



---

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

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

**Grado en Enología**

Uso de fitorreguladores en el viñedo como  
herramienta para mitigar los efectos del cambio  
climático en la calidad de la uva.

Alumna: Irene Casas Garrido

Tutor: Pedro Martín Peña  
Cotutora: María Rosa González García

## ÍNDICE

	Resumen.....	- 2 -
<b>1.</b>	<b>Introducción</b> .....	- 3 -
1.1	Impacto del cambio climático en la calidad de la uva .....	- 4 -
1.2	Regulación hormonal de la maduración de la uva.....	- 8 -
<b>2.</b>	<b>Objetivos</b> .....	- 10 -
<b>3.</b>	<b>Metodología</b> .....	- 10 -
3.1	Búsqueda y clasificación de la bibliografía .....	- 10 -
3.2	Redacción del trabajo .....	- 11 -
<b>4.</b>	<b>Resultados y discusión</b> .....	- 11 -
4.1	Auxinas .....	- 11 -
4.2	Citoquininas .....	- 13 -
4.3	Ácido giberélico.....	- 15 -
4.4	Ácido abscísico.....	- 15 -
4.5	Liberadores de etileno .....	- 16 -
4.6	Inhibidores de la síntesis de brasinoesteroides.....	- 17 -
4.7	Ácido salicílico .....	- 18 -
<b>5.</b>	<b>Conclusiones</b> .....	- 19 -
<b>6.</b>	<b>Bibliografía</b> .....	- 20 -

## Resumen

El cambio climático afecta a todas las regiones del mundo en las que se incluyen las vitivinícolas, y muchos de los viticultores se están viendo en la necesidad de adoptar ciertas medidas que puedan contrarrestar los efectos que este fenómeno produce sobre la vid.

El impacto del calentamiento global repercute en todo el proceso de maduración de la uva, puesto que adelanta las etapas fenológicas, y como consecuencia se produce una alteración en la composición de la uva y el vino. El aumento de temperatura produce un desacoplamiento entre la madurez tecnológica y la madurez fenológica, de la uva lleva a un aumento en el grado alcohólico de los vinos y a pérdidas de calidad en parámetros sensoriales.

Una de las estrategias posibles para minimizar estos efectos es aplicar técnicas que retrasen la maduración de la uva para que esta tenga lugar de una forma más equilibrada a temperaturas más frescas. En esta revisión bibliográfica se recopila la información actualizada sobre la aplicación de reguladores de crecimiento, análogos a las hormonas vegetales, como herramienta para inducir una maduración del fruto más retrasada en la vid. Se repasa el potencial uso de auxinas, citoquininas, giberelinas, ácido abscísico, etileno, brasinoesteroides y ácido salicílico con este fin.

## 1. Introducción

La ciencia ha demostrado que el cambio climático es un hecho. Desde el año 1950 aproximadamente se han detectado cambios en la incidencia de muchos fenómenos meteorológicos extremos. Se ha podido observar como en el sistema climático se ha producido un calentamiento tanto en la superficie terrestre como en el océano, provocando un aumento en el nivel del mar así como cambios en la criosfera (IPCC, 2013).

La continua emisión de gases de efecto invernadero causa el calentamiento global y provoca cambios duraderos en todos los componentes del sistema climático, lo que aumenta la posibilidad de impactos graves, generalizados e irreversibles para las personas y los ecosistemas (IPCC, 2013).

Según el último informe (2014) elaborado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, la superficie de la tierra se ha calentó 0,85°C entre 1880 y 2012 como se observa en la figura 1.

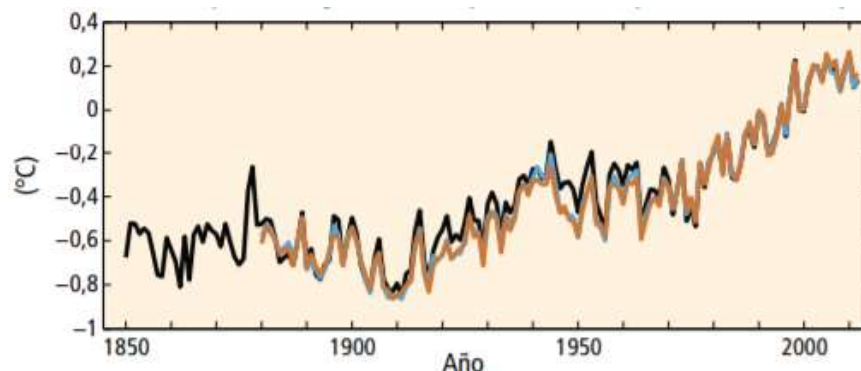


Figura 1. Los datos de temperatura de la superficie terrestre y oceánica, combinados y promediados globalmente, calculados a partir de una tendencia lineal, muestran un calentamiento de 0,85 [0,65 a 1,06] °C durante el período 1880-2012. (Fuente: IPCC, 2014)

En las últimas décadas, los cambios del clima han causado impactos en los sistemas naturales y humanos en todos los continentes y océanos. Los impactos se deben al cambio climático observado, independientemente de su causa, lo que indica la sensibilidad de los sistemas naturales y humanos al cambio del clima (IPCC, 2014).

Este cambio global afecta a los climas regionales y como consecuencia tiene implicaciones para las regiones vitivinícolas de todo el mundo (Tissot et al., 2017; Van Leeuwen et al., 2016). Al igual que otros cultivos agrícolas, el cultivo de la uva se ve afectado por las condiciones ambientales, como el suelo y el clima (Van Leeuwen et al., 2019). Este último factor influye con mayor intensidad en la fisiología de la vid a través de sus diversos componentes (temperatura, lluvia, evapotranspiración, horas de sol) Por ello, una variación del clima podría alterar de diferente forma la viticultura actual, desplazando en mayor o menor medida el equilibrio que existe entre clima, suelo y prácticas de manejo, dando lugar a cambios en la calidad y el rendimiento (Resco, 2015)

El clima establece factores limitantes y condicionantes para la viña dependiendo de la zona vitivinícola en la que se encuentre. Cuando se planta un viñedo es importante llevar a cabo un estudio climático basándonos en el macroclima de la zona vitícola. Por lo que una alteración en el clima afectará al equilibrio entre las condiciones idóneas para el cultivo del viñedo, generando un gran impacto en el desarrollo de la vid y la composición de la uva (Neethling et al., 2017).

La adaptación al cambio climático es un gran desafío al que se enfrentan los viticultores en la actualidad (Neethling et al., 2017). Por ello es importante estudiar las implicaciones del cambio climático, no solo en el rendimiento sino también en la calidad (Van Leeuwen et al., 2016).

## 1.1 Impacto del cambio climático en la calidad de la uva

Las etapas de los ciclos vegetativo y reproductivo están controladas en gran medida por las condiciones atmosféricas, ya que la vid tiene unas exigencias climáticas determinadas. Los principales elementos meteorológicos que tienen impacto sobre la vid son: temperatura, radiación, fotoperiodo, duración del periodo favorable, pluviometría y viento (Santos et al., 2020). El clima tiene un mayor impacto en el desarrollo de la vid y la composición de la baya en comparación con el suelo y la variedad (Van Leeuwen et al., 2004).

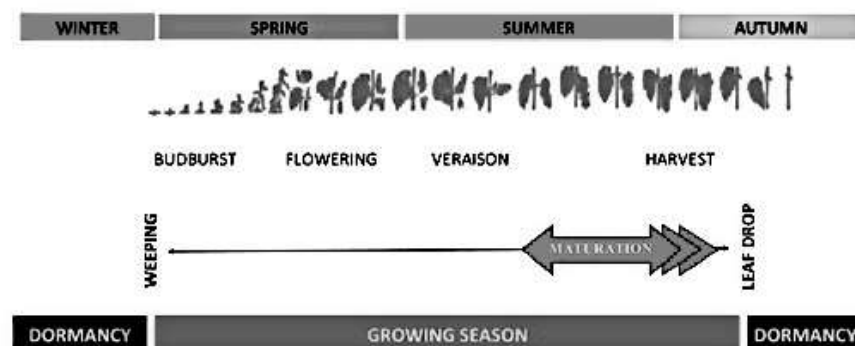


Figura 2. Ciclo vegetativo y principales etapas fenológicas de la vid en clima mediterráneo. (Fuente: Santos et al., 2020)

Van Leeuwen y Darriet (2016) tomaron como principal efecto medible del cambio climático en la viticultura, el aumento constante de las temperaturas, lo que en la vid provoca un adelanto en la fenología. Esto se debe a que el aumento de temperaturas más significativo ocurre durante la época de crecimiento de la planta, periodo comprendido entre la floración y el envero, coincidiendo con el periodo de verano (Neethling et al., 2017) como se puede observar en la figura 2.

