

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL**



***El cambio climático y sus efectos sobre
la calidad del vino***

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA
Y DEL MEDIO RURAL

ALUMNO: Adrián Martínez Navarro

TUTOR: José Luis Aleixandre Benavent

Curso Académico 2015/2016

VALENCIA, JULIO DEL 2016



El cambio climático y sus efectos sobre la calidad del vino

Autor	D. Adrián Martínez Navarro.	Trabajo Final de Grado
-------	-----------------------------	------------------------

Tutor	Prof. D. José Luis Aleixandre Benavent.	Localidad y fecha	Valencia, Julio 2016
-------	---	-------------------	----------------------

Resumen

El cambio climático es una alteración del clima que se manifiesta por cambios en el medio ambiente que modifican sus características. En el aspecto productivo, especialmente en viticultura, el cambio climático está ejerciendo una influencia cada vez mayor sobre la fenología de la vid y la composición de la uva. Afecta al comportamiento de las vinificaciones, a la química y microbiología enológica, así como a las características organolépticas de los vinos.

En este trabajo se analizarán los efectos del cambio climático, producidos por el calentamiento global y la emisión de gases de efecto invernadero, en la Viticultura y en la Enología. Los efectos que la temperatura, el carbónico y la radiación solar tienen sobre la maduración de la uva dando origen a vendimias anticipadas, con las consiguientes modificaciones en la composición del grano de uva, son aspectos que influyen en las características del vino a elaborar. Los problemas generados por el aumento de azúcares y del pH, junto con la disminución de la acidez, son también aspectos muy importantes a tener en cuenta en la conservación de los vinos. En el trabajo también se analizarán algunos aspectos relacionados con la madera de roble y su utilización en la crianza de los vinos, así como los fenómenos asociados a este proceso.

Palabras clave:	Uva, vino, cambio climático, calentamiento global
-----------------	---



Climate change and its effects on wine quality

Author	D. Adrián Martínez Navarro.	Degree Final Project
--------	-----------------------------	----------------------

Tutor	Prof. D. José Luis Aleixandre Benavent.	Locality and date	Valencia, Julio 2016
-------	---	-------------------	----------------------

Abstrac

Climate change is an alteration of the climate that is manifested by changes in the environment that change their characteristics. On the production side, especially in viticulture, climate change is exerting an increasing influence on the phenology of the vine and grape composition. It affects the behavior of vinification, oenological chemical and microbiology and the organoleptic characteristics of the wines.

In this work will be analyzed the effects of climate change, caused by global warming and the emission of greenhouse gases, in viticulture and oenology. The effects of temperature, carbon dioxide and solar radiation on the ripening of the grapes, producing an advancement harvest time with consequent changes in the composition of the grape, are aspects that influence the type of wine to be produced. The problems generated by increased sugar and pH, along with decreasing acidity are very important aspects to consider in the conservation of the wines. It also will be analyzed some aspects about oak wood and its use in aging wine, as well as chemical changes associated with this process.

Key Words:	Wine, Oenology, Grape, Climate Change, Global Warming
------------	---

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
2. EL CAMBIO CLIMÁTICO	2
3. EL CAMBIO CLIMATICO EN LA VITICULTURA	4
4. NECESIDADES CLIMÁTICAS DE LA VID	5
4.1 Temperatura	5
4.2 Pluviometría	8
4.3 Insolación	8
5. EFECTOS ASOCIADOS A LA VITICULTURA	8
5.1 Efectos de la temperatura.....	9
5.2 Efectos de las precipitaciones	10
5.3 Efectos del CO ₂	11
6. EFECTOS ASOCIADOS A LA ENOLOGÍA	11
6.1 Efectos en las vendimias	11
6.2 Efectos de las altas concentraciones de azúcar y alcohol ...	14
6.3 Efectos de la baja acidez, aumento de pH y potasio	17
6.4 Efectos asociados a la calidad del vino	20
6.5 Efectos en la crianza de vinos	24
7. CONCLUSIONES	24
8. BIBLIOGRAFÍA.....	25

Índice de gráficas

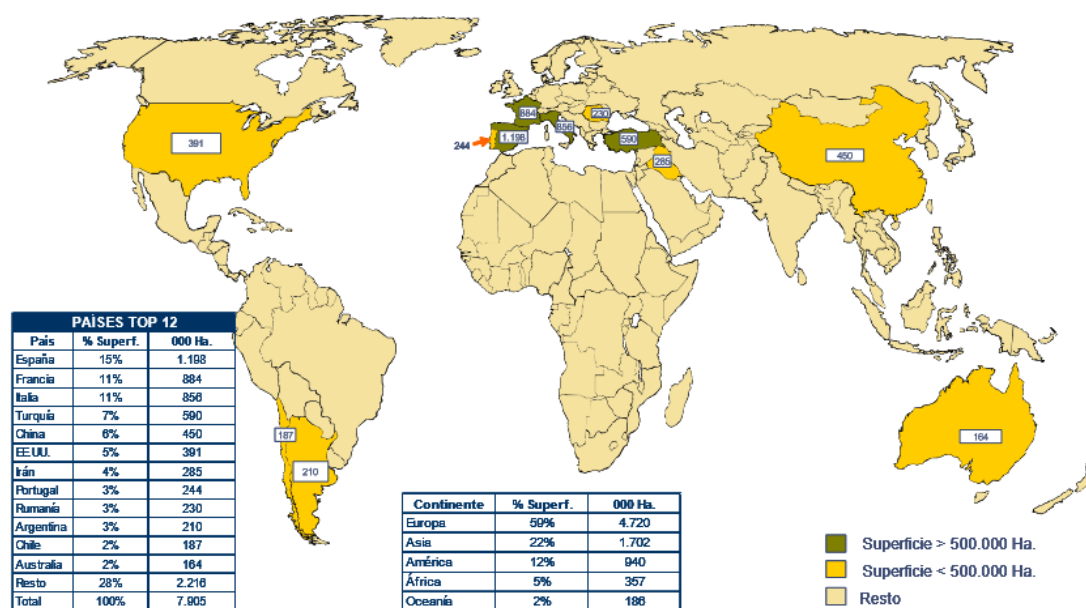
Gráfica 1. Distribución de la superficie de viñedo cultivada en el mundo en 2004.....	1
Gráfica 2. Evolución del pH y del índice de polifenoles totales con el tiempo	5
Gráfica 3. Cambios en el porcentaje de precipitaciones debidos al cambio climático en el viñedo español	10
Gráfica 4. Concentraciones medias de YAN de dos regiones del Sur de Australia.	13
Gráfica 5. Tiempo de fermentación con diferentes concentraciones de glucosa y YAN	15
Gráfica 6. Producción mundial de vino	17
Gráfica 7. Oxidación del vino en función del pH	18
Gráfica 8. Influencia del pH en el equilibrio de disociación del SO ₂ en el vino	20
Gráfica 9. Degradación de antocianos (expresados en equivalentes de malvidin-3-glucosido) en un vino tinto durante 120 días.....	23

Índice de tablas

Tabla 1. Emisiones de carbónico (en millones de toneladas) en el mundo por países.....	3
Tabla 2. Concentración de GEI preindustrial y actual	3
Tabla 3. Necesidades según los periodos de crecimiento.....	6
Tabla 4. Temperatura media de crecimiento de algunas variedades de vid	6
Tabla 5. Impacto de la temperatura en la composición de la baya	7
Tabla 6. Evolución de los antocianos y del color de un vino tinto de Muscadinia (Vitis rotundifolia) en función del pH a los 9 meses de conservación	19
Tabla 7. Efectos en la calidad del vino de un pH elevado	22
Tabla 8. Efecto de la temperatura de conservación en la calidad organoléptica y composición química del vino	23

1. INTRODUCCIÓN

La viticultura y la producción de vino se remontan al año 2.500 a.C. (Aleixandre et al., 2011). Su cultivo supone una superficie de 7.905 millones de hectáreas en todo el mundo, y el consumo de vino mundial asciende a los 238 millones de hectolitros, siendo España el país con más superficie vitícola, con 1.198 millones de hectáreas (15%).



Gráfica 1. Distribución de la superficie de viñedo cultivada en el mundo en 2004. (Lissarrague et al. 2008).

El clima y los factores climáticos (temperatura, pluviometría, luz y radiación solar, diferencias de temperatura entre el día y la noche, etc.) influyen mucho en el desarrollo y rendimiento del viñedo, así como en la composición del grano de uva, aspectos muy importantes para la obtención de vinos de calidad.

Debido al calentamiento global los patrones climáticos están cambiando, generando un gran problema ambiental en los ecosistemas. La agricultura es muy vulnerable a este fenómeno, debido a que las altas temperaturas terminan por reducir los rendimientos de los cultivos, y las variaciones en la pluviometría aumentan las probabilidades de disminución en la producción de las cosechas.

En viticultura estas consecuencias influyen en la fenología de la vid y en la composición del grano de uva, afectando a las concentraciones de azúcares, ácidos y polifenoles, y como resultado, también influyen en los procesos enológicos posteriores a la elaboración del vino.

Todo esto afecta a la calidad del vino produciéndose cambios en los aspectos químicos y microbiológicos, modificando sus características organolépticas, ya que el aroma y el color se ven afectados por la reducción de metabolitos acumulados, reducción de la acidez y aumento del pH.

En las regiones más frías el aumento de las temperaturas puede llegar a ser positivo para la obtención de un vino de calidad, pero esto no sucede en las regiones cálidas, donde la madurez se adelanta debido a las condiciones climáticas y posiblemente no se llegue a alcanzar la madurez polifenólica deseada. Además también se verán afectados los diferentes tipos de vinos característicos de una región debido al cambio producido en la composición del grano de uva.

Aunque el cambio climático puede dar origen a que las actuales regiones vitícolas se conviertan en zonas no aptas para este cultivo, con el aumento de las temperaturas podrían aparecer nuevas zonas vitivinícolas en latitudes más altas. Si bien, estos fenómenos son difíciles de predecir porque el calentamiento global no es uniforme en todo el mundo, teniendo consecuencias diferentes en las distintas regiones, difícilmente predecibles.

