,6	29,8
	JUL	37,4	23,1	9,7	4,6
	AGO	37,4	22,8	9,2	25,6
	SEP	28,7	16,0	1,4	7,2
	OCT	26,8	13,6	4,6	91,6

#### 4.2.2. SEGUIMIENTO DE MADURACIÓN

A partir del 19 de agosto, se comenzó el seguimiento de maduración, tomando como parámetros de control la acidez total y el grado Brix en cada tratamiento experimental. Las recogidas de muestra comenzaron siendo semanales, aumentando su frecuencia a medida que fueron pasando los días; la última toma se realizó el 10 de octubre con la vendimia de la muestra más tardía en su maduración.

En cada recogida se tomaron 24 bayas por cada una de las repeticiones de todos los tratamientos, incluido el testigo, para posteriormente analizar dichos parámetros, con los métodos más adelante explicados.

Las bayas se tomaron de ambos lados de la espaldera, de la parte alta, media y baja de los racimos.

En los respectivos análisis, el mosto se extrajo por medio de una licuadora de baja presión, y fue tamizada y centrifugada previamente.

#### 4.2.3. CONTROLES DE VENDIMIA

La vendimia de los sucesivos tratamientos se realizó de manera escalonada a medida que el promedio de las repeticiones (9 plantas por tratamiento) alcanzó los 22,5 grados Brix.

El control de la producción se llevó a cabo en el momento de la vendimia, determinando el número de racimos por cepa, el peso medio de los racimos y la producción total por planta. Para obtener el peso de las bayas, se tomó una muestra aleatoria de 100 bayas en cada parcela elemental el mismo día, sirviendo también para analizar los parámetros

de composición del mosto. Adicionalmente, se recolectó una muestra de 150 bayas por cada repetición destinada al análisis de la madurez fenólica.

### **4.3. ANÁLISIS DE MOSTOS**

En el mosto fresco se analizó: peso de 100 bayas, grado Brix, pH, acidez total, ácido málico y tartárico, potasio, nitrógeno fácilmente asimilable, índice de polifenoles totales, parámetros de color (CIELAB) y absorbancia a 420 nm.

En las muestras recogidas de 150 bayas se determinaron compuestos fenólicos totales y antocianos totales y fácilmente extraíbles.

#### **4.3.1. PH Y ACIDEZ TOTAL**

Para la medida del pH se empleó un pH-metro, previa calibración. Para determinar la acidez total, referente al contenido total de ácidos presentes en un vino o mosto, se empleó un valorador automático 702 SM Titrimo. La medida se basa en una valoración potenciométrica empleando NaOH 0,1N hasta viraje a pH 7.

#### **4.3.2. GRADO BRUX**

El grado Brix mide la concentración de azúcares disueltos en el mosto. Se determinó empleando un refractómetro manual, cuyo funcionamiento se basa en el índice de refracción que experimenta la luz cuando atraviesa un líquido.

#### **4.3.3. ÁCIDO MÁLICO**

Para la medida de la concentración de ácido málico se empleó un kit enzimático comercial (GAB), cuyo fundamento se basa en la reacción del ácido málico con la enzima L-malato deshidrogenasa (MDH), que lo convierte en oxaloacetato en presencia de NAD<sup>+</sup> (Nicotinamida adenina dinucleótido). Durante esta reacción, el NAD<sup>+</sup> se reduce a NADH. La cantidad de NADH producido es directamente proporcional a la cantidad de ácido málico presente en la muestra y se mide espectrofotométricamente a 340 nm.

#### **4.3.4. ÁCIDO TARTÁRICO**

Al igual que para analizar el contenido en ácido málico, se empleó un kit enzimático comercial (GAB). El fundamento se basaría en la reacción del ácido tartárico presente en una solución tamponada ácida con el cromógeno (presente en el kit) dando un color anaranjado proporcional a su concentración que se mide a 500nm.

#### **4.3.5. POTASIO**

La determinación del Potasio se realizó mediante fotometría de llama, técnica que emplea como fuente de excitación una llama y un fotodetector electrónico como dispositivo de medida. Cuando una muestra que contiene potasio (u otro elemento metálico) se somete a una llama, es disociado térmicamente provocando la transición de los electrones a un estado de energía más alto. Cuando los átomos vuelven a su estado fundamental emiten energía en forma de radiación y a unas determinadas

longitudes de onda, que en la mayoría de los casos se sitúan en la región visible del espectro (García et al., 2018).