Pieri (2010) realizó un estudio sobre las fechas de floración y de cosecha en varias regiones de Francia (Burdeos, Aviñon, Colmar, Dijon y Toulouse). Su investigación predice que en un futuro cercano (2020-2050) la floración se adelantará 15 días y para un futuro lejano (2070-2100) será de 30 días, concluyendo así que la madurez se adelanta en 25 y 45 días. Más adelante, Prats-Llinás y Girona (2017) desarrollaron un modelo de predicción fenológica en base a las proyecciones de las variables climáticas (como el aumento de la temperatura del aire), la fase de desborre, floración, cuajado,

envero y vendimia, junto con las predicciones de demanda de agua. Se basaron en datos climáticos reales desde 1990 hasta 2016 y como datos proyectados desde 2017 a 2050. Los resultados de las predicciones prevén una aceleración en el curso de la fenología, puesto que el inicio del ciclo vegetativo se adelanta una semana con el desborre, provocando una anticipación en las posteriores fases, obteniendo la vendimia con 18 días de adelanto según este estudio.

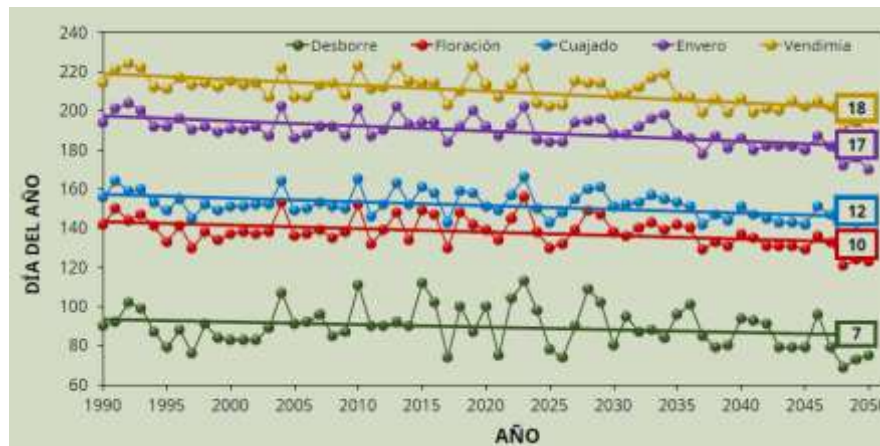


Figura 3. Predicciones fenológicas y el número de desfase de días para cada periodo descrito (Fuente: Prats-Llinàs, 2017)

Como consecuencia del cambio climático, las uvas no solo maduran en condiciones ambientales más cálidas sino que además lo hacen de manera anticipada. Esto da como resultado que la composición de la baya se desequilibre. Por un lado aumenta el nivel de azúcar, descendiendo la concentración de ácidos orgánicos aumentando así el pH, y descendiendo la concentración de aromas y precursores de aromas (Van Leeuwen et al., 2017).

Neethling et al. (2017) realizaron un estudio relacionando las variables climáticas, índices bioclimáticos y los datos de composición de las bayas de seis variedades de vid cultivadas en el valle del Loira (Francia). Las mediciones, llevadas a cabo desde el envero hasta la cosecha, fueron del azúcar y de la acidez titulable. Los resultados de este estudio mostraron un cambio significativo en la composición de las bayas. La concentración de azúcar aumentó y la acidez titulable disminuyó en todas las variedades analizadas al aumentar las temperaturas y los índices bioclimáticos. La consecuencia de estos cambios en la composición de las uvas es la producción de vinos desequilibrados.

Van Leeuwen y Darriet (2016) estudiaron el impacto de la temperatura en la composición de la baya. Obtienen datos del laboratorio Dubernet (11100 Montedron-Cobières, Francia) en el cual se estudia la cosecha en Languedoc (Francia) de 1984 a 2013 observando la evolución de los parámetros importantes que conciernen a la composición de la uva.

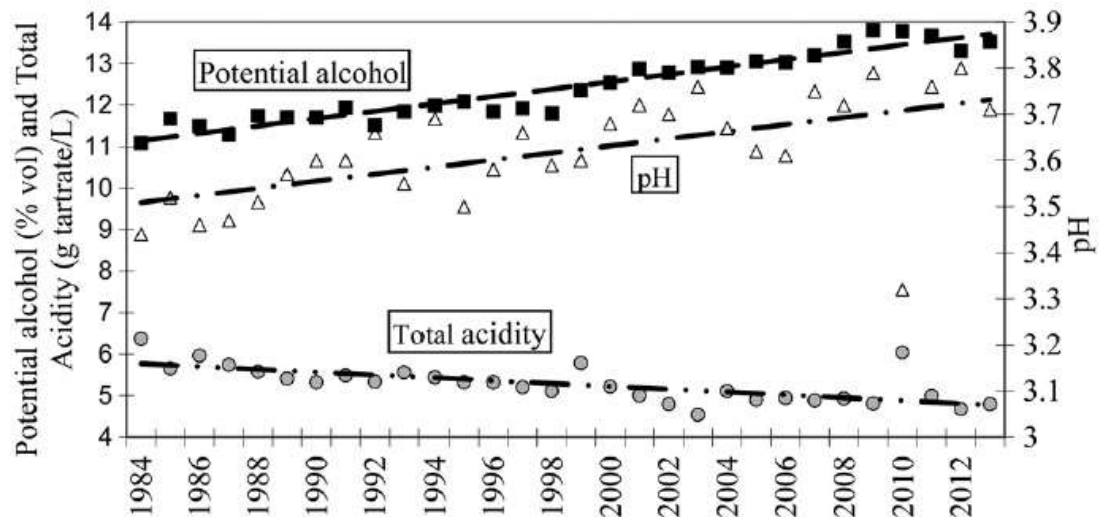


Figura 4. Niveles potenciales de alcohol, pH y acidez total en la cosecha de Languedoc (Francia) desde el año 1984 hasta 2013. (Fuente: Laboratorio Dubernet, 11100 Montedron-Cobières.)

Los datos se basan en miles de muestras analizadas cada año. En la figura 3 se puede observar como el nivel potencial de alcohol aumentó en más del 2% (del 11 % vol a casi 14% vol), debido a una mayor acumulación de azúcar en la baya, la acidez total disminuye 1 g de tartrato por litro y como consecuencia el pH aumenta 0.2 unidades. La acidez es un indicador del pH. Los vinos con un alto pH pueden percibirse más redondos, dulces y menos agresivos, sin embargo, si se excede carecerá de frescura pudiendo afectar a la estabilidad microbiológica y haciendo posible la aparición de fenómenos no deseados que repercutirán de manera negativa en la calidad del vino (Van Leeuwen et al., 2016). En cuanto al alcohol, la tendencia de los enólogos en los últimos años es la de obtener la menor graduación alcohólica posible. Esto se debe a que las exigencias del cliente han cambiado. Por ello, la tendencia del potencial alcohólico de la uva a aumentar va a perjudicar por un lado a la demanda del mercado actual, y por otro a la calidad del vino debido a una alta graduación.

La calidad de un vino a obtener viene dada por una maduración óptima de la baya. Este término es difícil de definir puesto que engloba varios niveles de maduración. Los parámetros anteriormente comentados, como la acidez y el contenido de azúcar, pueden determinar la madurez tecnológica; mientras que la concentración de antocianos y taninos determina la madurez fenólica. El punto óptimo de madurez fenólica será aquel en que los compuestos de antocianina alcanzan la concentración máxima en la piel y cuando la contribución de los taninos de la semilla al contenido total de taninos es débil. Es decir, la madurez tecnológica está vinculada a la cantidad de azúcar en la baya y por ende al grado alcohólico, y la madurez fenólica con el color de la uva, por lo que para la obtención de una cosecha de calidad, la fecha de esta se basará en ambas maduraciones (Meléndez et al., 2013)

Si bien el cambio climático tiene principalmente consecuencias en la madurez tecnológica, debido a un aumento en el contenido de azúcar y una disminución en la acidez titulable, la madurez fenólica también se ve afectada. Según un estudio realizado por Mori et al. (2007) la concentración y composición de antocianinas en la piel de la uva puede verse afectada a temperaturas elevadas. La degradación de las antocianinas aumentó a medida que se aumentaba la temperatura en los ensayos (15°, 25° y 35° C), por lo que es posible que las antocianinas en la piel de la uvas se degraden químicamente en respuesta a las altas temperaturas provocando una disminución de su concentración. Estos cambios en la composición de antocianinas tienen implicaciones

significativas en la calidad de la uva y como consecuencia en el vino, con cambios en la intensidad y tonalidad del color (Mori et al., 2007).