2. EL CAMBIO CLIMÁTICO

Se llama cambio climático a la variación del clima de la Tierra. En general, estos cambios se han dado debido a causas naturales a lo largo de la historia del planeta. Pero desde la revolución industrial, el hombre ha generado una gran cantidad de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente dióxido de carbono, metano y óxido nitroso.

El efecto invernadero es indispensable para la vida en la Tierra, ya que si no existiera la temperatura media de la Tierra sería de -18°C y no de 15°C . Los gases atmosféricos absorben la radiación térmica emitida por el planeta y esta es irradiada en todas direcciones, reduciendo así la energía que es reflejada al espacio.

En 1988, tras los indicios de que el cambio climático suponía un peligro real, se creó el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), constituido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMN), con la finalidad de proporcionar información sobre el cambio climático.

Las emisiones están provocando que la temperatura del planeta aumente, al incrementar su concentración en la atmósfera. El porcentaje de radiación reflejada al espacio es menor, provocando que permanezca en el planeta y como consecuencia la temperatura terrestre sea mayor.

Esta variación térmica se está produciendo a una velocidad demasiado elevada para que los ecosistemas puedan adaptarse correctamente. Su impacto potencial es muy grande, previniéndose una falta de agua potable, grandes consecuencias en la producción de alimentos, y un aumento de factores climáticos extremos como inundaciones, sequías y olas de calor (Nelson et al., 2009). Por todo esto, el cambio climático no es solo un problema medio ambiental, sino que también tendrá consecuencias económicas y sociales (MAGRAMA.GOB.ES).

Entre 1750 y 2010, las emisiones totales han alcanzado el equivalente a 2.585.000 millones de toneladas de CO₂, siendo EEUU y China los países con más emisiones totales desde la revolución industrial (Tabla 1).

Tabla 1. Emisiones de carbónico (en millones de toneladas) en el mundo por países.

Países	Emisiones históricas 1850-2010	% sobre el total
EEUU	482.000	18,6
UE (UE-27)	443.000	17,1
China	299.000	11,6
Rusia	186.000	7,2
Indonesia	123.000	4,8
India	106.000	4,1
Brasil	101.000	3,9
Japón	73.000	2,8
Mundo	2.585.000	100

(Fuente: La cumbre del clima de Paris, Teresa Ribera y Antxon Olabe, 2015)

En la actualidad, estos dos países siguen siendo los que más emisiones generan. En 2012 China emitió a la atmósfera una cantidad de gases efecto invernadero equivalentes a 12.454 millones de toneladas de CO₂ y EEUU 6.343 millones de toneladas, superando individualmente a todo el conjunto de países de la Unión Europea, que generó en total 4.681 millones de toneladas. Como consecuencia, la temperatura de la atmósfera se ha incrementado 0,85°C desde 1880, siendo en las últimas décadas cuanto mayor ha sido el aumento.

En la Tabla 2 puede observarse la variación que ha sufrido la composición atmosférica respecto a los principales gases de efecto invernadero.

Tabla 2. Concentración de GEI preindustrial y actual

Incremento de GEI			
Descripción	CO ₂ (ppm)	CH ₄ (ppb)	N ₂ O (ppb)
Concentración preindustrial	280	700	270
Concentración actual (2011)	391	1813	342

(Fuente: Organización Meteorológica Mundial, comunicado N° 965)

Con el reciente acuerdo de la cumbre del clima en Paris, 196 países se comprometieron a mantener la temperatura media del planeta por debajo de 2°C a finales de siglo, y de hacer un esfuerzo por evitar que sobrepase los 1,5°C. Pero este

compromiso debe de ser más ambicioso, ya que según un informe de la Secretaría de la Convención Marco de la ONU, los actuales planes de reducción de gases de efecto invernadero de estos países, llevarían a un aumento de 2,7°C.

3. EL CAMBIO CLIMATICO EN LA VITICULTURA

En muchas zonas vitícolas la información sobre el desarrollo y fechas fenológicas de la vid se remonta a cientos de años, con lo que es posibles estudiar los fenómenos que afectan a las prácticas de cultivo de la vid ante el cambio climático. Si bien hay que matizar que la mayoría de esta información se dispone mayoritariamente de los últimos 30 años.

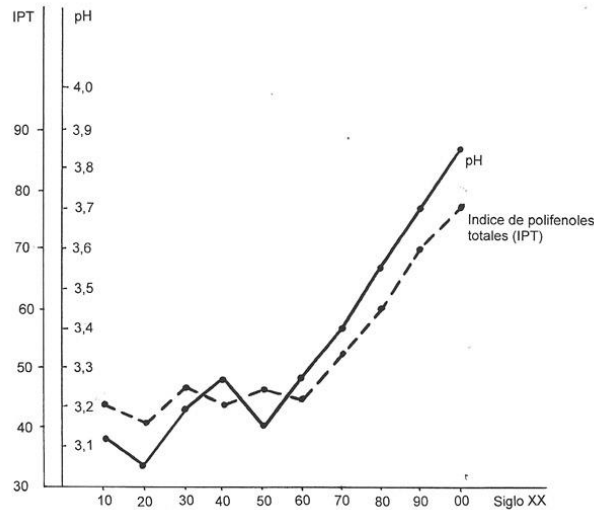
En la zona vitícola de Rheingau, Alemania, la vendimia se lleva a cabo entre 2-3 semanas antes que a finales del siglo XVIII. En las regiones de Châteauneuf du Pape y Tavel, al Sur de Francia, las fechas de la vendimia son 18 y 21 días antes, respectivamente que entre el año 1945 y 2000. La fecha media del inicio de la maduración en la región de Baden, Alemania, para la variedad Pinot Noir, se ha adelantado 3 semanas desde el año 1976 (Orduña, 2010). En California el comienzo de la vendimia fue de 18 a 24 días antes que entre 1951 y 1997 (Nemani et al., 2001; Loira, 2014).

En la Rioja, se ha observado un aumento de 0,4 en el pH de los vinos en los últimos años, teniendo actualmente un pH de 3,6-3,8 y hace 30 años este era de 3,2-3,44. La acidez total de la uva del Sur de Francia descendió de 6 a 4 g/L H₂SO₄, el pH pasó de 3 a 3,3 y el grado alcohólico probable aumento un 2% medido el día 1 de septiembre, entre 1980 y 2001 (Hidalgo, 2005).

Un estudio realizado en 2005 por Jones, pudo de manifiesto la relación existente entre el calentamiento global y el del viñedo en Europa, con el análisis de los datos históricos de los últimos 30-50 años. Se observó una tendencia de la fenología de la vid a adelantarse entre 6 y 25 días, variando con el lugar de localización del viñedo y de la variedad de la cepa. Las variaciones fenológicas más destacables se dan en la floración, en el envero y en la maduración de la uva, no existiendo grandes diferencias en las fechas de la brotación.

Con la modificación de la temperatura, las regiones con unas características idóneas para el desarrollo y cultivo de la vid pueden verse desplazadas hacia latitudes más altas (Hannah, 2013). Por lo que, en determinadas zonas de Inglaterra y Alemania sería posible la adaptación de variedades tintas como la Merlot y Cabernet Sauvignon (Jones et al., 2005). En contrapartida, otras zonas que en la actualidad son regiones vitivinícolas, podrían verse afectadas y no ser aptas para el cultivo de la vid en un futuro si no se controlan los fenómenos asociados al cambio climático. Las zonas más perjudicadas serían Australia, la cuenca mediterránea, California y Sudáfrica.

En la Gráfica 2 puede observarse el aumento del pH de los vinos de La Rioja en los últimos cien años. Junto con un mayor índice de polifenoles, la subida del pH, además de ser producido por el incremento de temperaturas, también puede deberse a una cantidad más alta de potasio por el aumento de la fertilización de los suelos.



Gráfica 2. Evolución del pH y del índice de polifenoles totales con el tiempo (Hidalgo, 2005)

4. NECESIDADES CLIMÁTICAS DE LA VID

La vid es una especie euriterma, lo que significa que tolera un amplio rango de temperaturas. A pesar de esto y de existir una gran cantidad de variedades, las exigencias climáticas para la obtención de una uva de calidad son muy concretas, y estas han sido muy estudiadas. La temperatura, la pluviometría y la iluminación son los factores claves que determinan la composición de la baya.

4.1 Temperatura

En el caso de las temperaturas, la vid es una planta sensible a heladas y exigente en calor para su desarrollo y para la maduración de la uva. La temperatura durante el periodo activo de vegetación y su amplitud son aspectos críticos debido a su gran influencia en la capacidad de madurar las uvas y obtener niveles óptimos de azúcares, ácidos y aromas, con el fin de maximizar un determinado estilo del vino y su calidad (Jones et al., 2005; Armas, 2014).

En la Tabla 3 vienen las necesidades según los periodos de crecimiento correspondientes a las distintas etapas del ciclo biológico de la vid.