#### **4.3.6. NITRÓGENO ASIMILABLE**

La determinación del nitrógeno fácilmente asimilable (NFA) consiste en hacer reaccionar el formaldehído con las formas nitrogenadas presentes en el mosto ( $\text{NH}_4^+$  y aminoácidos libres, excepto prolina) para producir derivados de metilol o metileno. El protón liberado por el grupo  $\text{NH}_3$  de un aminoácido isoeléctrico se valora con  $\text{NaOH}$  a pH 8.1, determinándose así el NFA (mg/l) en función del volumen gastado (Gump et al., 2002).

#### **4.3.7. ÍNDICE DE POLIFENOLES TOTALES**

El índice de polifenoles totales se analizó midiendo la absorbancia de las muestras a 280 nm (cubeta de cuarzo), su fundamento está en la capacidad de los anillos bencénicos (compuestos fenólicos) de absorber en el ultravioleta (Gutiérrez-Escobar et al., 2021).

#### **4.3.8. PARÁMETROS DE COLOR (CIELAB)**

Para determinar características de color se ha empleado el método CIELab, realizando los cálculos correspondientes a través del programa MSCV® de la Universidad de La Rioja.

Este método se fundamenta en que características cromáticas de un vino vienen definidas por las coordenadas colorimétricas que son la luminosidad ( $L^*$ ), componente de color rojo/verde ( $a^*$ ), componente de color amarillo/azul ( $b^*$ ) y por sus magnitudes derivadas que son la croma ( $C^*$ ), el tono ( $h^*$ ) y la cromacidad [ $(a^*, b^*)$  ó  $(C^*, h^*)$ ].

#### **4.3.9. ANTOCIANOS TOTALES Y FÁCILMENTE EXTRAIBLES**

La determinación de antocianos totales y fácilmente extraíbles se determinó mediante el método de Saint-Cricq (Saint-Cricq et al., 1998), en el cual se compara la extracción de dichos compuestos en condiciones normales de maceración (pH 3,6) y en condiciones extremas (pH 1,0); pudiéndose diferenciar entre la concentración de antocianos que serán fácilmente extraíbles durante el proceso de vinificación y el potencial total de antocianos de la uva.

### **4.4. ANÁLISIS DE DATOS**

Los efectos de los tratamientos de NAA y ácido salicílico sobre los distintos parámetros considerados se han estudiado empleando análisis factoriales de la varianza (ANOVA); las medias se han comparado con el Test de Tukey ( $p < 0,05$ ). El software estadístico empleado ha sido SAS 9.4.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 SEGUIMIENTO DE LA MADURACIÓN

La Figura 4 muestra la evolución de la concentración de azúcares de las bayas en los diferentes tratamientos realizados, destacando que la muestra testigo fue la primera en alcanzar los 22,5 grados Brix pautados como límite de vendimia el 27 de septiembre, a la vez que la muestra tratada con ácido salicílico. El tratamiento combinado con ácido salicílico y NAA alcanzó los 22,5 grados Brix el 3 de octubre, seguido del tratamiento con NAA el 10 de octubre.