Una madurez óptima sería aquella en la que se alcanzara el nivel máximo en la concentración de antocianinas coincidiendo con la madurez determinada por la relación azúcar/acidez. Ambas maduraciones, tecnológica y fenólica tienden a separarse en función de factores como la variedad de uva, condiciones climáticas adversas, suelo, disponibilidad de agua y prácticas culturales. Hoy en día, en muchas zonas vitivinícolas se está confirmando una diferencia creciente entre ambos niveles de madurez, debido al cambio climático. Para lograr una adecuada madurez fenólica, necesariamente las uvas alcanzan altas concentraciones de azúcar y bajas concentraciones de acidez, que dan como resultado vinos con una alta graduación alcohólica y un pH bajo, lo cual son características no deseables para la obtención de vinos de calidad (Meléndez et al., 2013).

El cambio climático se percibe como un riesgo importante para la viticultura, y un problema creciente para la calidad de los vinos. Los productores deben implementar estrategias de adaptación para poder continuar la producción de vinos de alta calidad, con rendimientos económicamente aceptables, en un clima más cálido y seco (Van Leeuwen et al., 2016).

La toma de decisiones a la hora de elegir el portainjerto, el sistema de formación y la exposición y altitud de la parcela, repercutirá en la calidad del producto final. Por ello hay que tener en cuenta los cambios producidos en el clima para estas elecciones. Sin embargo, cuando la parcela ya está instalada debemos tomar otro tipo de medidas a corto plazo. Retrasar la maduración de las bayas para que así se produzca en condiciones de temperaturas más frescas, podría ser una estrategia interesante para mitigar los efectos del cambio climático (Gutiérrez-Gamboa et al., 2021). Esto se puede lograr mediante técnicas de manejo, tradicionales e innovadoras, capaces de regular la acumulación de azúcares en la baya y así desacelerar una maduración temprana y desequilibrada. Por un lado están las técnicas basadas en modificar las relaciones fuente /sumidero en la vid, cuyo objetivo es alterar la distribución de los carbohidratos, como por ejemplo el deshojado (reduce la fotosíntesis), el rebaje severo de los brotes (eliminación de sumideros y reducción del área foliar) o la aplicación de antitranspirantes (limitan la fotosíntesis). Por otro lado, está el manejo de la competencia por el carbono y los nutrientes entre el crecimiento vegetativo y reproductivo con el fin de retrasar el proceso de acumulación de los sólidos solubles, alargando, por ejemplo el periodo de riego. Por último están las técnicas que pretenden posponer las etapas fenológicas retrasando la fecha de brotación, aplicando la poda tardía o el forzado de yemas francas (Gutiérrez-Gamboa et al., 2021). A estas técnicas se le suma la aplicación de fitorreguladores en el viñedo, con el fin de retrasar el envero y desplazar las maduraciones hacia periodos menos cálidos.



## 1.2 Regulación hormonal de la maduración de la uva

El control de los procesos fisiológicos de las plantas depende de la compleja integración entre las señales ambientales y los factores endógenos, que esta mediado por una interacción entre fitohormonas. Estas hormonas interactúan de diferente manera dependiendo de la etapa de crecimiento en la que se encuentre la planta (Parada et al., 2017).

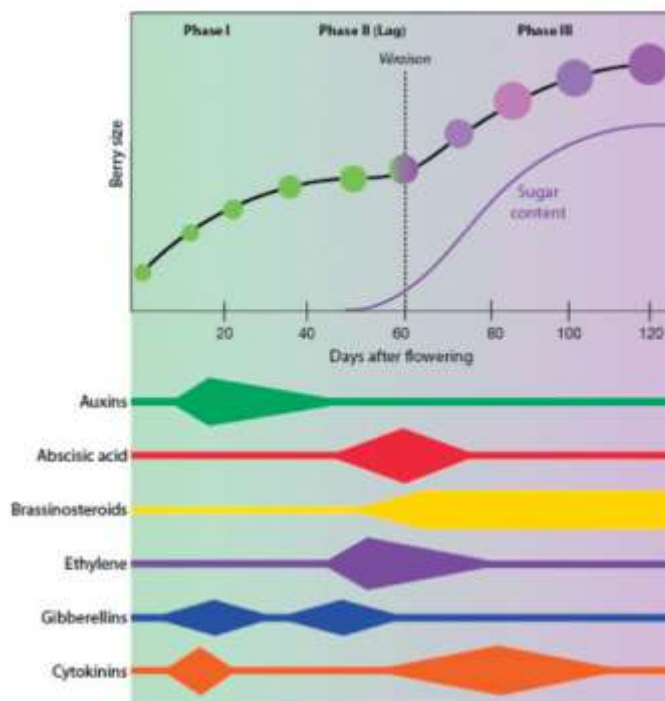


Figura 5. Representación esquemática del contenido hormonal en las etapas de desarrollo de la uva. (Fuente: Parada et al., 2017)

En la primera etapa del desarrollo del fruto, en el cuajado, los niveles de auxinas, giberelinas y citoquininas aumentan (Figura 5). Estas tres hormonas tienen una alta participación en la multiplicación y elongación celular.

Las auxinas se asocian con el crecimiento durante las primeras etapas del desarrollo de la fruta pero también tienen la capacidad de afectar a la maduración (Dal Santo et al., 2020). El ácido indol-3-acético (IAA), principal auxina, tiene un papel esencial en las primeras etapas del desarrollo de la baya. Varios estudios han detectado altas concentraciones de IAA durante las primeras etapas de crecimiento en flores y bayas jóvenes. Los tratamientos con auxinas sintéticas antes del envero provocan un retraso en la maduración al regular negativamente diferentes vías de síntesis y acumulación de metabolitos primarios y secundarios, como azúcares, aminoácidos y lípidos, así como compuestos fenólicos y terpenos (Fortes et al., 2015).

Las giberelinas son reguladoras de una gran cantidad de procesos durante el desarrollo de la planta, teniendo gran relevancia en los procesos de iniciación floral (Parada et al., 2017). Se han detectado concentraciones biológicamente activas altas en las flores y durante el inicio del desarrollo de las bayas, descendiendo a niveles más bajos durante el desarrollo posterior. La aplicación exógena de giberelinas se usa durante las primeras etapas del desarrollo de las bayas en variedades apirenas para aumentar su tamaño, y así su valor económico (Fortes et al., 2015).

Las citoquininas están implicadas en el crecimiento de las bayas, así como en la germinación de semillas, proliferación y diferenciación celular, teniendo un importante papel en la generación de brotes en la planta (Böttcher et al., 2015). Durante la primera etapa pre-envero, los niveles de citoquininas aumentan, para posteriormente descender. A priori parece indicar que esta hormona no participa en la etapa de maduración, pero hay estudios que observan un aumento de la concentración de isopenteniladenina (citoquinina activa), que parecen estar relacionados con las concentraciones altas de azúcar almacenado en la baya (Böttcher et al., 2015). Se han aplicado citoquininas sintéticas con el objetivo de aumentar el peso de la baya y su diámetro, observándose un retraso en la acumulación de azúcares y antocianinas (Peppi et al., 2008)

En la fase del envero, como se puede observar en la figura 5, aumentan los niveles de etileno, brasinoesteroides y ácido abscísico (ABA). Esto sugiere que estas hormonas promueven la maduración de la baya y sus aplicaciones exógenas pueden acelerar el inicio de la fase de maduración.

Se ha señalado el ABA como la principal señal que desencadena el inicio de los procesos asociados a la maduración del fruto, ya que se registran altos niveles de esta hormona durante las etapas iniciales de maduración, alcanzando su punto máximo en el envero, acumulándose en la piel de las bayas (Parada et al., 2017). El aumento del contenido de ABA coincide con el aumento del contenido total de antocianinas, pero estas siguen aumentando durante todo el periodo de maduración mientras que los niveles de ABA comienzan a disminuir. Lo mismo ocurriría con la acumulación de azúcares. Esto sugiere que el ABA desencadena pero no mantiene necesariamente la adquisición del color (Kuhn et al., 2013). Se sabe que los efectos del ácido abscísico en la planta están coordinados con otras hormonas, ya que por ejemplo, el etileno parece inducir el ácido abscísico mientras que la auxina regula negativamente los procesos de maduración inducidos por el ABA (Fortes et al., 2015). Se ha demostrado que la aplicación exógena de ABA, por un lado aumenta el peso de la baya, el contenido total de antocianos y la acumulación de sólidos solubles totales, pero por otro puede provocar un ablandamiento de la baya no deseable y una reducción de la acidez titulable (Peppi et al., 2008).