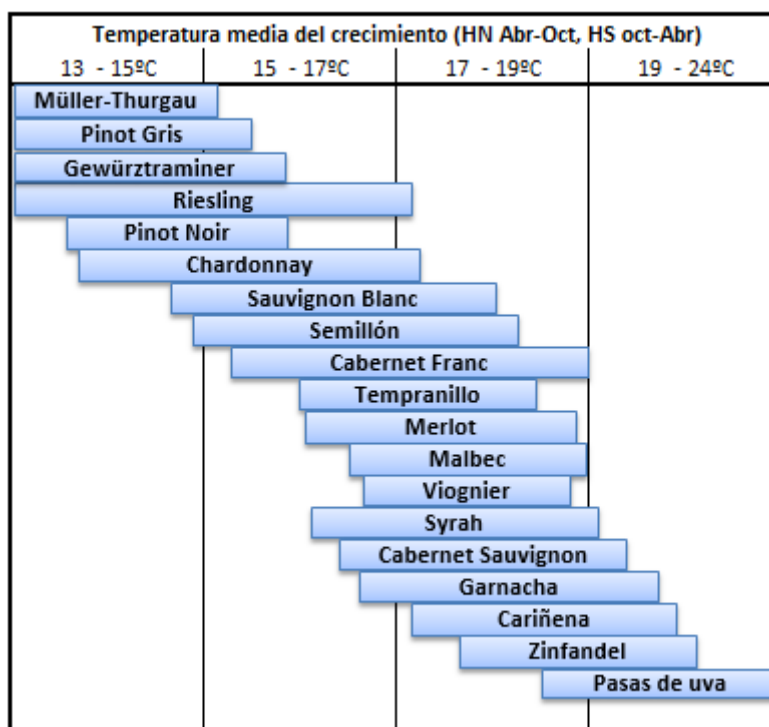
Tabla 3. Necesidades según los periodos de crecimiento (Resco et al., 2012)

Etapa	Fecha de inicio	Necesidades
Etapa I (brotación)	Mediados de marzo o la primera semana de abril con T media > 10 °C	Abundante humedad del suelo y con sol, temperaturas superiores a los 10 °C para el crecimiento vegetativo. Las heladas pueden reducir rendimientos y calidad
Etapa II (desde floración hasta envero)	Final primavera, con T media >15° C	Condiciones secas y temperaturas estables para no obstaculizar el crecimiento de las flores
Etapa III (envero y su maduración hasta cosecha)	A finales de julio o la primera semana de agosto	Condiciones secas para limitar la podredumbre de la uva con temperaturas moderadas, pero sin estrés excesivo Salto térmico importante entre el día y la noche Maduración en época fresca pero con calor suficiente para continuar la acumulación de azúcares y desarrollo del aroma de las bayas
Etapa V (latencia)	A generalmente entre finales de septiembre y mediados de octubre	Invierno frío y lluvioso

Las necesidades de temperatura para su cultivo son de 2.900 a 3.100°C de acumulación de calor, por eso la viticultura se practica principalmente en lugares comprendidos entre los paralelos 30° y 50° de latitud Norte y 30° y 40° de latitud Sur. Pero no todas las variedades necesitan la misma cantidad de calor para la maduración, existiendo variedades como la Pinot Gris que no necesita una alta temperatura para alcanzar la madurez, y otras como la Garnacha que es bastante más exigente.

En la Tabla 4 vienen las temperaturas medias de crecimiento de diferentes variedades tanto españolas como foráneas.

Tabla 4. Temperatura media de crecimiento de algunas variedades de vid (Jones, 2006)



Las diferencias de temperatura entre el día y la noche son muy importantes y tienen una gran influencia en la composición de la baya, sobre todo en la concentración de azúcares, en el contenido de ácidos y en la formación de compuestos aromáticos que se reflejarán en el perfil aromático del vino.

En la Tabla 5 viene el impacto que la temperatura tiene sobre la composición de los granos de uva, según un estudio realizado por Sotés (2004).

Tabla 5. Impacto de la temperatura en la composición de la baya (Sotés, 2004)

Impacto en la composición de la baya	
Días cálidos y noches cálidas	Buena producción de azúcares, escasa acidez, poco color y baja concentración de taninos. Condiciones buenas para uva de mesa y pasificación. No aconsejable para producción de uva de calidad.
Días cálidos y noches frías	Buena producción de azúcares. Conservación de ácidos, color y aromas. El mejor para producir vinos de calidad.
Días fríos y noches cálidas	Bajo contenido en azúcares, pocos aromas y poca producción de color. Elevada acidez. Esto puede suceder en condiciones de estrés hídrico. La baya no alcanza la madurez total.
Días fríos y noches frías	Adecuado para actividad general reducida. Poco aconsejable durante maduración.

4.2 Pluviometría

La vid es una planta que resiste bien la sequía, con unas necesidades de agua anuales del orden de 500-600 mm. El reparto de las lluvias a lo largo del ciclo vegetativo es más importante que la cantidad total anual. Sus máximas necesidades de agua recaen en los estados fenológicos de floración y envero, el cual corresponde al máximo desarrollo de la baya.

En regiones con pluviometrías y humedades altas, las enfermedades fúngicas como la *Botritis* y el *Mildiu* suponen un problema en el cultivo y en la posterior vinificación, ya que la planta y los frutos son muy sensibles a estos ataques. En terrenos anegados se puede producir asfixia radicular.

Las lluvias y los aportes de agua juegan un papel crucial en la calidad de uva. En el periodo herbáceo la planta tiene que tener una disponibilidad de agua suficiente para poder completar correctamente este desarrollo. A partir del envero también debe disponer de agua para poder transportar y acumular compuestos en la baya. Por último en la maduración es conveniente que la planta sufra un pequeño estrés hídrico, siempre y cuando no afecte a la actividad fisiológica de la vid, promoviendo así el aumento de concentración de compuestos aromáticos y polifenólicos.

Si en esta última fase hay un exceso de humedad, la maduración se retrasa, teniendo una disminución de azúcares, aumento de ácidos y una menor cantidad de polifenoles. También aumenta el riesgo de enfermedades fúngicas.

4.3 Insolación

Las necesidades de horas sol de la vid son muy altas, siendo una planta de días largos. Precisa de entre 1.500 y 1.600 horas sol para su correcto desarrollo, y de estas, 1.200 corresponden al periodo vegetativo. Cuanto mayor sea la insolación en este periodo, mayor será el aumento en la cantidad de azúcares en las bayas, y en consecuencia habrá una mayor disminución del contenido en ácidos.

La insolación directa sobre las yemas contribuye a la inducción y diferenciación floral, y por lo tanto a un mayor aumento del rendimiento de la planta.

Estas necesidades no solo dependen de la latitud donde se encuentre, sino también de la orientación del viñedo, la pendiente (Salazar et al., 2005) y de las diferentes técnicas de cultivo que se utilicen, por lo que es un factor que se puede modificar y controlar.

5. EFECTOS ASOCIADOS A LA VITICULTURA

El cultivo de la vid y las características de la uva que se obtiene tiene una estrecha relación con el clima. La fenología y la maduración se ven afectadas por el cambio climático. Durante la maduración la concentración de azúcares, aminoácidos,

componentes fenólicos y el potasio aumenta, mientras que el contenido en ácidos orgánicos, especialmente el ácido málico disminuye (Adams, 2006; Orduña, 2010).

5.1 Efectos de la temperatura

Como consecuencia de temperaturas superiores a los 30°C, la concentración de sólidos puede aumentar hasta niveles de 24-25° Brix. Probablemente no se deba a la fotosíntesis ni al transporte de azúcares, sino a la concentración por evaporación del agua de la baya (Keller, 2010).

Estas temperaturas también producen la disminución de la síntesis de antocianos (Tarara et al., 2008), y en climas cálidos, con frecuencia se pueden alcanzar las temperaturas que inhiben su formación, y por lo tanto se produce una reducción del color de la uva (Downey et al., 2006). La síntesis de antocianos durante el día es mayor a una temperatura de 20°C que a una de 30°C, y durante la noche, es mayor su producción a 15-20°C que a 20-25°C. En la formación de antocianos las diferencias térmicas son de gran importancia dentro de los rangos térmicos de síntesis, como demostró Cohen et al., (2008) en un estudio realizado con la variedad Merlot, donde se atenuaban las fluctuaciones de la temperatura diurna.

La producción de proantocianidinas y el aumento del número de semillas, que intervienen en la astringencia del vino, tienen una asociación directa con la temperatura, aumentando en los climas más cálidos (Del Rio and Kennedy, 2006; Orduña, 2010). Además de la temperatura se debe también tener cuenta la radiación o exposición al sol que recibe el racimo, que puede ser modificada mediante técnicas vitícolas.

La formación de los compuestos aromáticos del vino también es dependiente de la temperatura. La acumulación de aromas en vinos blancos es más favorable en climas fríos (Duchêne and Schneider, 2005). Las temperaturas más bajas dan lugar a compuestos como isoprenoides y pirazinas, los cuales dan aromas frutales, florales, vegetales y picantes. En cambio cuando tenemos un clima más cálido la formación de compuestos c13-norisoprenoides es mayor, que dan notas más fuertes como florales, fruta exótica, té, tabaco, etc.

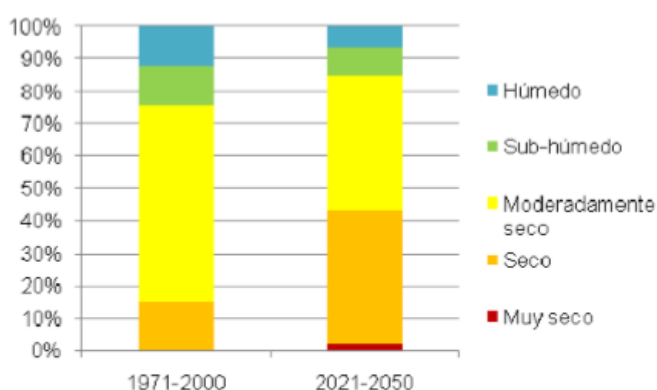
Como efecto indirecto de la temperatura sobre la vid, se debería tener en cuenta la tendencia hacia inviernos más suaves, que favorezcan el desplazamiento y desarrollo de enfermedades y plagas, como la *Xylella fastidiosa* (Resco, 2015), pero por otro lado, la tendencia hacia veranos más calurosos y secos podría disminuir las enfermedades fúngicas y plagas como la de la araña amarilla, *Tetranychus Urticae Koch*, en la que su población se ve reducida con las altas temperaturas.

Otro punto a destacar es que el segundo factor que mayores incidencias produce en el sistema de seguros agrícolas español son las heladas, por detrás del pedrisco. Con el cambio climático estos daños ya han empezado a disminuir en los últimos años según los datos de Agroseguros, teniendo como consecuencia, la reducción de las tarifas en este tipo de seguros. Con la disminución de este riesgo el rendimiento puede verse mejorado.

5.2 Efectos de las precipitaciones

Las precipitaciones no se han modificado de forma homogénea a causa del cambio climático. En el último siglo, los datos registrados revelan que estas han aumentado en el norte de Europa y América, y en cambio, han disminuido en las regiones mediterráneas y en la zona africana del Sahel (Mastrandrea, 2014). No solo se ha reducido la cantidad de precipitaciones acumulada, sino que también se han producido con más frecuencias factores extremos como lluvias torrenciales o inundaciones, dando lugar a otros problemas como la erosión del suelo.