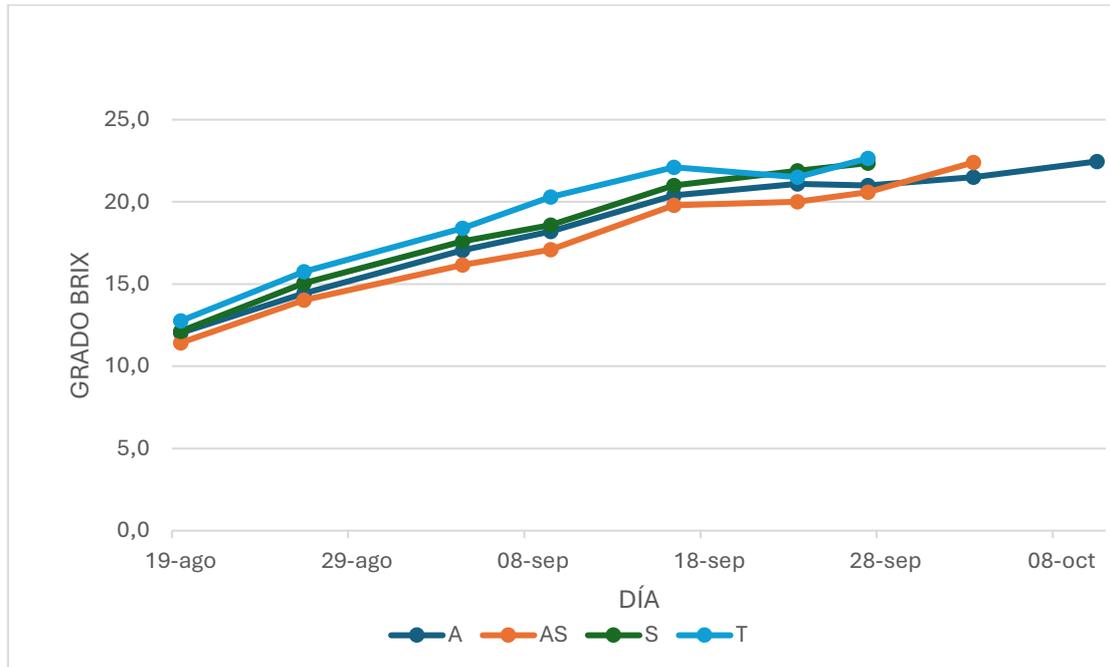


Figura 3: Evolución del grado Brix a lo largo de la maduración en los diferentes tratamientos. (A-Auxina, S-Ácido Salicílico, AS-Combinación tratamientos, T-Testigo)

El empleo de NAA ha favorecido el retraso en la acumulación de azúcares hasta en dos semanas con respecto a la muestra testigo, como así señalan otros autores (Böttcher et al., 2021; Dal Santo et al., 2020; Davies et al., 2022).

Ziliotto et al., 2012 sugieren que el retraso en la acumulación de azúcares es debido al desequilibrio hormonal ocasionado por la aplicación de auxinas exógenas, ocasionando cambios significativos a nivel transcriptómico en genes implicados en la maduración de las bayas.

Por otro lado, los tratamientos con ácido salicílico no han generado retrasos en la maduración de las bayas. Sin embargo, otros autores, como Kraeva et al., 1998, aseguran que un tratamiento antes del envero puede retrasar la maduración del fruto en dos a cuatro semanas, sin que la baya experimente ablandamiento o poco desarrollo de color.

El tratamiento AS se vendimió una semana antes que A, es posible que exista una interacción negativa entre los dos reguladores de crecimiento sobre la fecha de vendimia.

En la Figura 5 podemos observar el descenso de la acidez total experimentado en cada tratamiento a lo largo de la maduración de las bayas. La curva del testigo sin tratar es la que experimenta un descenso mayor frente al resto en concordancia con Ziliotto et al. (2012), quienes observaron que uvas tratadas con NAA mantenían unos niveles superiores de acidez en las primeras etapas de maduración, aunque obtenían unas analíticas muy similares en el momento de vendimia. El tratamiento con ácido salicílico presenta un comportamiento similar a la auxina y tratamiento combinado.

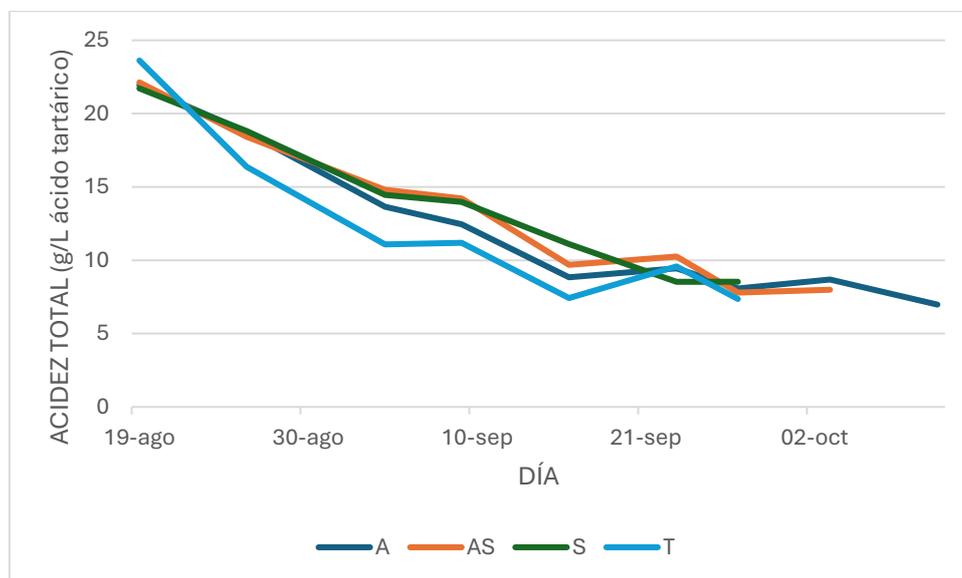


Figura 4: Evolución de la acidez total expresada en g/L de ácido tartárico, a lo largo de la maduración, en los distintos tratamientos. (A-Auxina, S-Ácido Salicílico, AS-Combinación tratamientos, T-Testigo.)