La uva está clasificada como fruta no climatérica. Es decir, no presenta un aumento marcado en los niveles de etileno asociado a un aumento de la frecuencia respiratoria durante el inicio de la maduración. Sin embargo, se ha demostrado que algunos aspectos de la maduración en la uva, como la acumulación de antocianinas y de azúcar puede estar asociada con respuestas al etileno, observándose un aumento considerable de esta hormona alrededor del envero (Chervin et al., 2004). En cuanto a la aplicación exógena de etileno se pueden utilizar inhibidores específicos de los receptores de etileno o compuestos liberadores de etileno, pero su efecto dependerá de la etapa de desarrollo en el que se encuentre la baya en el momento de la aplicación (Böttcher et al., 2013). El etileno aplicado puede afectar a los niveles de acidez y tamaño de la baya (Chervin et al., 2004).

Otra familia de hormonas cuya concentración aumenta a partir del envero son los brasinoesteroides (BR) (figura 5). Son hormonas esteroides esenciales, promotoras de la maduración de frutas no climatéricas (Parada et al., 2017). Se ha demostrado que estas hormonas tienen un importante papel en casi todas las fases de desarrollo de la planta, como germinación de semillas, alargamiento celular, respuestas de estrés biótico y abiótico, floración, fotomorfogénesis en la oscuridad y desarrollo de estomas, entre otros (Zhu et al., 2013). En un estudio realizado sobre las bayas de la variedad Cabernet Sauvignon se ha observado, al inicio de la maduración, un patrón claro de cambios en la expresión de genes que controlan la síntesis de BR y los niveles de BR endógenos (castasterona y su precursor directo 6-desoxocastasterona). Symons et al., (2006)

evidencian un aumento notable de los niveles de BR endógenos, coincidiendo con el aumento del peso de la baya y la concentración de sólidos solubles, y permanecen altos durante la maduración. La aplicación exógena de esta hormona promueve la coloración de la piel de la baya, adelantando el envero (Vergara et al., 2020). La aplicación de brasinazol, un inhibidor de la síntesis de BR, retrasa la maduración de la fruta significativamente (Symons et al., 2006).

## 2. Objetivos

El propósito de esta revisión bibliográfica es obtener información sobre el impacto que implica el cambio climático en la calidad de la uva y las posibilidades de la aplicación de fitorreguladores en la vid para paliar sus efectos. Los principales objetivos de esta revisión tratan de alcanzar:

- Una mejor comprensión de la maduración de la uva a nivel hormonal, junto con las posibilidades de actuar sobre el proceso en función del beneficio que queramos obtener.
- Un mayor conocimiento del uso de fitorreguladores como una herramienta estratégica para mitigar los efectos del calentamiento global sobre la calidad de la uva y el vino.

## 3. Metodología

### 3.1 Búsqueda y clasificación de la bibliografía

Para llevar a cabo el presente trabajo se han revisado diferentes artículos científicos y tesis doctorales. Todo ello ha sido recopilado mediante una búsqueda a través de palabras clave en varias bases de datos: Web of Science, Researchgate y ScienceDirect. Por otro lado se han utilizado libros de texto de viticultura y artículos de divulgación para apoyar el entendimiento sobre la materia.

La recopilación de la información se divide en:

- Artículos que estudian y llevan a cabo trabajos científicos que estudian el impacto del cambio climático en la viticultura.
- Artículos sobre los efectos del cambio climático sobre la calidad de la uva y el vino.
- Artículos sobre el uso de los fitorreguladores en la viña.

Para el estudio sobre la regulación hormonal de la maduración de la uva y el uso de fitorreguladores en el viñedo se utilizaron como base dos artículos: uno publicado por Francisca Parada en 2017 titulado “Phytohormonal Control over the Grapevine Berry Development. In Phytohormones—Signaling Mechanisms and Crosstalk in Plant Development and Stress Responses” y otro realizado por Ana Margarida Fortes en 2015 titulado “Complex Interplay of Hormonal Signals during Grape Berry Ripening.” A través de la búsqueda realizada en las bibliografías de dichos artículos y la investigación realizada en diferentes bases de datos, se recopiló la información necesaria sobre las

aplicaciones de diferentes fitorreguladores utilizados en viticultura con potencial interés para mitigar los efectos del cambio climático.

### **3.2 Redacción del trabajo**

Para llevar a cabo la redacción del presente trabajo se han tenido en cuenta las normas publicadas en la página web de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias que se recogen en los documentos “GUIA E ÍNDICE TFGs REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA GRADO ENOLOGÍA” y “Normas de Estilo y Formato de TFG Enología”

Se han seleccionado todas aquellas publicaciones más recientes. Casi el 80% de la bibliografía es del año 2013 en adelante, y se incluyen varios artículos ya publicados en el año actual. Se analiza y compara varios estudios realizados, comentando y comparando los resultados obtenidos.

## **4. Resultados y discusión**

Para lograr vinos de buena calidad es importante que el periodo de maduración de las bayas se produzca a temperaturas entre 25-30°C (Resco et al., 2015). Debido al cambio climático, el tiempo entre el envero de la uva y el momento de cosecha se ha acortado, transcurriendo a temperaturas más altas, lo que perjudica a la calidad de la uva (López et al., 2021). En zonas cálidas y/o afectadas por el cambio climático es interesante actuar en el viñedo para retrasar la maduración de la uva para que se produzca en condiciones de temperaturas más frescas.

El uso de fitorreguladores puede resultar una herramienta interesante para provocar el retraso de la maduración. Esto se puede lograr aplicando bien promotores de crecimiento, como las auxinas, que alargarían el periodo herbáceo de desarrollo del fruto, o bien inhibidores de la síntesis de etileno y de brasinoesteroides y ABA que retrasarían el envero.

### **4.1 Auxinas**

Los resultados de los estudios realizados sobre el efecto de la aplicación de auxinas sintéticas sobre el desarrollo y maduración del fruto en la vid, varían según la auxina, la variedad y la etapa de desarrollo en la que se encuentre la planta en el momento de su aplicación (Böttcher et al., 2011). Como se ha comentado antes, los niveles de la auxina endógena principal, IAA (ácido indol-3-acético), descienden considerablemente a partir del envero, por lo que esta hormona deja de estar involucrada en la maduración de la baya.

Varios estudios (Tabla 1) afirman que el tratamiento con auxinas, previo al envero, retrasa la maduración y tiene consecuencias sobre el desarrollo de las bayas y por ende en la composición del vino. Las auxinas exógenas aplicadas son principalmente benztiazol-2-ácido oxiacético (BTOA) y ácido 1-naftalenacético (NNA). Se ha demostrado que estos reguladores de crecimiento aplicados en la fase pre-envero inducen un retraso en la maduración de entre 2 y 3 semanas aproximadamente (Davies et al., 1997; He et al., 2020), basándose en los niveles de sólidos solubles totales, antocianinas, acidez titulable y peso y volumen de la baya (Tabla 1). Por otro lado se ha

constatado un retraso del inicio del envero en la variedad. Riesling una semana en las bayas tratadas con NAA (Böttcher et al., 2012).

Tabla 1. Descripción de los impactos ocasionados en la baya provocados por la aplicación de auxinas sintéticas a lo largo de varios estudios. (Elaboración propia)

Publicación (*)	Variedad tratada	Auxina empleada	Efectos en la baya
Davies et al., 1997	<i>Vitis vinifera</i> L. cv. Shiraz	BTOA (benzotiazol-2-ácido oxiacético)	Retraso en el ablandamiento de la baya. Retraso en la acumulación de sólidos solubles totales. Retraso en la acumulación de antocianinas
Böttcher et al., 2011	<i>Vitis vinifera</i> L. cv. Shiraz	NAA (ácido 1-naftalenacético)	Acumulación más lenta de sólidos solubles totales. Aumenta el volumen de la baya. Retraso en la acumulación de antocianinas. Cambios en los compuestos volátiles insignificantes.
Zliotto et al., 2012	<i>Vitis vinifera</i> L. cv. Merlot	NAA (ácido 1-naftalenacético)	Aumento del volumen de la baya. Aumento de la acidez titulable. Disminución en la acumulación de sólidos solubles totales. Retraso en la acumulación de antocianinas.
González et al., 2012	<i>Vitis vinifera</i> L. Cabernet Sauvignon	IAA (ácido indol-3-acético)	No afecto al contenido de sólidos solubles totales. Disminución de la malvidina total.
Böttcher et al., 2012	<i>Vitis vinifera</i> L. cv. Riesling	NAA (ácido 1-naftalenacético)	Aumento del peso de la baya. Disminución en la concentración de sólidos solubles totales. Sin cambios significativos en la acidez titulable.
He et al., 2020	<i>Vitis vinifera</i> L. cv. Cabernet Sauvignon	NAA (ácido 1-naftalenacético)	Acumulación más lenta de los sólidos solubles totales. Disminución de la acidez titulable. Promueve la acumulación de norisoprenoides.