En la Gráfica 3 se muestra la evolución del porcentaje de precipitaciones en las zonas de viñedo español debido al calentamiento global según el índice de sequía, con la media de diferentes escenarios climáticos posibles.



Gráfica 3. Cambios en el porcentaje de precipitaciones debidos al cambio climático en el viñedo español (Resco, 2015).

Con una menor disponibilidad de agua para las plantas los rendimientos pueden verse afectados. Sin embargo, en las regiones con veranos húmedos se podría producir un incremento de la calidad, ya que para obtener uvas tintas de alto potencial es necesario un moderado déficit hídrico (Van Leeuwen et al., 2004). Esto ha sido demostrado sometiendo la planta a un estrés hídrico, y como resultado se obtuvieron aumentos significativos en el Índice de Polifenoles Totales del mosto (Cohen and Kennedy, 2010). Por el contrario, en las regiones más cálidas y secas la producción vitícola puede verse seriamente afectada sino se realiza un aporte de agua a la planta, el cual estará condicionado a la disponibilidad de agua en la zona. Si el agua de riego tiene una cierta salinidad, la calidad del vino puede verse afectada por contribuir a la aparición de atributos en el vino como salobre o jabonoso, aspectos negativos relacionados con altas concentraciones de Na, K y Cl (Walker et al., 2003). Esto ya se ha podido estudiar en regiones semiáridas de Australia y Argentina, donde la concentración de Na media es de 3,78 mM, un valor notablemente alto si se compara con la media de los vinos europeos, 0,69 mM (Leske et al., 1997).

El aumento de los incendios también está producido por el descenso de las precipitaciones y el aumento de las temperaturas. En zonas mediterráneas, California y especialmente Australia, donde se han producido una gran cantidad de incendios, se han descrito vinos con olores indeseables a quemado y a ceniza (Howell, 2008 y 2009;

Orduña, 2010). Un estudio de Kennison et al. (2007) reveló una alta concentración de guayacol, 4-metilguayacol, 4-etilguayacol, eugenol y furfural en vinos en los que la uva había sido expuesta a humo. Estos compuestos tienen un efecto acumulativo en los granos de uva, y son absorbidos rápidamente por las bayas en desarrollo (Sheppard et al., 2009).

5.3 Efectos del CO₂

Las concentraciones atmosféricas de CO₂ han aumentado notablemente en el último siglo, siendo este gas el principal causante del efecto invernadero. El carbónico es un compuesto que interviene en el proceso metabólico de las plantas, por ello un cambio en la concentración atmosférica influye en el desarrollo y crecimiento de la vid, así como en el rendimiento y composición del grano de uva.

En el año 2009 se presentó un estudio de Goncalves et al. (2009), realizado para comprobar los efectos del aumento de la concentración de carbónico en el aroma final del vino, con la variedad Touriga Franca en invernaderos abiertos con y sin fumigación de CO₂. Los resultados obtenidos sobre la diferencia de compuestos aromáticos en la uva madura eran pequeños o ausentes. En cambio, en el vino elaborado con estas uvas sí que se obtuvieron diferencias aromáticas en las concentraciones de acetato de etilo y diacetilo, los cuales son productos formados en la fermentación. Se concluyó que las concentraciones de CO₂ tienen poca o ninguna repercusión en los compuestos aromáticos de la uva, pero sí que influyen en la formación de aromas secundarios en la fermentación.

Otro estudio más reciente (Kilmiser et al., 2016), determinó los efectos del CO₂ sobre el rendimiento de la vid y la composición de los granos de uva. El efecto primario del CO₂ en la planta es el aumento de la tasa fotosintética de las hojas. Esto conlleva al aumento de los niveles de carbohidratos que son consumidos en el metabolismo general, para el desarrollo y crecimiento de los órganos de la vid. Los resultados preliminares del estudio pusieron de manifiesto un aumento en el rendimiento de la variedad Shiraz de un 25%, para una media de concentración de CO₂ de 650 ppm (concentración estimada para el año 2060). Este incremento en el rendimiento fue debido al aumento del número de granos en el racimo y también al aumento de su tamaño. Los cambios producidos en los granos de uva son negativos para la calidad, ya que un factor muy importante de las bayas es la relación pulpa/hollejo. Por otro lado, el pH se redujo dos décimas (un 5% sobre la uva sin tratamiento con carbónico) por el aumento de la acidez en las uvas, lo que podría considerarse como un factor positivo teniendo en cuenta las actuales tendencias de aumento del pH de los vinos.

Aunque ya hay varios estudios sobre las consecuencias de las concentraciones de carbónico en *Vitis Vinifera*, son necesarios más estudios para poder aclarar los efectos en combinación con otros fenómenos producidos por el calentamiento

6. EFECTOS ASOCIADOS A LA ENOLOGÍA

6.1 Efectos en las vendimias

Los principales problemas que se agravan con el cambio climático durante las vendimias son la aceleración de las reacciones químicas y biológicas, tales como la oxidación de la uva y el mosto, los deterioros por microorganismos, las maceraciones incontroladas y las fermentaciones alcohólicas indeseables.

Todos estos fenómenos están relacionados directamente con la temperatura. Si al aumento de días más cálidos se le suma una maduración más rápida, en la que el periodo de vendimia se aleja de los días de otoño, donde las temperaturas empiezan a bajar, se producirá un aumento de temperatura significativo en la vendimia.

El estado físico de la uva es también un factor importante. Cuanto más dañada este la uva, con más facilidad se producirán estas reacciones. Las altas temperaturas en la vendimia, la deshidratación de la uva provocada por las sequías y el estrés por calor, hacen que la uva esté más estropeada de lo habitual, produciéndose así un rápido crecimiento de los microorganismos y un aumento de los procesos oxidativos.

A esto también hay que sumarle que, a causa del aumento de pH por el cambio climático, las reacciones biológicas también se desarrollan con mayor rapidez, llegando la uva a la bodega con una mayor contaminación.

Todos estos problemas generan una disminución en la calidad de la uva por las oxidaciones y contaminaciones microbiológicas, que también pueden dar lugar a paradas de la fermentación. El desarrollo de bacterias acéticas da lugar a la metabolización del ácido acético, el cual en concentraciones de más de 1 g/L es más tóxico para las levaduras que una elevada graduación alcohólica. También se sabe que las bacterias lácticas producen sabores no deseados cuando la uva ha sido transportada durante un largo tiempo, en condiciones cálidas y sin un suficiente sulfuroso.

El sulfuroso se combina con el azúcar, disminuyendo su efecto. Cuando se producen grandes concentraciones de azúcar por años cálidos los niveles de sulfuroso que se usan normalmente no son suficientes para controlar las levaduras indígenas y las bacterias. Aunque la sacarosa y la fructosa apenas se combinan, un gramo de sacarosa se combinan entre 0.3 y 0.8 mg de anhídrido sulfuroso libre, la arabinosa, que es una pentosa, se combina cada gramo con 8-12 mg de anhídrido sulfuroso libre.

Por otra parte, el desarrollo de levaduras indígenas hace que se consuma, el nitrógeno asimilable, pudiendo desencadenar una parada fermentativa por la falta de nitrógeno, que afectaría a la reproducción de las levaduras.

En la Gráfica 4 se observa la comparación de nitrógeno asimilable por la levadura (YAN) en dos regiones de Australia en dos años diferentes. En 2007 donde hubo unas temperaturas de vendimia normales y en 2008, año en el que se sufrió una gran ola de calor, con días en los que la uva llegó a 40°C a la bodega.



Gráfica 4. Concentraciones medias de YAN de dos regiones del Sur de Australia. (Coulter et al., 2008).

El déficit de nitrógeno no solo influye en el normal desarrollo de las levaduras y en una óptima velocidad y desarrollo de la fermentación, sino que también está relacionado directamente con la formación de compuestos aromáticos. Por ello, la cantidad y calidad del nitrógeno en el mosto es muy importante para el normal desarrollo de las levaduras, como en la formación de compuestos volátiles, que conferirán al vino determinados aromas procedentes de la fermentación.

En un mosto con una baja concentración de nitrógeno asimilable, la formación de sulfuro de hidrogeno (H_2S) debida al metabolismo de las levaduras aumenta (Smart, 2005), comenzando su síntesis cuando el nitrógeno del mosto ha sido consumido. Otros factores que influyen en la formación de H_2S aparte del nitrógeno son la cepa de levadura, el contenido de azufre en el mosto y el déficit en vitaminas. Este compuesto confiere al vino un defecto organoléptico, ya que da un olor a huevo podrido (cuyo umbral de percepción es de 1 ppb), y también oculta el aroma propio del vino. A parte es capaz de reaccionar con compuestos presentes en el vino, formando nuevos compuestos aromáticos no deseables, como el etanal o acetaldehído, dando lugar a etilmercaptano (olor a cebolla o gas natural).

La baja concentración de nitrógeno en el medio puede corregirse mediante adición de compuestos nitrogenados. Con la adición al mosto de amonio la producción de H_2S disminuye, pero en el caso de añadir aminoácidos azufrados como la cisteína, los niveles de síntesis de H_2S por parte de las levaduras pueden aumentar.

Un exceso en la adicción de productos nitrogenados, aunque disminuya la producción de H_2S , puede conllevar a la inestabilidad del vino y a la producción de otros compuestos indeseables (Beltrán y Guillamón, 2009). La utilización excesiva de ácido nicotínico, presente en algunos suplementos nutritivos, se asocia con la producción de ácido acético (Pretorius, 2009).

También una alta concentración de nitrógeno hace que se produzca una mayor concentración de urea procedente del metabolismo de las levaduras. La urea reacciona con el etanol presente en el vino y se forma carbamato de etilo, un compuesto cancerígeno cuyo límite legal es de 30 $\mu g/L$. Esta reacción es directamente dependiente de la temperatura, por lo que con el aumento de la temperatura a causa del cambio

climático la reacción se produce a una velocidad mayor, incrementado la formación de carbamato de etilo.