## 5.2 COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DEL VIÑEDO

Los tratamientos aplicados no provocaron cambios significativos en los parámetros relacionados con el rendimiento de las cepas frente a las muestras testigo (Tabla 2).

Tabla 2: Valor medio y desviación típica de los parámetros de rendimiento del viñedo analizados en función de las concentraciones de NAA (A) y de ácido salicílico (S) aplicadas.

Parámetro	A (0 mg/L)	A (100 mg/L)	S (0 mM)	S (5 mM)
100 bayas (g)	204,89 ± 18,88	199,90 ± 16,19	206,38 ± 17,47	198,66 ± 19,53
Racimos por cepa	16,25 ± 2,78	14,66 ± 2,76	15,83 ± 2,20	15,27 ± 2,63
Rendimiento (Kg/cepa)	2,36 ± 0,60	2,32 ± 0,62	2,74 ± 0,59	1,85 ± 0,60
Peso medio racimo (g)	165,58 ± 36,24	144,69 ± 35,88	178,84 ± 22,58	124,59 ± 34,01

Los valores resultantes del tratamiento con auxinas (A) no experimentan un aumento con respecto a las muestras sin tratar. En contraposición, diversos autores (Dal Santo et al., 2020; Davies et al., 2022) afirman que la respuesta al retraso en la acumulación

de azúcares va acompañada de una inducción del crecimiento celular de las bayas que se traduce en un mayor tamaño del fruto.

### 5.3 COMPOSICIÓN DE LA UVA

La Tabla 3 indica la existencia de efectos significativos en los distintos parámetros analizados del mosto en función del tratamiento realizado en el ensayo. Se observa que el tratamiento con auxinas afecta al IPT, parámetros de color CIELAB y concentración de ácido tartárico. El tratamiento con ácido salicílico modificó significativamente algunos parámetros de color CIELAB. Se detectaron interacciones significativas entre auxinas y ácido salicílico en el IPT, parámetros de color CIELAB, concentración de potasio y NFA.

*Tabla 3: Valores de F de Fisher y nivel de significación en los ANOVA de los parámetros de la composición del mosto. (A: tratamiento con auxina NAA; S: tratamiento con ácido salicílico; AS: tratamiento combinado)*

Parámetro	Modelo	A	S	AxS
<b>Índice de polifenoles totales</b>	25,34**	108,12***	0,34	6,65*
<b>Antocianos totales (mg/L)</b>	0,3	0,16	0,08	0,37
<b>Antocianos fácilmente extraíbles (mg/L)</b>	1,37	3,05	0,81	0,01
<b>L*</b>	11,23**	44,28**	8,61*	1,93
<b>C*</b>	4,04	5,31	0,51	14,79*
<b>h*</b>	9,59*	11,49*	0,41	27,44**
<b>a*</b>	4,1	2,56	0,57	17,03**
<b>b*</b>	37,40***	109,61***	8,28*	44,33**
<b>Grado Brix (%)</b>	0,45	0	0,01	0,01
<b>pH</b>	1,35	1,15	3,71	0
<b>Acidez total (g/L)</b>	3,08	2,74	2,51	1,2
<b>Ácido málico (g/L)</b>	1,82	2,37	0,68	4,3
<b>Ácido tartárico (g/L)</b>	4,77	20,60**	0,4	0,21
<b>Potasio (mg/L)</b>	11,50**	4,61	0,01	33,97**
<b>NFA (mg/L)</b>	4,18	0,38	0,72	13,14*

Niveles de significancia: \*p<0,05; \*\*p<0,01; \*\*\*p<0,001.

La aplicación de auxina ha provocado una disminución en la concentración de compuestos fenólicos, ocasionando cambios significativos (Tabla 4), lo cual podría ser debido al impacto negativo del NAA en la transcripción de genes involucrados en la síntesis de estos compuestos (Ziliotto et al., 2012). En este aspecto el efecto de la auxina sería negativo puesto que el contenido polifenólico es fundamental en la uva destinada a obtener vinos de calidad.

Con respecto a los antocianos, tanto totales como fácilmente extraíbles también se ha observado una ligera disminución de estos, aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

Los parámetros de color CIELAB: L\* (luminosidad), h\* (tonalidad) y b\* (proporción azul/amarillo) acusan un descenso significativo con la aplicación de auxina: dichos cambios son muy posiblemente atribuidos a este descenso en la concentración de compuestos fenólicos.