\*En el apartado de BIBLIOGRAFIA se referencian las publicaciones respectivas.

En el estudio de la inducción del retraso en la maduración por auxinas exógenas la expresión génica es un capítulo muy importante. Se ha confirmado la capacidad del NAA para retrasar la maduración de la uva a nivel transcripcional, es decir, restringiendo la expresión de genes implicados en la acumulación de azúcares y antocianinas. Zliotto et al. (2012) afirman que la amplitud del retraso en la maduración puede estar asociada con el tiempo en que se recupera de forma estable la concentración de auxinas en el fruto.

El ablandamiento de la piel de la baya, siendo uno de los primeros eventos que precede a la acumulación de azúcares, se puede retrasar mediante la aplicación de NAA. Esto se debe a que la auxina exógena provoca cambios en la estructura de la pared celular, estabilizando y aumentando la resistencia de la misma (Dal Santo et al., 2020). A esto hay que añadir el aumento de volumen en la baya que provoca la aplicación de NAA (Böttcher et al., 2011; Ziliotto et al., 2012), pudiendo tener implicación en el retraso de maduración al requerir más fotosintato (suministro inicial de azúcar) para poder alcanzar una concentración de azúcar similar a la de una baya sin tratar, lo cual contribuye a el aplazamiento de la etapa de maduración (Dal Santo et al., 2020).

Por otro lado, el estudio de González et al. (2012) sobre el tratamiento de IAA realizado en el envero sobre la variedad Cabernet Sauvignon, concluyó que el contenido de sólidos solubles totales del mosto no se vio afectado, lo que difiere del resto de los estudios observados en la Tabla 1. Esto puede deberse principalmente a la etapa fenológica en la que se aplica el tratamiento, pero también a los productos aplicados y las variedades estudiadas.

En cuanto a la calidad de los vinos procedentes de uvas tratadas con NAA, no se han demostrado diferencias significativas con respecto a los controles (Böttcher et al., 2011; Ziliotto et al., 2012). Los compuestos volátiles del vino, los cuales influyen notablemente en sus propiedades organolépticas, se vieron mínimamente alterados (Böttcher et al., 2011). Analizando los norisoprenoides (derivados de los carotenoides) (He et al., 2020) se concluye que el tratamiento con NAA puede beneficiar la biosíntesis y acumulación de este grupo de compuestos. Esto puede atribuirse a la expresión de genes implicados en el metabolismo de los carotenoides (He et al., 2020). Estos compuestos poseen gran interés desde el punto de vista olfativo y participan de manera determinante en el aroma de los vinos pudiendo contribuir de manera positiva sobre sus cualidades organolépticas.

## 4.2 Citoquininas

La aplicación exógena de estas hormonas ha tenido como objetivo principal el aumento del tamaño de la baya, pero su capacidad para retrasar la senescencia del fruto ha hecho que esto también haya sido objeto de estudio. Los compuestos de citoquininas sintéticas más utilizados en vid son: N-(2-Cloro4-piridinil)-N'-fenilurea (CPPU) y Thidiazurón (TDZ). Las bayas tratadas con estos compuestos obtuvieron valores de sólidos solubles totales por debajo de los valores de las bayas sin tratar, demostrando una clara tendencia a retrasar la maduración (Peppi et al., 2008; Ferrara et al., 2014; Wang et al., 2020).

La hipoxia ocurre dentro de la uva durante la maduración. Se ha observado que el nivel de O<sub>2</sub> disminuye a medida que avanza la maduración (Xiao et al., 2018). Tyagi et al., 2021 encontraron aumentos en los genes relacionados con el estrés por hipoxia a través del tratamiento por CPPU, sugiriendo su posible influencia en el retraso de la maduración.

En cuanto a la influencia sobre la acidez titulable, esta es despreciable (Maoz et al., 2014) o las uvas tratadas obtienen valores más bajos que las uvas de control (Ferrara et al., 2014). Por otra parte, Maoz et al. (2014) han demostrado, en uvas Thompson Seedless, que la aplicación de CPPU puede aumentar el contenido de taninos y catequinas teniendo implicaciones sobre la calidad sensorial puesto que aumenta la astringencia.

Recientemente, Tyagi et al. (2021) llevaron a cabo un análisis de antocianinas (delfinidina, cianidina, petunidina, peonidina y malvidina), después de realizar un tratamiento con CPPU, dando como resultado una reducción de los niveles de la mayoría de los componentes en comparación con los controles. Esto apoya el estudio realizado por Peppi et al. (2008) en el que se obtuvo una disminución del nivel de antocianinas, que supone un retraso en el desarrollo del color de la uva como consecuencia de la aplicación de CPPU.

El tono de color de la piel de la baya está influenciado principalmente por la concentración de clorofila, que mantiene su concentración alta durante las etapas de pre-maduración. La coloración de la baya progresa a medida que la descomposición de la clorofila avanza (Suehiro et al., 2019). El tratamiento con citoquininas exógenas (thidiazurón) parece provocar un aumento en la cantidad de cloroplastos en la piel de las bayas lo que conduce a un aumento en el contenido de clorofila (Maoz et al., 2014; Suehiro et al., 2019). Esto implica que las bayas tratadas tendrán una apariencia verde más oscura en comparación con las bayas no tratadas, provocando también cambios fisiológicos como en el color y en el tamaño (Wang et al., 2020). El aumento en los niveles de clorofila podría ser un indicador del retraso de la maduración a nivel visual. (Ziliotto et al., 2012). Por otro lado, el aumento en el tamaño de la uva se relaciona principalmente con la expansión celular en respuesta al tratamiento con citoquininas (Tyagi et al., 2021).

Los compuestos volátiles se ven afectados con el tratamiento con citoquininas exógenas. En el estudio realizado por Tyagi et al. (2021) se encontró una reducción en los terpenos con la aplicación de CPPU. Con tratamientos a base de Thidiazuron Wang et al. (2020), observaron una reducción de casi todos los terpenos, especialmente: linalol, geraniol y D-limoneno. Se produjo una disminución significativa cuando el tratamiento se realizó en las etapas de pre-verano y verano, donde la actividad de las terpeno sintetas de la planta (enzimas reguladoras de la biosíntesis de terpenos) disminuyó. Esta reducción en los niveles de monoterpenos puede ocasionar una disminución en cuanto a la calidad en el sabor y aromas de la uva, pero los estudios realizados hasta ahora sobre su influencia en la calidad son limitados (Wang et al., 2020).

El momento de desarrollo en el que se encuentre la baya, así como la cantidad de producto (CPPU) a aplicar, parece tener influencia significativa en la respuesta obtenida. Se ha demostrado que, a mayor cantidad empleada de producto en los tratamientos, aumenta el peso y tamaño de la baya, puesto que induce al agrandamiento celular, pero paralelamente los valores de sólidos solubles totales disminuyen (Kittiwatsopon et al., 2016). La cantidad de sólidos solubles totales se relaciona inversamente con la dosis de aplicación (Maoz et al., 2014).

Por otro lado, las aplicaciones realizadas antes de la floración favorecen principalmente el cuajado de las bayas, mientras que un tratamiento posterior a la floración afectará, sobre todo, al tamaño y madurez fisiológica (Zabadal et al., 2006). Los tratamientos tempranos de CPPU tienen mayor influencia en el peso y tamaño de la baya que los tratamientos tardíos (Zabadal et al., 2006). Sin embargo, las aplicaciones tardías provocan una disminución en la acumulación de azúcares en la uva (Zabadal et al., 2006; Maoz et al., 2014), tanto mayor cuanto mayor es la dosis de producto.

### 4.3 Ácido giberélico

La aplicación de ácido giberélico (GA) puede suprimir la expresión de algunos genes transportadores de azúcar a las bayas, afectando negativamente a la acumulación de este metabolito primario (Suehiro et al., 2019). Se han observado valores de sólidos solubles totales más bajos en las uvas tratadas con GA, en comparación con las de control, a una dosis de 10 mg / L y cuando el diámetro de la baya era de 11-12 mm (envero) (Ferrara et al., 2014).

Suehiro et al., 2019 sugirió una posible interacción entre las citoquininas (CK) y GA. Realizó un tratamiento con CK/GA el cual redujo la expresión de genes involucrados en la señalización de GA y CK lo que produce un retraso en la maduración al reducir la senescencia de las células de la baya.