Para solucionar los problemas de déficit de nitrógeno es necesario la corrección mediante productos nitrogenados, pero teniendo un control sobre la cantidad necesaria para que se desarrolle correctamente la fermentación alcohólica sin que haya una carencia que podría dar lugar a H₂S, o un exceso que genere la producción de aromas no deseables y de urea.

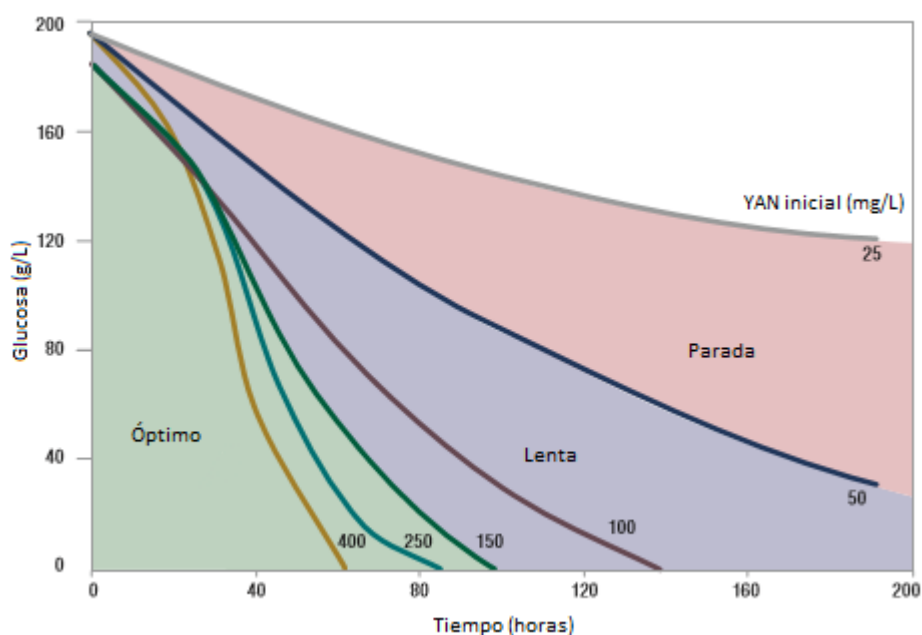
6.2 Efectos de las altas concentraciones de azúcar y alcohol

En el año 2008, como se ha comentado en la gráfica anterior (Gráfica 4), en Australia hubo una ola de calor, lo que provocó unas altas concentraciones de azúcares en esa añada. Esto produjo, junto a las condiciones extremadamente cálidas de la vendimia, un gran número de paradas fermentativas. En Australian Wine Research Institute (AWRI) se duplicaron las consultas de los enólogos sobre este tema, respecto a años anteriores.

Las elevadas cantidades de azúcares producen una elevada presión osmótica sobre las levaduras, dificultando su proceso metabólico, y además generan mayores cantidades de etanol dificultando el final de fermentación al ser un compuesto tóxico en concentraciones altas.

Un estudio realizado sobre “icewines” (Pigeau, 2006) con la variedad Riesling, concluyó que con altas concentraciones de solutos en el mosto aumentaban las cantidades de subproductos del glicerol y de ácido acético generados por la levadura a causa del estrés osmótico, superando cantidades de 1,5 g/L en este último.

Teniendo en cuenta la disminución del nitrógeno asimilable y las altas concentraciones de azúcares, en la Gráfica 5 se observa, según un estudio realizado en el AWRI (Coulter et al., 2008), una relación entre el contenido en azúcar y el nitrógeno asimilable por las levaduras (YAN), con la velocidad de fermentación.



Gráfica 5. Tiempo de fermentación con diferentes concentraciones de glucosa y YAN (Coulter et al., 2008).

La concentración de glucosa y fructosa en el mosto en condiciones normales suele encontrarse en un rango de 200-300 g/L, mientras que la concentración de nitrógeno asimilable suele estar alrededor de 200-300 mg/L, unas mil veces menos. Las necesidades de nitrógeno en la fermentación son de 0,8-1 mg cada gramo de azúcar, por lo que con una disminución del nitrógeno y un aumento de la concentración de azúcar por las altas temperaturas, el nitrógeno se convierte en un factor limitante en el correcto desarrollo de la fermentación.

Se dedujo, junto a otros estudios, que para evitar fermentaciones lentas o paradas, el YAN no debía de estar por debajo de concentraciones de 140 mg YAN N/ L con niveles de azúcar moderados. Sin embargo, dado que la demanda de YAN a altas temperaturas de fermentación aumenta junto con los niveles altos de azúcar, son necesarios más estudios para poder determinar el umbral en la fermentación de vinos tintos.

También influye en la fermentación la relación entre la glucosa y la fructosa. La *Saccharomyces cerevisiae* metaboliza mejor la glucosa (Berthels et al., 2004), pero con el incremento de las temperaturas de los últimos años, la proporción de fructosa en la baya ha aumentado, debido a que la glucosa es más sensible a la respiración celular, y este proceso metabólico aumenta con temperaturas más altas (Pallioti et al., 2005). Al tener la levadura mayor dificultad en la metabolización de la fructosa, la cantidad de azúcares residuales en el vino podrían verse aumentada.

La cantidad de etanol producido también afecta al metabolismo, ya que inhibe el sistema de transporte metabólico, los flujos de protones, y afecta a la composición de la membrana plasmática, provocando una disminución en la velocidad de fermentación y en la actividad de transporte del azúcar (Santos et al., 2008). La temperatura influye en

la toxicidad del etanol, con temperaturas más bajas las levaduras presentan mayor tolerancia al alcohol.

Otro factor importante es el contenido en pesticidas, especialmente los fungicidas azufrados o clorados, dado que las levaduras son hongos unicelulares y por lo tanto tienen un efecto tóxico sobre las mismas. Si no se realiza un adecuado uso de los tratamientos, sus residuos pueden dificultar la fermentación y provocar también paradas.

Todos estos factores que afectan a la fermentación alcohólica, excepto la mayor cantidad de fructosa, también afectan a la fermentación maloláctica, ya que el efecto antiséptico del etanol condiciona la capacidad de las bacterias lácticas de crecer y sobrevivir cuando el contenido de alcohol es superior al 10% (v/v). La levadura *Schizosaccharomyces pombe* que es la encargada de la fermentación maloláctica consume más rápidamente fructosa, por lo que se podría ver mejorada la fermentación debido a una mayor cantidad de fructosa en el vino.

Por otro lado, la fermentación alcohólica es una reacción bioquímica exotérmica, por lo que genera calor y es necesario disiparlo con equipos de fríos. La cantidad aproximada que se genera por un mol de azúcar es de 24 kcal, por lo que con el aumento de la concentración de azúcares el gasto eléctrico en refrigeración sería mayor.

Goelzer en 2009 utilizó un programa de simulación de fermentación alcohólica (SOFA), para comparar los requerimientos energéticos de varias fermentaciones con diferentes concentraciones en azúcar y temperatura exterior. Los datos generados indicaron que la energía necesaria para disipar el calor aumenta linealmente un 5% por cada grado centígrado que subía la temperatura exterior o cada 10 g/L más de azúcar.

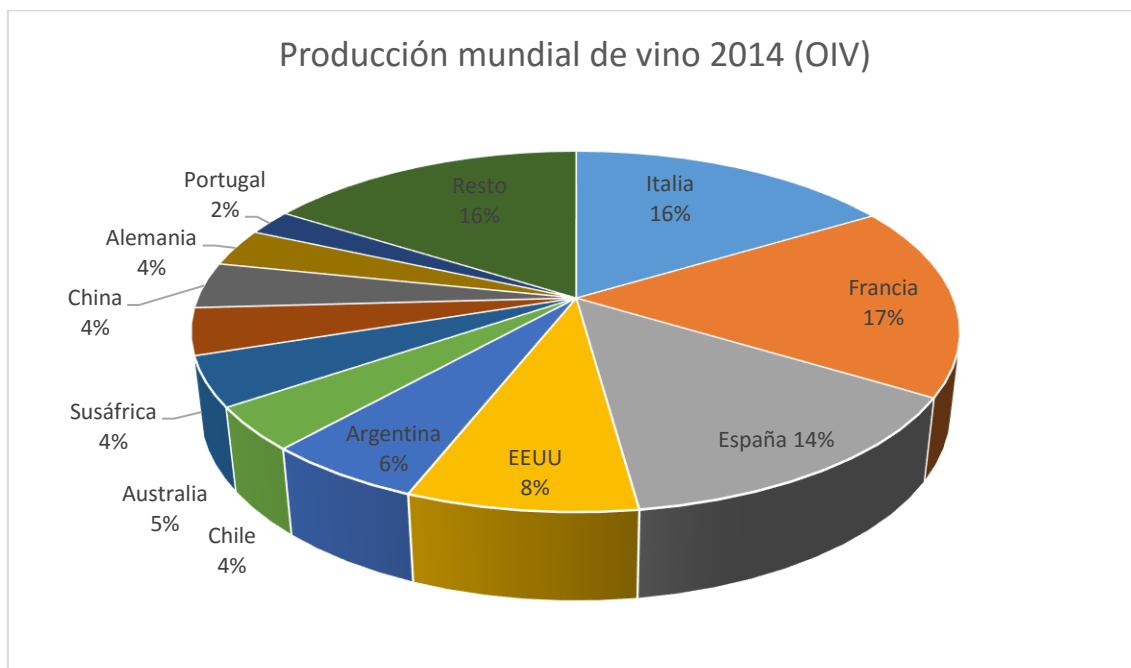
El modelo se basó para depósitos de un volumen de 10.000 L y una temperatura exterior constante. Para una concentración del mosto de 200 g/L, una temperatura exterior de 20°C y una temperatura de fermentación de 15°C, los requerimientos totales de energía eran de 392 kWh. Al aumentar la concentración a 240 g/L la energía necesaria ascendía a 478 kWh, un 21,85% más. Y para esta última concentración y una temperatura exterior de 24°C fueron necesarios 573 kWh, lo que supone un aumento del 46%.