La concentración de ácido tartárico también se vio disminuida por efecto del NAA (Tabla 4). La pérdida de acidez en la uva podrá conllevar a riesgos microbianos, así como a la obtención de vinos planos y poco estructurados.

Tabla 4: Efectos principales de los tratamientos con auxinas (A) y ácido salicílico (S) sobre los parámetros de composición de la uva analizados.

Parámetro	A (0 mg/L)	A (100 mg/L)	S (0 mM)	S (5 mM)
<b>Índice de polifenoles totales</b>	21,38 ± 4,15 a	8,50 ± 2,34 b	14,60 ± 5,87 a	14,06 ± 6,19 a
<b>Antocianos totales (mg/L)</b>	695,00 ± 247,30 a	655,90 ± 283,00 a	682,30 ± 235,10 a	666,50 ± 224,20 a
<b>Antocianos fácilmente extraíbles (mg/L)</b>	312,75 ± 72,03 a	222,20 ± 54,02 a	285,00 ± 96,74 a	237,39 ± 99,46 a
<b>L*</b>	92,02 ± 3,23 a	85,95 ± 2,48 b	90,27 ± 4,27 a	88,05 ± 3,93 a
<b>C*</b>	9,87 ± 1,29 a	8,41 ± 1,44 a	9,10 ± 0,91 a	9,05 ± 0,75 a
<b>h*</b>	23,21 ± 10,02 a	12,56 ± 9,10 b	16,68 ± 13,79 a	16,33 ± 10,10 a
<b>a*</b>	9,09 ± 1,49 a	8,17 ± 1,67 a	8,65 ± 1,47 a	8,54 ± 0,99 a
<b>b*</b>	3,60 ± 1,33 a	1,62 ± 1,00 b	2,76 ± 1,76 a	2,32 ± 1,48 a
<b>Grado Brix (%)</b>	22,48 ± 1,14 a	22,46 ± 1,02 a	22,54 ± 1,09 a	22,41 ± 1,17 a
<b>pH</b>	3,39 ± 0,06 a	3,36 ± 0,05 a	3,41 ± 0,06 a	3,34 ± 0,06 a
<b>Acidez total (g/L)</b>	8,07 ± 1,22 a	7,09 ± 1,09 a	7,87 ± 1,13 a	7,13 ± 1,29 a
<b>Ácido málico (g/L)</b>	3,24 ± 0,85 a	2,70 ± 0,89 a	3,09 ± 0,28 a	2,89 ± 0,47 a
<b>Ácido tartárico (g/L)</b>	2,47 ± 0,29 a	1,80 ± 0,18 b	2,25 ± 0,43 a	2,10 ± 0,34 a
<b>Potasio (mg/L)</b>	746,40 ± 33,52 a	729,72 ± 30,68 a	739,39 ± 29,52 a	734,80 ± 30,22 a
<b>NFA (mg/L)</b>	195,59 ± 43,06 a	189,47 ± 42,14 a	197,61 ± 31,75 a	187,05 ± 33,33 a

Para cada regulador de crecimiento los valores con distinta letra indican que existen diferencias significativas: p<0,05 (Test de Tukey)

Por otro lado, los tratamientos con ácido salicílico no han generado cambios significativos en ninguno de los parámetros analizados (Tabla 4). En contra de estos resultados, Oraei et al. (2019) afirman que realizar un tratamiento con ácido salicílico en la fase de pre-envero ocasiona un aumento en la composición fenólica de las bayas. Otros autores como Blanch et al. (2020) han demostrado que realizar el tratamiento al comienzo del envero puede producir cambios significativos en la acumulación de estos compuestos, no siendo esta acumulación directamente proporcional a mayores dosis de hormona.

Es posible que en el presente estudio la dosis de ácido salicílico utilizada no haya sido suficiente para producir los efectos descritos.

En la Figura 3 se muestran separaciones de medias considerando conjuntamente los tratamientos con auxinas y ácido salicílico para estudiar las interacciones detectadas en el ANOVA: el Índice de polifenoles totales, parámetros de color CIELAB L\* y h\*, concentración de potasio y nitrógeno fácilmente asimilable (Tabla 3).