Por otro lado, al igual que se ha podido observar en tratamientos con CK, la aplicación de GA hace que la descomposición de la clorofila sea más lenta (Suehiro et al., 2019)

La concentración total de antocianinas y el contenido total de compuestos fenólicos parece aumentar tras el tratamiento con GA (Kok et al., 2018). También se ha observado un aumento en los parámetros colorimétricos medidos, apreciándose un aumento de tono de amarillo a amarillo verdoso cuando se aplicaba una dosis de 10 mg/L en el envero (Ferrara et al., 2014)

### 4.4 Ácido abscísico

Se ha observado que aplicaciones con ácido abscísico (ABA) pueden adelantar la maduración, aumentando los niveles de azúcar y disminuyendo la acidez (Fortes et al., 2016). Sin embargo su efecto sobre los sólidos solubles totales y la acidez, no está definido, existiendo variaciones sobre las mismas dosis en diferentes años (Peppi et al 2008). He et al., 2020 observó que una dosis de 500 mg/L de ABA tendría un efecto insignificante sobre la acumulación de azúcar y la disminución de la acidez. Isci et al., 2020 realizó el tratamiento diez días después del envero con dosis de 400 mg/L y 300 mg/L de ABA teniendo poco o ningún efecto sobre los sólidos solubles totales y la acidez titulable. Por lo que su influencia sobre la madurez tecnológica aún no está bien definida.

Sin embargo varios estudios han podido afirmar que la aplicación de ABA desencadena la biosíntesis de antocianinas aumentando las concentraciones de este metabolito (He et al., 2020; Shahab et al., 2020; Suehiro et al., 2019). Aplicaciones antes y después del envero pueden mejorar significativamente el contenido y las tasas de acumulación de antocianinas totales así como el índice de color (Shahab et al., 2020). La dosis de aplicación a la que el ABA favorece la maduración fenólica podrían estar entre 400 y 500 mg/L de ABA (Shahab et al., 2020; Suehiro et al., 2019).

Por otro lado en un estudio reciente en el que se aplicó un inhibidor de la síntesis de ABA (abscinazol E3M) se observó un aumento en los niveles de IAA endógeno en las hojas (Tomiyama et al., 2020)



## 4.5 Liberadores de etileno

Existe una amplia variación en las respuestas de la vid a la aplicación de liberadores de etileno, constatada en numerosos estudios. Esto podría deberse a varios factores, incluyendo la etapa de desarrollo de la baya en el momento de la aplicación, las diferencias varietales estudiadas, los niveles de absorción del producto y el método de aplicación.

Pese a que la baya de la vid se considera como fruta no climatérica, se detecta un aumento importante en los niveles de etileno en la baya al inicio de la maduración (Chervin et al., 2004). Se cree que el desencadenante de la maduración viene dado por un complejo formado mediante la unión de etileno y sus receptores específicos. Si la cantidad de estos receptores se altera o se interfiere en dicha unión, la acción del etileno en la fruta puede verse afectada (Abu-Goukh 2013).

Para comprobar si el aumento en la producción de etileno tiene consecuencias relevantes sobre la maduración de la uva, Chervin et al. (2004) ensayaron el compuesto 1-metilciclopropeno (1-MCP) en vides de Cabernet Sauvignon. Este compuesto es un regulador vegetal sintético en forma de gas en condiciones ambientales, el cual se une a los receptores del etileno en los tejidos vegetales inhibiendo su acción. La aplicación de este regulador se hizo 7 y 8 semanas después de floración, cuando se esperaba que los niveles de etileno alcanzaran su pico más alto, provocando un retraso en el aumento del diámetro de la baya y limitando el aumento del volumen. Esto demostró el papel potencial del etileno para modificar el agrandamiento celular de la baya y por lo tanto su maduración. Por otro lado la aplicación de MCP parece conducir a una disminución más lenta de la acidez, tanto en las concentraciones de ácido tartárico como de ácido málico, según estudios realizados sobre uvas de mesa (Red Globe y Crimson Seedless) (Ptoumenou et al., 2021; Franco-Bañuelos et al., 2019). En definitiva, la aplicación de 1-MCP puede ser útil para retrasar la maduración de la uva, siempre que se aplique coincidiendo con los niveles de etileno máximos en la uva.

Los tratamientos de las bayas con compuestos liberadores de etileno, como el etefón o CEPA (ácido 2-cloroetilfosfónico), presentan resultados dispares en lo que respecta a la maduración. Esto es probablemente debido a la influencia de los niveles naturales de etileno en las uvas en el momento del tratamiento, que es difícil de determinar en la práctica.

El etefón puede generar una respuesta diferente, inhibiendo o promoviendo la maduración de la baya en función de la etapa en la que se aplique el tratamiento. Böttcher et al. (2013) han demostrado que el tratamiento (*Vitis vinífera* L. cv Cabernet Sauvignon) antes del envero (20 días antes), a una dosis de 300 mg/L, produce un retraso en la maduración de 13 días respecto a los controles, con niveles de sólidos solubles totales y pesos de la baya más bajos. Por otro lado, López et al. (2021), realizaron un tratamiento (*Vitis vinífera* L. cv Tempranillo) con etefón una vez iniciado el envero, aproximadamente cuando el 20% de las bayas había cambiado de color, obteniendo una reducción en la acumulación de azúcares cuando se aplicaron las dosis más altas de etefón (450 g/ha).

Sin embargo, las aplicaciones de etefón realizadas una semana antes del envero (Ptoumenou et al., 2021) pueden provocar un aumento de color y en ocasiones un aumento en los niveles de azúcar.

Se ha estudiado la interacción entre las auxinas y el etileno (*Vitis vinífera* L.), habiendo un fuerte efecto antagónico entre ambas hormonas. El aumento en la expresión de

genes de biosíntesis de auxinas precede a niveles elevados de expresión de genes para biosíntesis de etileno alrededor del inicio de la maduración. Tratamientos con NAA (ácido 1-naftalenacético) han dado como resultado una estimulación en la biosíntesis y acción del etileno (Böttcher et al., 2013b). Por otro lado los tratamientos con etefón (72mg/L) previos al envero, promueven la biosíntesis de auxinas en la uva aumentando la concentración de IAA (ácido indol-3-acético). Esto plantea la posibilidad de que el retraso de la maduración inducido por etefón sea el resultado de un aumento en la concentración de auxinas antes del envero (Ziliotto et al., 2012; Böttcher et al., 2013b).

Un estudio comparativo publicado por Davies et al. (2015) que compara la aplicación de etefón y de NAA en la etapa de floración (*Vitis vinifera* L. cv Shiraz), muestra que ambas producen un retraso en la maduración, aunque el retraso en la acumulación de sólidos solubles totales generado con el tratamiento de etefón (300 mg/L) fue menos pronunciado que el del tratamiento con NAA (50 mg/L) (6 y 23 días respectivamente). La acumulación de antocianinas en ambos tratamientos se retrasó, aunque se obtuvieron concentraciones más altas en el tratamiento con etefón.

En cuanto a la madurez fenólica, la aplicación de liberadores de etileno podría tener efectos positivos. López et al. (2021) han mostrado un fuerte aumento en la acumulación de antocianinas y compuestos fenólicos tras el tratamiento con etefón en bayas al inicio del envero. Los resultados obtenidos por Ptoumenou et al. (2021) y Franco-Bañuelos et al. (2019) van en la misma línea que los comentados anteriormente. Sin embargo, cuando la aplicación se realiza en el momento en el que los niveles de etileno endógeno alcanzan su pico más alto (previo al envero), la concentración de antocianinas en la uva se ve disminuida (Chervin et al., 2004, 2008).

Por todo lo expuesto, la aplicación de etefón puede resultar una herramienta útil a la hora de evitar el desacoplamiento entre la madurez fenólica y tecnológica generado por el cambio climático (potenciar la acumulación de polifenoles y no tanto la acumulación de azúcares en la uva). Esto lleva a la obtención de vinos de mayor calidad, con menor grado alcohólico y mayor intensidad de color.

#### **4.6 Inhibidores de la síntesis de brasinoesteroides**

Los brasinoesteroides (BR) aumentan sus niveles en las bayas al inicio de la fase de maduración, estimulando así la síntesis de metabolitos primarios y secundarios. La aplicación de BR exógenos (24-epibrasinolida) promueve la maduración significativamente, puesto que aumenta las concentraciones de sólidos solubles totales y de los compuestos fenólicos como las antocianinas, (Symons et al., 2006; Vergara et al., 2020).

Para poder confirmar la implicación de los BR en los procesos de maduración de la baya, se aplicó brasinazol, un inhibidor de la síntesis de brasinoesteroides (Symons et al., 2006; Xu et al., 2015). El resultado fue la obtención de uvas con concentraciones más bajas de sólidos solubles totales que en las bayas sin tratar, un mayor contenido de ácidos titulables así como un retraso en la acumulación de antocianinas. Estos resultados sugieren la posibilidad de usar inhibidores de la síntesis de BR como herramienta para inhibir o retrasar la maduración de la uva cuando fuere necesario.