El aumento de las temperaturas y de la concentración de azúcares en los mostos supone un mayor consumo eléctrico de las bodegas y la necesidad de equipos de refrigeración más potentes.

Como último punto a destacar acerca del aumento del contenido alcohólico es el gravamen fiscal sobre las bebidas alcohólicas. Aunque en España el vino no tiene impuestos especiales sobre el alcohol, en otros países sí que gravan el vino en función de su graduación alcohólica, lo que supondría una dificultad económica a la hora de realizar exportaciones a estos países por el aumento del volumen alcohólico. Por ejemplo, en Estados Unidos la tasa sobre una botella de 750 mL de vino de menos de 14% de alcohol es de 0.21\$, en cambio si el vino supera esa graduación la tasa es de 0.31\$ (TTB, 2016). En El Reino Unido la diferencia del impuesto sobre el alcohol entre un vino de menos de 15% de grado alcohólico y otro de más es de 0.87€ por botella (Gov. UK, 2016).

En la Gráfica 6 se puede ver la producción mundial de vino en 2014. Los tres mayores productores Francia, Italia y España (47%), poseen regiones vitícolas situadas geográficamente en el Mediterráneo y los otros países que tienen regiones en las zonas

más afectadas por el calentamiento global suman el 17% (Australia, Sudáfrica y EEUU). Por lo que los países donde las predicciones actuales del calentamiento global suponen mayores riesgos superan más de la mitad de la producción mundial.



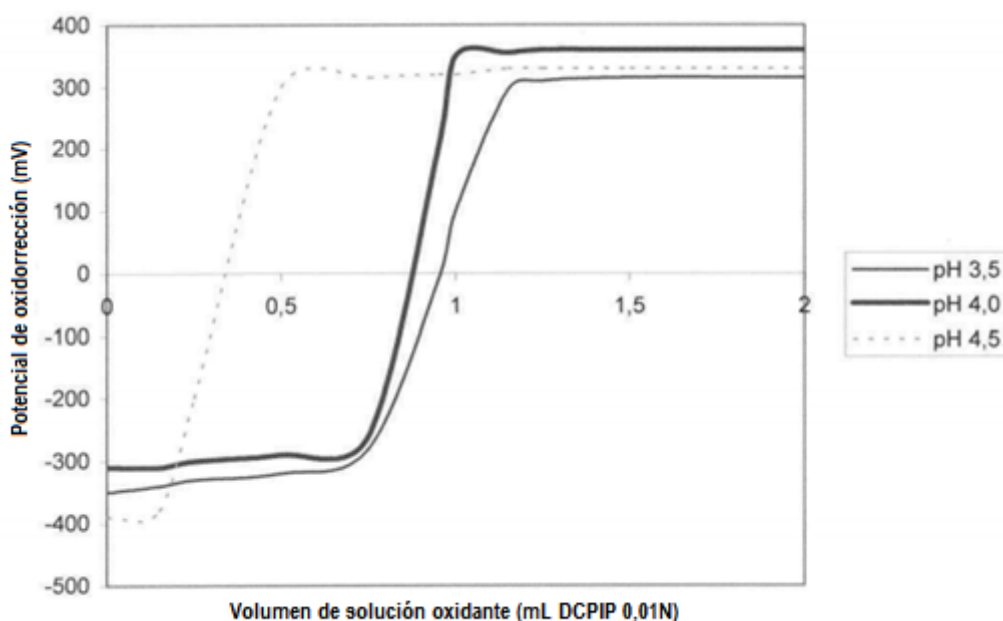
Gráfica 6. Producción mundial de vino (OIV, 2015)

En un mercado tan competitivo como el actual, es fundamental ofrecer un producto con una buena relación calidad/precio. Con tasas más caras en los vinos con altas graduaciones alcohólicas de algunos países, las regiones productoras donde el grado alcohólico aumente por encima de esos valores podrán dejar de ser competitivas por la necesidad de aumentar los precios para mantener el beneficio. Los países que más se pueden ver afectados son, como se ha mencionado anteriormente, Australia, los países con regiones vitivinícolas en la cuenca mediterránea, California y Sudáfrica. Pero esto puede beneficiar a otros países con regiones vitivinícolas más frías, que puedan aprovechar la oportunidad de proveerse de un producto más barato.

6.3 Efectos de la baja acidez, aumento de pH y potasio

El pH en los vinos es una propiedad de gran importancia para conseguir una estabilidad microbiológica adecuada. Con valores elevados, los vinos tienen una mayor probabilidad de oxidarse o sufrir daños biológicos, agravándose en los vinos tintos por su fermentación junto con los hollejos. Este riesgo microbiológico es especialmente importante en las primeras etapas de la fermentación, porque no se ha alcanzado aún un grado alcohólico suficiente para inhibir a la mayoría de los microorganismos presentes.

En la Gráfica 7 se puede observar la influencia del pH sobre el potencial de oxidación del vino, el cual es más sensible a procesos oxidativos con pH más altos.



Gráfica 7. Oxidación del vino en función del pH (Chatonnet, 2005)

En estos últimos años, como se ha podido observar en la Gráfica 2, el pH de la uva ha aumentado considerablemente. Aunque el principal ácido de la uva, el ácido tartárico, es relativamente estable a la temperatura, el ácido málico es muy dependiente durante la maduración, disminuyendo su concentración conforme se eleva la temperatura. También se ha demostrado, que los niveles de ácido málico disminuyen por causa del estrés hídrico de la planta (Chaves et al., 2010; Egunez, 2015). Pero este fenómeno no se debe únicamente a estos factores, sino también al aumento de la cantidad de potasio en la uva, cuya acumulación también está relacionada directamente con la temperatura y la fertilización. Por eso, a la hora de estudiar datos históricos del pH, hay que tener en cuenta el aumento del uso de abonos en las últimas décadas, ya que la cantidad de K^+ absorbido por las raíces depende de los niveles de K que están disponibles en el suelo.

El riego también causa que aumenten los niveles de potasio. Esto se debe a varios factores, uno de ellos es la mayor disponibilidad de los elementos en suelo cuando está húmedo, el segundo factor es debido al mayor crecimiento vegetativo de la planta, que provoca que se produzca un propio sombreado en las hojas y se acumule más potasio, como se ha demostrado en un estudio realizado por Rojas-Lara y Morrison (1989) con sombreado artificial sobre viñedos, y la última, por la menor producción de ácido abscísico, fitohormona que entre sus funciones esta la apertura y cierre de los estomas y como consecuencia se produce una mayor acumulación de potasio en la planta. Con las actuales previsiones de una disminución de las precipitaciones por el cambio climático, habrá regiones donde será necesario la instalación de sistemas de regadío para el correcto crecimiento y desarrollo de la vid, pudiendo agravar el problema del pH si no se realiza un riego muy tecnificado y controlado.

Entre los factores que influyen en el pH del mosto figura el intercambio estequiométrico de iones de hidrogeno del ácido orgánico con los cationes inorgánicos,

que provoca la reducción del ácido libre (Gawel et al., 2000). Aunque el contenido de cationes tenga influencia en el pH, se hace referencia al K, ya que con diferencia es el catión con mayor concentración en la uva madura. Este fenómeno se puede observar en un estudio realizado por Hrazdina et al. (1984), en el que se determinó la concentración de cationes inorgánicos en uva en su momento óptimo de madurez. La cantidad de K era de 2875 ppm y la de Na, segundo catión inorgánico con más concentración, de 200 ppm.

La cantidad de K es distinta en los diferentes tejidos que forman la baya, siendo la piel donde más concentrado está, seguida de las pepitas y por último de la pulpa. Pero la diferencia de la concentración en los diferentes tejidos varía notablemente con las variedades de vid. Los resultados de un estudio sobre cinco variedades diferentes con el mismo portainjerto, determinaron una variación de entre 1,7 y 6,9 mayor la cantidad de K en el hollejo con respecto a la pulpa y de 1,6 y 4,3 veces con respecto a las pepitas (Walker et al. 1998).

Estos factores han de ser tenidos en cuenta a la hora de la vinificación, especialmente en vinos tintos, ya que en la maceración, el potasio que se encuentra en mayor cantidad en los hollejos es extraído hacia el mosto, produciendo así un aumento del pH del vino obtenido. Dentro de los vinos tintos, los que se van a destinar a la crianza son los más afectados, ya que para que permanezcan en buenas condiciones en el tiempo es esencial un pH bajo que asegure la estabilidad microbiológica.

Otro efecto negativo de la acumulación excesiva de K en la uva es la reducción del color. El grado de ionización de los antocianos, es decir el porcentaje de antocianos presentes en sus formas coloreadas sobre el total, disminuye a medida que aumenta el pH (Somers, 1975), porque con un pH elevado se favorece la formación de antocianos hemiacetales que son incoloros y reducen el color de los vinos tintos (Rybèreau-Gayon et al. 2003).

En la Tabla 6 puede observarse la tendencia de disminución de los antocianos totales del vino conforme aumenta el pH, lo que lleva a una pérdida en el color en el vino y un aumento del ennegrecimiento oxidativo.

Tabla 6. Evolución de los antocianos y del color de un vino tinto de Muscadinia (*Vitis rotundifolia*) en función del pH a los 9 meses de conservación (Sims and Morris, 1984).

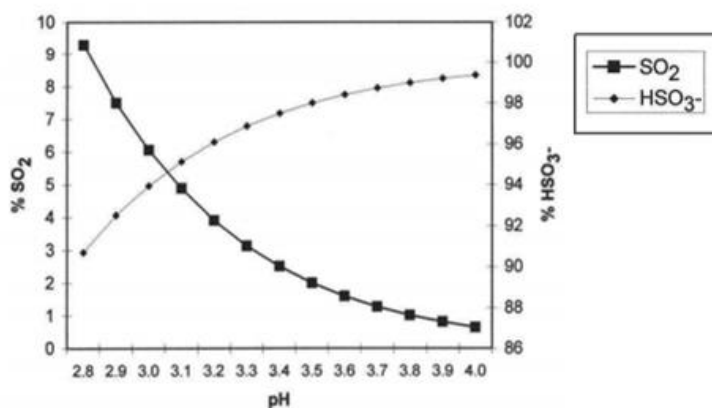
pH	Incremento visual del ennegrecimiento	Antocianos totales (mg/L)
2,90	2,80	788
3,20	4,20	692
3,80	6,20	603

También, las concentraciones altas de potasio, según un estudio realizado por Kudo (1998) con zumo de uva, son un factor directo que influye en las paradas de fermentación, lo que puede agravar los problemas de fermentación anteriormente descritos por un nivel bajo de nitrógeno asimilable y una alta concentración de azúcar. Este problema es mayor cuando a la misma concentración de K en el mosto, el pH es

más bajo, por lo que, la inhibición de la fermentación no puede pararse con la adición de productos nitrogenados ni de ácido, solamente reduciendo la concentración de K presente en el mosto.