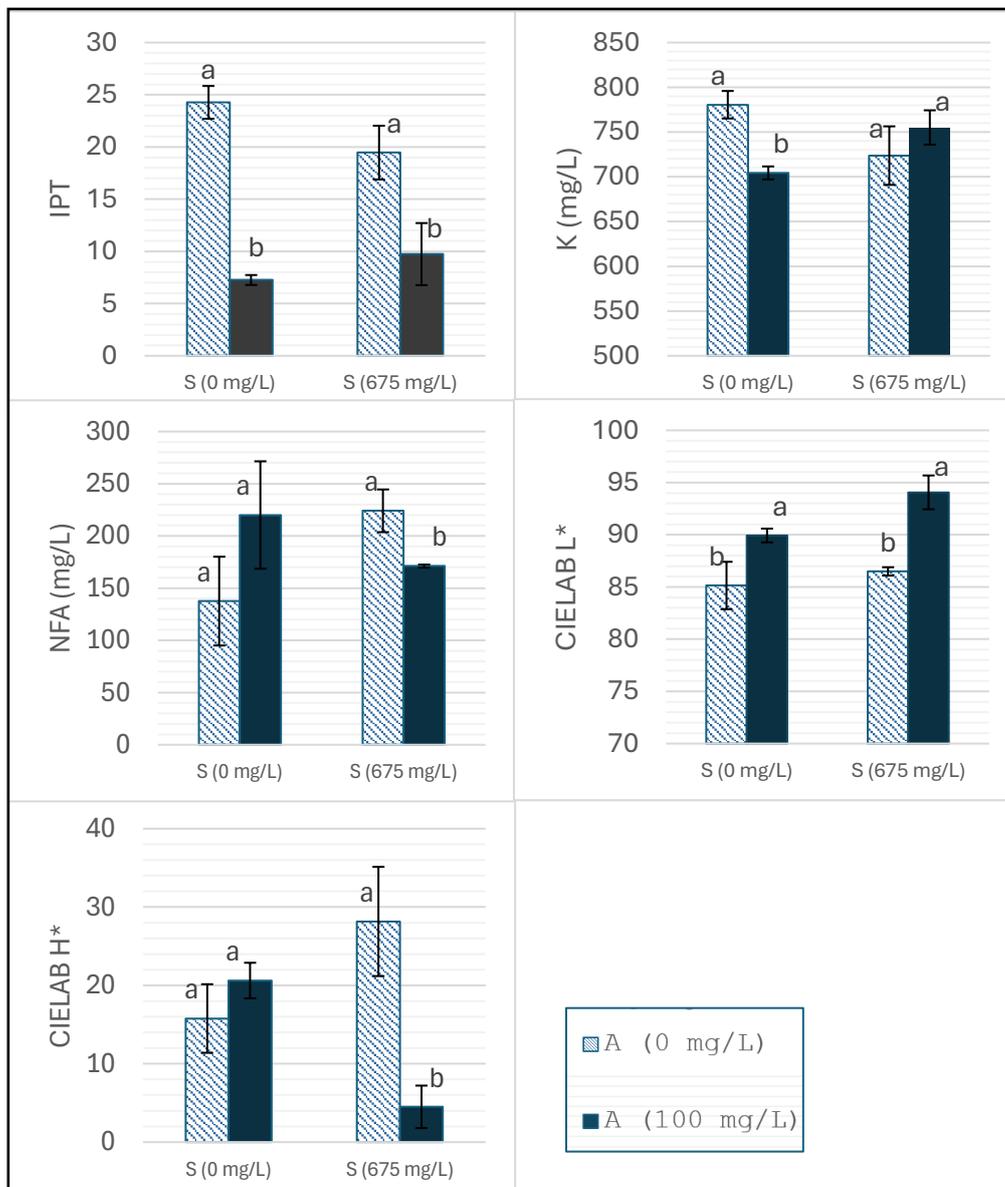


Figura 3: Comparación de medias del índice de polifenoles totales (IPT), contenido en potasio (K), nitrógeno fácilmente asimilable (NFA) y parámetros de color del mosto L\* y h\*, en función de los tratamientos con auxina (A) y ácido salicílico (S) aplicados: Para un mismo tratamiento S, las medias con distinta letra son significativamente distintas ( $p < 0,05$ )

La aplicación conjunta de ácido salicílico y NAA atenúa la disminución en el IPT generada por la aplicación simple de NAA. Los tratamientos con auxinas incrementaron la concentración de potasio y de NFA en el mosto en las plantas no tratadas con ácido salicílico, mientras que los disminuyeron en las plantas simultáneamente tratadas con el ácido.

En los parámetros de color, la combinación de los dos reguladores de crecimiento potencia la acción del tratamiento con auxina incrementando la luminosidad del mosto, observándose un efecto antagónico sobre el parámetro H, provocando un descenso drástico.