No obstante también hay que tener en cuenta que los BR no son la única hormona que interfiere en la maduración. Las diferentes vías hormonales existentes pueden modificar la señalización de otras hormonas (Xu et al., 2015). El análisis transcriptómico ha sugerido que los BR podrían actuar como señal clave para los procesos de activación

de la maduración mediante la modulación de los niveles de etileno (Ziliotto et al., 2012). Por otro lado, también sería interesante investigar la relación entre ABA y BR (Kuhn et al., 2013). Hacen falta más investigaciones sobre la aplicación de brasinazol, no solo por ser un elemento útil para el retraso de las maduraciones, sino además por sus posibles interacciones con otras hormonas y lo que ello puede implicar.

#### **4.7 Ácido salicílico**

Se ha estudiado recientemente la aplicación exógena de ácido salicílico con el fin de mejorar la concentración de compuestos polifenólicos en la baya. Perin Gomes et al. (2021) ha investigado la aplicación, en vides cv. Niágara Rosada (*Vitis labrusca* L. x *Vitis vinifera* L.) de este compuesto con diferentes dosis en el envero. En los resultados obtenidos se observó que a dosis de 2 mmol L, en pre-cosecha, los sólidos solubles disminuían en comparación con las demás dosis (1 mmol L, 3 mmol L, 4 mmol L). Por otro lado, las bayas que recibieron la dosis de 1 mmol L mostraron un aumento de los compuestos fenólicos:

Gamez et al. (2020) realizó estudios de este compuesto en uvas de mesa (cv. 'Flame Seedless *Vitis vinifera* L.). Obtuvo una mayor acumulación de antocianinas en la piel de las bayas con una dosis de 50 mg/L. En cuanto a la acumulación de sólidos solubles totales, se observó una tendencia a disminuir cuando la concentración era de 50 mg/L, en comparación con la concentración de 100 mg/L.

## 5. Conclusiones

El calentamiento global produce un adelanto de la maduración, con un aumento en las concentraciones de azúcares así como un retraso en la acumulación de compuestos polifenólicos, que repercute negativamente en la calidad de los vinos a obtener. Diversas técnicas vitícolas pueden ser utilizadas a corto plazo para hacer frente a las consecuencias de este efecto, entre ellas la aplicación de reguladores de crecimiento. Son interesantes los productos que pueden retrasar la maduración, para que esta tenga lugar a temperaturas más bajas, o bien los productos que promuevan la madurez fenólica de las uvas afectando menos a la madurez tecnológica. Una vez realizada la revisión bibliográfica que constituye este trabajo, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Todas las hormonas estudiadas en este trabajo (auxinas, citoquininas, giberelinas, ácido abscísico, etileno, brasinoesteroides y ácido salicílico) podrían ser útiles en cuanto a su aplicación para paliar los efectos que el calentamiento global está generando en la vid. Sin embargo hay amplias diferencias entre ellas en cuanto a la cantidad de información disponible en la bibliografía. Son diversas las investigaciones realizadas con auxinas o con liberadores/inhibidores de etileno con los que se ha estimado el momento óptimo de aplicación así como las dosis aplicar para obtener un resultado óptimo.
- Los estudios disponibles sobre inhibidores de la síntesis de brasinoesteroides no están centrados en el objetivo del retraso de la maduración, por lo que haría falta indagar más sobre sus dosis y épocas de aplicación, así como sus efectos en la madurez fenólica de las uvas.
- Existen pocos estudios sobre la utilización de giberelinas para retrasar la maduración, aunque se ha observado que pueden retrasar la acumulación de sólidos solubles totales en el fruto si bien retrasan también la acumulación de materia colorante en la baya.
- La aplicación de ácido abscísico o ácido salicílico en enero afecta poco a la madurez tecnológica y favorece claramente la maduración fenólica de la uva, por lo que podrían contribuir a minimizar los efectos del calentamiento global en la calidad de la uva.
- La aplicación de inhibidores de la síntesis de ácido abscísico o de brasinoesteroides podría ser útil para retrasar el proceso de maduración en su conjunto. Sería interesante desarrollar investigaciones en esta línea.
- Se requiere ampliar las investigaciones sobre las aplicaciones de productos reguladores del crecimiento en el viñedo así como sobre la interacción de unos productos con otros, para comprender más a fondo la regulación hormonal del desarrollo de la baya.

## 6. Bibliografía

Abu-Goukh, A.A. (2013). 1-Methylcyclopropene (1-MCP) a breakthrough to delay ripening and extend shelf-life of horticultural crops - Review article. University of Khartoum *Journal of Agricultural Sciences*, 21 (2), 170-196.

Böttcher C., Boss P.K., Davies C. (2011). Acyl substrate preferences of an IAA-amido synthetase account for variations in grape (*Vitis vinifera* L.) berry ripening caused by different auxinic compounds indicating the importance of auxin conjugation in plant development. *Journal of Experimental Botany*, 62(12), 4267-80.

Böttcher C., Burbidge C.A., Boss P.K., Davies C. (2013b). Interactions between ethylene and auxin are crucial to the control of grape (*Vitis vinifera* L.) berry ripening. *BMC Plant Biology*, 13, 222.

Böttcher C., Harvey K.E., Boss P.K., Davies C. (2013a). Ripening of grape berries can be advanced or delayed by reagents that either reduce or increase ethylene levels. *Functional Plant Biology*, 40 (6), 566-581.

Böttcher C., Burbidge C., Boss P.K., Davies C. (2015). Changes in transcription of cytokinin metabolism and signalling genes in grape (*Vitis vinifera* L.) berries are associated with the ripening-related increase in isopentenyladenine. *BMC Plant Biology*, 15(1), 223.

Böttcher C., Boss C., Davies C. (2012). Delaying Riesling grape berry ripening with a synthetic auxin affects malic acid metabolism and sugar accumulation, and alters wine sensory characters. *Functional Plant Biology*, 39(9), 745-753.

Chervin C., El-Kereamy A., Roustan J.P., Latché A., Lamon J., Bouzayen M. (2004). Ethylene seems required for the berry development and ripening in grape, a non-climacteric fruit. *Plant Science: an International Journal of Experimental Plant Biology*, 167 (6), 1301-1305.

Chervin C., Tira-Umphon A., Terrier N., Zouine M., Severac D., Roustan J.P. (2008). Stimulation of the grape berry expansion by ethylene and effects on related gene transcripts, over the ripening phase. *Physiologia Plantarum*, 134 (3), 534-46.

Davies C., Nicholson E.L., Böttcher C., Burbidge C.A., Bastian P., Harvey K.E., Huang A.C., Taylor D.K., Boss P.K. (2015). Shiraz wines made from grape berries (*Vitis vinifera* L.) delayed in ripening by plant growth regulator treatment have elevated rotundone concentrations and "pepper" flavor and aroma. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63, 2137-2144.

Dal Santo S., Tucker M.R., Tan H.T., Burbidge C.A., Fasoli M., Böttcher C., Boss P.K., Pezzotti M., Davies C. (2020). Auxin treatment of grapevine (*Vitis vinifera* L.) berries delays ripening onset by inhibiting cell expansion. *Plant Molecular Biology*, 103 (1-2), 91-111.

Ferrara G., Mazzeo A., Netti G., Pacucci C., Matarrese A.M.S., Cafagna I., Mastrorillo P., Vezzoso M., Gallo V. (2014). Girdling, gibberellic acid, and forchlorfenuron: Effects on yield, quality, and metabolic profile of table grape cv. Italia. *American Journal of Enology and Viticulture*, 65, 381-387.

Fortes A.M., Teixeira R.T., Agudelo-Romero P. (2015). Complex Interplay of Hormonal Signals during Grape Berry Ripening. *Molecules*, 20 (5), 9326-43.

Franco-Bañuelos A., Hernandez-Trujillo S., Contreras-Martínez C., Carranza-Téllez J., Carranza-Concha J. (2019). Use of growth regulators on the total phenolic content and the antioxidant capacity of "Red Globe" grape. *Agrociencia*, 881-894.

Gamez M., Mercado J., Garcia Robles J.M., Baez Sañudo R. (2020). Interaction of salicylic acid and in the Flame table grape color Seedless. *Technology of Food of Vegetable Origin*, 21, 68-77.

Perin Gomes E., Vanz Borges C., Charles Monteiro G., Filiol Belin M.A., Otavio Minatel I., Pimentel Junior A., Tecchio M.A (2021). Preharvest salicylic acid treatments improve phenolic compounds and biogenic amines in 'Niagara Rosada' table grape. *Postharvest Biology and Technology*, 176.