Por otro lado, hay que destacar la disminución de la eficacia del SO_2 con el aumento del pH, pudiendo provocar la necesidad de la utilización de cantidades más altas para poder llegar a conseguir los mismos efectos antisépticos (Lucio, 2014), siempre sin llegar a superar los límites legales establecidos.

Como se puede observar en la Gráfica 8, con la subida del pH, el anhídrido sulfuroso pasa a la forma de anión bisulfito. Las propiedades de antisépticas del SO_2 son mayores que las de HSO_3^- , el sulfuroso es fungistático a concentraciones bajas y a pH elevados, mientras que es fungicida en concentraciones elevadas y a pH bajos. El anión bisulfito (HSO_3^-) posee únicamente actividad fungistática (Hidalgo, 2005; Hidalgo, 2011) Respecto al rendimiento contra las oxidaciones el SO_2 tiene un mayor efecto antioxidásico, aunque el del HSO_3^- también es elevado.



Gráfica 8. Influencia del pH en el equilibrio de disociación del SO_2 en el vino (Chatonnet et al., 1999).

Para poder solucionar estos problemas acrecentados por el calentamiento global, las bodegas deberán tomar medidas de corrección del pH, pero en zonas donde el contenido en K sea muy alto no bastara con la adición de ácido tartárico, ya que parte de este ácido reaccionara con el potasio y precipitara en forma de bitartrato potásico. Para solucionar estos casos, el mejor procedimiento es la reducción de K del vino mediante resinas o electrodiálisis, que supondría una elevada inversión a las bodegas.

6.4 Efectos asociados a la calidad del vino

Todos los efectos del cambio climático que se han visto en este trabajo influyen en la calidad del vino, modificando las reacciones químicas del vino y como consecuencia sus características organolépticas. El aumento de la temperatura acelera las reacciones químicas y, por lo tanto, pueden ejercer una multitud de efectos sobre la producción, la crianza, el transporte o el almacenamiento del vino. El ascenso de los valores del pH favorece las reacciones oxidativas (Boulton et al., 1996; Orduña, 2010) y microbiológicas, y puede afectar al color, sabor y aroma del vino.

El aumento de contenido alcohólico modifica la percepción y el sabor de los vinos. El aspecto visual se ve afectado por la inestabilidad que causa el etanol sobre algunos antocianos, llegando incluso a perder un 15% de la intensidad colorante (Hermosin Gutiérrez, 2003). El etanol también modifica la percepción aromática, la volatilidad de los compuestos y los umbrales de percepción son dependientes de la concentración de alcohol (Athes et al., 2004), con niveles altos de alcohol los aromas herbáceos predominan en el vino, en cambio si el vino tiene un nivel más bajo los aromas que destacan son afrutados (Goldner et al., 2009), potencia los olores como el clavo y cítricos, ya que fomenta la evaporación de eugenol y decanal, pero enmascara los aromas afrutados procedente de los ésteres (Escudero et al., 2007). En la fase gustativa, el etanol interviene potenciando la sensación de amargor y de dulzor del vino, y reduciendo la percepción de la acidez y de la astringencia. También puede aportar unas ciertas notas metálicas (Jones et al., 2008) y una sensación de causticidad (ardor) (King et al., 2013). Actualmente los estudios de mercado han determinado que los consumidores prefieren los vinos complejos con gran intensidad de los aromas varietales (Zamora, 2006), por lo que los aumentos de etanol y de la temperatura durante la madurez dificultan la vinificación de este tipo de vinos.

El proceso de desalcoholización sirve para disminuir el contenido alcohólico de los vinos, se puede realizar mediante diferentes técnicas, pero según la Tesis Doctoral realizada por García (2014), en la que se describen los diferentes procesos que pueden ser utilizados, aparecen algunos inconvenientes que afectan a la calidad del vino, como la pérdida de aromas, incidencia del efecto térmico sobre la calidad sensorial del vino, disminución de compuestos derivados de la fermentación, etc. Teniendo en cuenta la tendencia del consumidor hacia el consumo de vinos con menor graduación alcohólica (García, 2014) y los efectos del cambio climático hacia vinos con mayor contenido alcohólico, puede llegar a ser necesario la utilización de estos sistemas aunque disminuyan la calidad.

Un compuesto importante en la calidad del vino es el glicerol, tercer compuesto más abundante formado durante la fermentación, después del etanol y el carbónico. Su concentración varía entre 1 y 10 g/L. Aunque no contribuye al aroma del vino y no es volátil (Eustace, 1987), tiene una gran importancia en la fluidez y viscosidad del vino (Noble, 1984), aportando dulzor, suavidad, sedosidad y cuerpo (Moreno-Arribas y Polo, 2009). El incremento en la concentración de azúcar en el grano de uva puede favorecer la formación del glicerol, ya que se ha observado que la levadura *S. cerevisiae* aumenta significativamente la cantidad de glicerol formado en respuesta a un estrés producido por la presión osmótica (Gardner et al., 1993) También aumenta su producción con concentraciones más altas de SO₂, por lo que también se puede aumentar a causa de una mayor concentración de sulfuroso que permita controlar las oxidaciones y contaminaciones microbiológicas.

Sobre la disminución de acidez, un estudio realizado por Fischer y Wilke (2000), puso de manifiesto que los consumidores prefieren vinos con estructura de ácido suave y armónica frente a los vino con una acidez más fuerte, lo que es un aspecto positivo a favor del cambio climático que permitiría la obtención de vinos con menor acidez.

En el año 2005, en el II Encuentro Enológico de la Fundación para la Cultura del Vino, se realizó un informe técnico sobre la gestión de pH en el vino de calidad. En este informe se destacaron los principales problemas de calidad que generaba un pH demasiado alto en el vino (Tabla 7)

Tabla 7. Efectos en la calidad del vino de un pH elevado (Hidalgo, 2005)

EFFECTOS DE UN pH ELEVADO
Actividad del complejo enzimático del mosto o vino: oxidasas, pectasas y proteasas
Mayor desarrollo y metabolismo de los microorganismos véricos, con un mayor riesgo de aparición de enfermedades o alteraciones en los vinos
Oxidaciones de los mostos o vinos por el oxígeno del aire, menor extracción de antocianos contenidos en los hollejos
Menor estabilidad del color en vino tinto y peores condiciones de crianza en barrica
Mayor insolubilización de tartratos, favoreciendo además la “quiebra férrica azul” así como la “quiebra proteica” de los vinos
Dificultad en la clarificación y limpieza de los vinos, y por último, empeoramiento de las percepciones sensoriales de los vinos

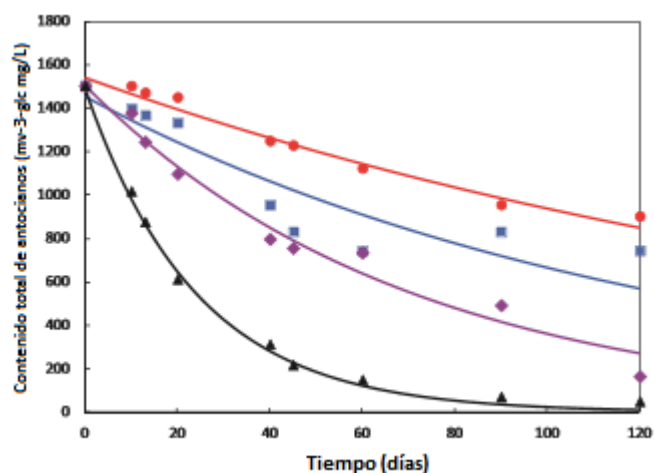
Los procesos de crianza se verán condicionados principalmente por el pH del vino. En el envejecimiento en barrica, aparte de la extracción de aromas y taninos, se busca una lenta oxidación del etanol a acetaldehído o etanal. Este compuesto facilita la copolimerización de antocianos y taninos (Riberau-Gayon et al., 2013), haciendo que el vino pierda astringencia y mantenga cuerpo y estructura. La oxidación se produce por la microoxigenación gracias a los poros de la barrica. Con un pH demasiado alto en el vino se producirá una mayor oxidación del etanol a una misma disolución de oxígeno, dando lugar a acetaldehído libre, que conferirá al vino colores de oxidación como teja o pardeado. También con el aumento del grado alcohólico la disolución de O₂ será mayor, produciendo un aumento en la formación de etanal.

La temperatura también plantea un riesgo significativo para los aspectos sensoriales del vino. Las condiciones ambientales en el transporte y almacenamiento pueden repercutir directamente sobre el color, el aroma y la sensación en boca. Todo el trabajo realizado en la elaboración del vino puede verse afectado por unas malas condiciones de distribución y venta del producto.

Varios efectos estéticos importantes son observados cuando los vinos son sometidos a temperaturas elevadas. El caso más notable es el de la formación de una neblina, resultado de la desnaturalización de las proteínas en los vinos blancos (Falconer et al., 2010). La hidrólisis de ésteres también parece acelerarse con el aumento de la temperatura y del pH. En una investigación en la que se estudió la temperatura de almacenamiento, se llegó a la conclusión de que los vinos que se encontraban almacenados en condiciones frías (0,5-10°C) tenían una vida útil más prolongada, manteniendo sus aromas (Robinson et al. 2010; Orduña, 2010).