## 6. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La aplicación de ácido 1-naftalenacético ocasionó un retraso en la acumulación de azúcares en las bayas en hasta dos semanas en comparación con las muestras testigo. Su empleo también ocasionó una disminución en la concentración de compuestos fenólicos y ácido tartárico del mosto, lo que tendría un impacto negativo en la calidad del vino.
- El empleo de ácido salicílico no ocasionó retrasos en la acumulación de azúcares ni cambios significativos en la composición de la uva.
- En líneas generales los tratamientos combinados de NAA y ácido salicílico mejoran los resultados de los tratamientos simples con NAA en cuanto al potencial de calidad de la uva, en lo que respecta a contenido fenólico, NFA y luminosidad del mosto.

En vista a lo expuesto sería interesante desarrollar en un futuro ensayo de este tipo, utilizando diferentes concentraciones de ambos fitoreguladores, con diferente material vegetal y condiciones de cultivo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Blanch, G., & Gomez-Jimenez, M. (2020). Exogenous Salicylic Acid Improves Phenolic Content and Antioxidant Activity in Table Grapes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75, 177–183.
- Blanch, G. P., Gómez-Jiménez, M. C., & del Castillo, M. L. R. (2020). Exogenous Salicylic Acid Improves Phenolic Content and Antioxidant Activity in Table Grapes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75(2), 177–183. <https://doi.org/10.1007/s11130-019-00793-z>
- Boss, P., & Thomas, M. (2002). Association of dwarfism and floral induction with a grape 'green revolution' mutation. *Nature*, 416, 847–850. <https://doi.org/10.1038/416847a>
- Böttcher, C., Johnson, T., Burbidge, C., Nicholson, E. L., Boss, P. K., Maffei, S. M., Bastian, S., & Davies, C. (2021). Use of auxin to delay ripening: sensory and biochemical evaluation of Cabernet Sauvignon and Shiraz. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 28. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12516>
- Coombe, B. G., & Hale, C. R. (1973). The Hormone Content of Ripening Grape Berries and the Effects of Growth Substance Treatments. *Plant Physiology*, 51(4), 629–634. <http://www.jstor.org/stable/4263183>

- Coombe, B., & McCarthy, M. (2000). Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research - AUST J GRAPE WINE RES*, 6, 131–135. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00171.x>
- Dal Santo, S., Tucker, M., Tan, H.-T., Burbidge, C., Fasoli, M., Böttcher, C., Boss, P., Pezzotti, M., & Davies, C. (2020). Auxin treatment of grapevine (*Vitis vinifera* L.) berries delays ripening onset by inhibiting cell expansion. *Plant Molecular Biology*, 103. <https://doi.org/10.1007/s11103-020-00977-1>
- Davies, C., Böttcher, C., Nicholson, E. L., Burbidge, C. A., & Boss, P. K. (2022). Timing of auxin treatment affects grape berry growth, ripening timing and the synchronicity of sugar accumulation. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 28(2), 232–241. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ajgw.12528>
- FAOSTAT. (2022). *Food and Agriculture Data*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/en/>
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee & J. Romero (Eds.)]. IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- Martínez de Toda, F. (2018). *El cambio climático y el vino: Nuevas líneas de investigación vitícola*. DOSSIER VIÑA, 43-46. <https://www.researchgate.net/publication/325813296>
- Martínez de Toda, F. (2020). *Brotación forzada de nuevas yemas: una técnica para retrasar, hasta dos meses, la maduración de la uva*. IVES Technical Reviews, 1-2. <https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2019.3790>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2023). *Informe sobre el sector vitivinícola en España*. Gobierno de España. <https://www.mapa.gob.es/>
- NASA. (2024). *Temperatura global*. NASA Climate. <https://climate.nasa.gov/en-espanol/signos-vitales/temperatura-global/>
- García, R., Vanelli, C., Junior, O., & Corrêa, J. (2018). Comparative analysis for strength serum sodium and potassium in three different methods: Flame photometry, ion-selective electrode (ISE) and colorimetric enzymatic. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 32. <https://doi.org/10.1002/jcla.22594>
- Giribaldi, M., Hartung, W., & Schubert, A. (2010). The effects of abscisic acid on grape berry ripening are affected by the timing of treatment. *Journal International Des Sciences de La Vigne et Du Vin*, 44.
- Gump, B., Zoecklein, B., Fugelsang, K., & Whiton, R. (2002). Comparison of Analytical Methods for Prediction of Prefermentation Nutritional Status of Grape Juice. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53, 325–329. <https://doi.org/10.5344/ajev.2002.53.4.325>
- Gutiérrez-Escobar, R., Aliaño-González, M., & Cantos-Villar, E. (2021). Wine Polyphenol Content and Its Influence on Wine Quality and Properties: A Review. *Molecules*, 26, 718. <https://doi.org/10.3390/molecules26030718>
- Gutiérrez-Gamboa, G., Zheng, W., & Martínez de Toda, F. (2021). Current viticultural techniques to mitigate the effects of global warming on grape and wine quality: A comprehensive review. *Food Research International*, 139, 109946. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109946>