González Á. S., Olea P., Bordeu E., Alcalde J.A., Gény L. (2015). S-Abscisic Acid, 2-Chloroethylphosphonic Acid and Indole-3-Acetic Acid Treatments Modify Grape (*Vitis vinifera* L. cv. 'Cabernet Sauvignon') Hormonal Balance and Wine Quality. *Vitis: Journal of Grapevine Research*, 51, 45-52.

Gutiérrez-Gamboa, G., Zheng, W., Martinez 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.

He L., Ren ZY., Wang Y., Fu YQ., Li Y., Meng N., Pan QH. (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 (Basel)*, 9(5), 630.

IPCC, 2013: "Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático" [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático [Equipo principal de redacción, RK Pachauri y LA Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 151 págs.

İşçi B., Kacar E., Altındışlı, A. (2020). The Effects of Some Exogenous Applications on Quality in 'Crimson Seedless' Grape. *Erwerbs-Obstbau* 62, 87–100.

Kittiwatsopon, K. and Karintanyakit, P. (2016). Effect of CPPU and GA3 on growth and quality of 'marroo seedless' grape. *Acta Horticulturae*, 1059, 189-19.

Kok D. (2018). Grape growth content, anthocyanins and phenolic compounds of the Cv of early ripening. Cardinal table grape (*V. vinifera* L.) as Affected by Various Dose of Foliar Applications of Biostimulants with Gibberellic Acid. *Erwerbs-Obstbau*, 60, 253-259.

Kuhn N., Guan L., Dai Z.W., Wu B.H., Lauvergeat V., Gomès E., Li S.H., Godoy F., Arce-Johnson P., Delrot S. (2013). Berry ripening: recently heard through the grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 65(16), 4543-59.

López R., Portu J., González-Arenzana L., Garijo P., Gutierrez A.R., Santamaría P. (2021). Ethephon foliar application: Impact on the phenolic and technological Tempranillo grapes maturity. *Journal of Food Science*, 86(3), 803-812.

Maoz I., Bahar A., Kaplunov T., Zutchi Y., Daus A., Lurie S. (2014). Effect of the Cytokinin Forchlorfenuron on Tannin Content of Thompson Seedless Table Grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 65, 230 – 237.

McAtee P., Karim S., Schaffer R., David K. (2013). A dynamic interplay between phytohormones is required for fruit development, maturation, and ripening. *Frontiers in Plant Science*, 4, 79.

Meléndez E., Ortiz MC., Sarabia LA., Íñiguez M., Puras P. (2013). Modelling phenolic and technological maturities of grapes by means of the multivariate relation between organoleptic and physicochemical properties. *Analytica Chimica Acta*, 761, 53-61.

Mori K., Goto-Yamamoto N., Kitayama M., Hashizume K. (2007). Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature. *Journal of Experimental Botany*, 58(8), 1935-45.

Neethling E., Petitjean T., Quénot H., Barbeau G. (2017). Assessing local climate vulnerability and winegrowers adaptive processes in the context of climate change. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 22, 777-803.

Parada F., Espinoza C., Arce-Johnson P. (2017). Chapter 7: Phytohormonal Control over the Grapevine Berry Development. In *Phytohormones—Signaling Mechanisms and Crosstalk in Plant Development and Stress Responses*. InTech, 143–159.

Peppi M., Fidelibus M. W. (2008). Effects of Forchlorfenuron and Abscisic Acid on the Quality of 'Flame Seedless' Grapes. *HortScience horts*, 43(1), 173-176.

Pieri P. (2010). Changement climatique et culture de la vigne: l'essentiel des impacts. In N. Brisson and F. Levrault (eds.), *Changement climatique, agriculture et forêt en France: simulations d'impact sur les principales espèces*. *Le Livre Vert*, 213-224.

Prats-Llinàs M. T., Girona J., Marsal J. (Junio de 2017). Variación de la fenología, posibles efectos sobre la demanda hídrica. XXXIV Congreso Nacional de Riegos. Producción, calidad y ahorro de agua en viñedo frente a riego deficitario en postcosecha. Proyecciones para diferentes escenarios climáticos con retraso en la entrada de reposo invernal. Tarragona.

Ptomenou D.G, Patris V.E. (2021). Effects of Several Preharvest Canopy Applications on Yield and Quality of Table Grapes (*Vitis vinifera* L.) Cv. Crimson Seedless. *Plants*, 10 (5), 906.

Resco Sanchez P. (2015). *Viticultura y Cambio Climático en España: Vulnerabilidad en las distintas regiones y estrategias de adaptación frente al desarrollo de nuevas políticas [tesis doctoral]*. Madrid: Departamento de Economía y Ciencias Sociales Agrarias. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.

- Santos J.A., Fraga H., Malheiro A.C., Moutinho-Pereira J., Dinis L.T., Correia C., Moriando M., Leolini L., Dibari C., Costafreda-Aumedes S., Kartschall T., Menz C., Molitor D., Junk J., Beyer M., Schultz H. (2020). A review of the potential climate change impacts and adaptation options for European viticulture. *Applied sciences*, 10, 3092.
- Shahab M., Roberto S.R., Ahmed S., Colombo R.C., Silvestre J.P., Koyama R., Teodoro de Souza R. (2020). Relationship between anthocyanins and skin color of table grapes treated with abscisic acid at different stages of berry ripening. *Scientia Horticulturae*, 259, 108859.
- Symons GM., Davies C., Shavrukov Y., Dry IB., Reid JB., Thomas MR. (2006). Grapes on steroids. The Brassinosteroids are involved in the ripening of grape berries. *Plant physiology*, 140, 150-158.
- Suehiro Y., Mochida K., Tsuma M., Yasuda Y., Itamura H., Esumi T. (2019). Effects of gibberellic acid/cytokinin treatments on Berry development and maturation in the yellow-green skinned 'shine muscat' grape. *The Horticulture Journal*, 88, 202-213.
- Tyagi K., Maoz I., Kochanek B., Sela N., Lerno L., Ebeler SE., Lichter A. (2021). Cytokinin but not gibberellin application had major impact on the phenylpropanoid pathway in grape. *Journal of Horticulture Research*, 8(1), 51.
- Tissot C., Neethling E., Rouan M., Barbeau G., Quénot H., and Le Cop C. (2017). Modeling Environmental Impacts on Viticultural Ecosystems: A First Case Study in a Regulated Wine Producing Area. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems*, 8(3).
- Van Leeuwen C., Darriet P. (2016). The Impact of Climate Change on Viticulture and Wine Quality. *Journal of Wines Economics*, 11, 150-167.
- Van Leeuwen C., Friant P., Xavier C., Tregoat O., Koundouras S., Dubourdieu D. (2004). Influence of Climate, soil and cultivar on Terroir. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55 (3).
- Van Leeuwen C., Destrac-Irvine A., Dubernet M., Duch mi ne E., Gowdy M., Marguerit E., Pieri P., Parket A., de Ress mi guier L., Ollat N. (2019). Un Update on the Impact Climate Change in Viticulture and Potential Adaptations. *Agronomy*, 9.
- Van Leeuwen C., Destrac-Irvine A. (2017). Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard. *OENO One*, 51(2), 147-154.
- Vergara A., Torrealba M., Alcalde J.A., Pérez-Donoso A.G. (2020). Commercial brassinosteroid increases the concentration of anthocyanin in red tablegrape cultivars (*Vitis vinifera* L.). *Australian journal of Grape and Wine Research*, 26(4), 427-433.
- Wang W., Khalil-Ur-Rehman M., Wei L.L, Nieuwenhuizen N.J., Zheng H., Tao J.M. (2020). Effect of Thidiazuron on Terpene Volatile Constituents and Terpenoid Biosynthesis Pathway Gene Expression of Shine Muscat (*Vitis labrusca* × *V. vinifera*) Grape Berries. *Molecules*, 25 (11), 2578.
- Xiao Z., Rogiers S.Y., Sadras V.O., Tyerman S.D. (2018). Hypoxia in grape berries: the role of seed respiration and lenticels on the berry pedicel and the possible link to cell death. *Journal of Experimental Botany*, 69 (8), 2071-2083.



Xu F., Xi Z.M., Zhang H., Zhang C.J., Zhang Z.W. (2015). Brassinosteroids are involved in controlling sugar unloading in *Vitis vinifera* 'Cabernet Sauvignon' berries during véraison. *Plant Physiology and Biochemistry*, 94,197-208.

Zabadal, T. J., Bukovac, M. J. (2006). Effect of CPPU on Fruit Development of Selected Seedless and Seeded Grape Cultivars. *HortScience*, 41(1), 154-157.

Zhu J., Sae-Seaw J., Wang Z. (2013). Brassinosteroid signaling. *Developing*, 140 (8).

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, 185.