- Hannah, L., Roehrdanz, P. R., Ikegami, M., Shepard, A. V., Shaw, M. R., Tabor, G., Zhi, L., Marquet, P. A., & Hijmans, R. J. (2013). Climate change, wine, and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(17), 6907–6912. <https://doi.org/10.1073/pnas.1210127110>
- He, L., Ren, Z.-Y., Wang, Y., Fu, Y.-Q., Li, Y., Meng, N., & Pan, Q.-H. (2020). Variation of Growth-to-Ripening Time Interval Induced by Abscisic Acid and Synthetic Auxin affecting Transcriptome and Flavor Compounds in Cabernet Sauvignon Grape Berry. *Plants*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/plants9050630>
- Jones, G., White, M., Cooper, O., & Storchmann, K. (2005). Climate Change and Global Wine Quality. *Clim Change*, 73, 319–343. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-4704-2>
- Kraeva, E., Andary, C., Carbonneau, A., & Deloire, A. (1998). Salicylic acid treatment of grape berries retards ripening. *Vitis -Geilweilerhof-*, 37 (3), 143–144.
- Mokhov, I. I., Chernockulsky, A. V., & Repina, I. A. (2020). Climate Change: Causes, Risks, Consequences, Problems of Adaptation and Management (CLIMATE-2019) [Article]. *CLIMATE CHANGE: CAUSES, RISKS, CONSEQUENCES, PROBLEMS OF ADAPTATION AND MANAGEMENT*, 606(1), 11001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/606/1/011001>
- Oraei, M., Panahirad, S., Zaare-Nahandi, F., & Gohari, G. (2019). Pre-véraison treatment of salicylic acid to enhance anthocyanin content of grape (*Vitis vinifera* L.) berries. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(13), 5946–5952. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.9869>
- Parada Ramírez, F., Espinoza, C., & Arce-Johnson, P. (2017). *Phytohormonal Control over the Grapevine Berry Development*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.68453>
- Rahimpour, M. R., Makarem, M. A., & Meshksar, M. (2024). *Advances and Technology Development in Greenhouse Gases: Greenhouse Gases Formation and Challenges* (1st ed.) [Book]. Elsevier.
- Rajha, H. N., El Darra, N., El Kantar, S., Hobaika, Z., Louka, N., & Maroun, R. G. (2017). A Comparative Study of the Phenolic and Technological Maturities of Red Grapes Grown in Lebanon. *ANTIOXIDANTS*, 6(1). <https://doi.org/10.3390/antiox6010008>
- Saint-Cricq de Gaulejac, N., Vivas, N. & Glories, Y. 1998. Maturité phénolique: définition et contrôle. *Reveu Française d'Oenologie*, 173, 22-25.
- Schultz, H. R. (2016). Global Climate Change, Sustainability, and Some Challenges for Grape and Wine Production. *Journal of Wine Economics*, 11(1), 181–200. <https://doi.org/DOI:10.1017/jwe.2015.31>
- Symons, G., Davies, C., Shavrukov, Y., Dry, I., Reid, J., & Thomas, M. (2006). Grapes on Steroids. Brassinosteroids Are Involved in Grape Berry Ripening. *Plant Physiology*, 140, 150–158. <https://doi.org/10.1104/pp.105.070706>
- 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/DOI:10.1017/jwe.2015.21>
- Van Leeuwen, C., Schultz, H., de Cortazar-Atauri, I., Duchêne, E., Ollat, N., Pieri, P., Bois, B., Goutouly, J.-P., Quénot, H., Touzard, J.-M., Malheiro, A., Bavaresco, L., & Delrot, S. (2013). Why climate change will not dramatically decrease viticultural suitability in main wine-producing areas by 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110. <https://doi.org/10.1073/pnas.1307927110>

Ziliotto, F., Corso, M., Rizzini, F. M., Rasori, A., Botton, A., & Bonghi, C. (2012). Grape berry ripening delay induced by a pre-véraison NAA treatment is paralleled by a shift in the expression pattern of auxin- and ethylene-related genes. *BMC Plant Biology*, 12(1), 185. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-12-185>