Otros estudios han revelado que la temperatura tiene una relación sobre la degradación de compuestos volátiles. Se comprobó que el acetato de isoamilo disminuía con temperaturas variables entre 10,5 y 25,5°C en comparación con temperaturas estables entre 15-20°C, que producían pérdida de frescor y olor floral. Sin embargo, el butirato de etilo, lactato de etilo, y dietil succinato aumentaron, dando lugar a características propias de vinos más maduros y especiados. (Recamales et al., 2011) Este estudio resalta la importancia de controlar la temperatura de almacenamiento para el mantenimiento de aromas frescos y reducir el efecto de envejecimiento acelerado.

No solo la temperatura influye sobre las reacciones químicas que se producen en los aromas. Como puede verse en la Gráfica 9 la composición polifenólica también se ve afectada por las condiciones del almacenamiento. Este efecto de aceleración del envejecimiento es común en muchos estudios sobre el impacto de la temperatura, tanto para compuestos volátiles como para no volátiles.



Gráfica 9. Degradación de antocianos (expresados en equivalentes de malvidin-3-glucosido) en un vino tinto durante 120 días a 15 (●), 25(■), 35(◆) y 50°C (▲) (Lago-Vanzela et al., 2014).

Otra investigación (Santamaría, 2009) realizada en España sobre la temperatura de conservación de los vinos, llevada a cabo con un vino tinto de crianza de la D.O. Navarra, concluyó con los resultados que se exponen en la Tabla 8.

Tabla 8. Efecto de la temperatura de conservación en la calidad organoléptica y composición química del vino.

	Vino inicial	3 MESES DE CONSERVACIÓN				6 MESES DE CONSERVACIÓN			
		5°C	16°C	30°C	40°C	5°C	16°C	30°C	40°C
Grado alcohólico	13,92	14,06	14,05	14,06	14,06	14,03	14,01	14,03	14,01
SO2 libre (mg/L)	18	17	16	11	10	15	13	<10	<10
SO2 total(mg/L)	91	90	87	70	47	94	86	55	19
pH	3,63	3,64	3,64	3,64	3,64	3,59	3,6	3,6	3,6
Acidez total tartárica (g/L)	5,3	5,1	5,1	5,1	5	5,5	5,4	5,4	5,4
Ácido tartárico (g/L)	1,7	1,8	1,9	2	2	0,7	1,9	2	2,2
Acidez volátil (g/L)	0,82	0,83	0,83	0,83	0,83	0,84	0,88	0,88	0,87
Acetato etilo (mg/L)	107	86	93	114	127	102	117	148	163
Potasio	710	83	820	810	800	840	840	830	840
Acetaldehído (mg/L)	23	17	16	10	5	21	22	11	<5
IIA	15	21,1	21	23,4	30,1	20,2	20,7	26,3	34,4

Se observaron importantes diferencias en el contenido en sulfuroso libre y total. Con las temperaturas más elevadas y el periodo más largo, el sulfuroso libre llegó casi a desaparecer, dejando al vino desprotegido de oxidaciones y ataques microbianos.

También las altas temperaturas provocan un aumento en las concentraciones de acetato de etilo, una sustancia que produce olores a pegamento, un defecto organoléptico del vino, pero en el estudio solo en un caso se llegó al umbral de percepción (150 mg/L). El índice de ionización de antocianos aumentó con la temperatura y el tiempo, reforzando las conclusiones obtenidas en el estudio de la Gráfica 7.

6.5 Efectos en la crianza de vinos

En los procesos de envejecimiento del vino se utiliza principalmente la madera de roble, no solo de barricas, sino también de chips, virutas, granulados, etc. El cultivo de los árboles y la producción de la madera también están influenciada por el cambio climático.

Aunque no hay muchos estudios sobre este tema, una investigación realizada por la Universidad de Huelva (Martín et al., 2009) estudió las causas de mortandad debidas al cambio climático de la encina, la cual pertenece al género *Quercus*, el mismo que los robles. Los principales problemas que surgieron por el calentamiento global fueron el aumento de los patógenos y las enfermedades, y la sequía, la cual es la mayor causa de las muertes que se habían producido. Por lo tanto, la producción de este tipo de madera puede verse reducida.

Otros estudios indican que los posibles efectos provocados por el aumento de las concentraciones de CO₂ y de las sequías podrían afectar a la calidad de la madera y a las concentraciones de elagitaninos que se encuentra en la misma.

7. CONCLUSIONES

El cambio climático se presenta actualmente como el mayor reto medioambiental al que se enfrenta el planeta, cuyas consecuencias ya son evidentes y conllevarán a grandes desafíos sociales y económicos. Los estudios y registros climáticos han servido para comprobar la tendencia de las temperaturas y precipitaciones, e indican que en un futuro el clima será más cálido y seco.

En la vitivinicultura ya se están produciendo cambios debidos al calentamiento global. Dada la tendencia a la aparición de temperaturas cada vez más elevadas, los mostos tendrán una mayor concentración de azúcar, un pH más elevado y una disminución de la acidez. Los periodos fenológicos se verán adelantados, beneficiando a las zonas vitícolas más frías donde la maduración de la uva se produce de forma incompleta, y perjudicando a las zonas cálidas, en las que se producirá un exceso de maduración, reduciendo la calidad de los vinos.

El aumento de las temperaturas y el adelantamiento de la vendimia generarán un problema a la hora de la recolección, ya que se acelerarán las reacciones químicas y microbiológicas, dando lugar a oxidaciones, desarrollos microbiológicos, maceraciones incontroladas y fermentaciones indeseables.

El aumento de las concentraciones de azúcar junto a la disminución de nitrógeno asimilable, dificultan el correcto desarrollo de la fermentación, provocando paradas o

fermentaciones lentas. Las cantidades más altas de azúcar generan vinos con un mayor contenido alcohólico y fermentaciones más exotérmicas. El mayor grado alcohólico modifica las características organolépticas del vino, destacando aromas herbáceos en el vino, cuando actualmente la demanda de los consumidores es de vinos con aromas afrutados y florales.

El aumento del pH facilita las oxidaciones y las contaminaciones microbiológicas, que también se verán aumentadas por temperaturas más elevadas durante la vendimia. El efecto del SO_2 se reducirá con pH más alto debido a la disociación en HSO_3^- , siendo necesario una mayor cantidad de sulfuroso para mantener el vino estable frente a los microorganismos y oxidaciones. Los vinos tintos que van a ser envejecidos en barricas son lo más afectados por el aumento del pH, ya que es necesario un pH bajo que mantenga el vino protegido de microorganismos durante un largo periodo de tiempo. Un punto positivo de la disminución de la acidez es que se debe principalmente a la degradación del ácido málico, siendo preferente entre los consumidores vinos con una acidez suave.

Las condiciones de transporte y almacenamiento también son importantes en la química del vino. Con el aumento de la temperatura el sulfuroso libre disminuye antes, lo que provoca una menor vida útil del vino, y además se produce una pérdida de color por la ionización de los antocianos.

Todos estos efectos sobre la vitivinicultura son un aspecto general del cambio climático, pero el impacto del cambio climático será variable incluso dentro de una misma región, ya que zonas con diferentes condiciones climáticas, denominadas mesoclimas sufrirán cambios diferentes. La aparición de nuevas zonas vitícolas también afectará a las regiones actuales, ya que estas competirán por hacerse un hueco en el mercado.

Estas son, resumidamente, las principales consecuencias del cambio climático en la viticultura y en la enología. Las bodegas deberán realizar modificaciones e inversiones en el cultivo y en el proceso de vinificación para adaptarse al cambio climático y poder seguir produciendo vinos de calidad. Todo ello conllevará un gran gasto económico, tanto en sistemas de riegos en las zonas más secas, como en equipos más potentes de refrigeración por fermentaciones más exotérmicas debido a mayores concentraciones de azúcar, como en sistemas de resinas de intercambio iónico o de electrolisis para bajar el K y el pH.

8. BIBLIOGRAFÍA

ADAMS, D.O. (2006). Phenolics and ripening in grape berries. *American Journal of Enology and Viticulture*, nº 57, 249-256.

ALEIXANDRE, J.L.; ALEIXANDRE, J.L. (2011). *Conocimiento del vino: cata y degustación*. Ed. UPV. Valencia.

ARMAS, I. (2014). *Viticultura y Cambio Climático*. Trabajo Fin de Grado en Enología. Univ. de La Rioja.

- ATHES, V.; PEÑA Y LILLO, M.; BERNARD, C.; PÉREZ-CORREA, R.; SOUCHON, I. (2004). Comparison of experimental methods for measuring infinite dilution volatilities of aroma compounds in water/ethanol mixtures. *J. Agric. Food Chem.*, nº 52, 2021-2027.
- BELTRAN, G.; GUILLAMÓN, J.M. (2009). Relación entre el contenido nitrogenado en mosto/uva y la síntesis de aromas: efecto sobre la producción de sulfhídrico. Seminario Técnico Compuestos Azufrados Volátiles en Vino. Fundación para la cultura del vino, 4-16.
- BERTHELIS, N.J., CORDERO OTERO, R.R; BAUER, F.F.; THEVELEIN, J.M.; PRETORIUS, I.S. (2004). Discrepancy in glucose and fructose utilization during fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* wine yeast strains. *FEMS Yeas Research*, nº 4, 683-689.
- BOULTON, R.; SINGLETON, V.L.; BISSON, L.F.; KUNKEE, R.E. (1996). Principles and practices of winemaking. New York : Chapman&Hall.
- CHATONNET, P. (2005). Origen, importancia y factores de variación de la acidez y del pH: visión general de la problemática de la disminución de la acidez de los vinos. II Encuentro de la Fundación para la cultura del vino, 6-22.
- CHATONNET, P.; MASNEUF, I.; GUBBIOTTI, M.C.; DUBOURDIEU, D. (1999). Prévention et detection des contaminations par *Brettanomyces* au cours de la vinification et de l'évage des vins. *Rev. Fr. Oenol*, 179, 20-24.
- CHAVES, M.M.; ZARROUK, O.; FRANCISCO, R.; COSTA, J.M.; SANTOS, T.; REGALADO, A.P.; RODRÍGUES, M.L.; LOPEZ, C.M. (2010). Grapevine under deficit irrigation hints from physiological and molecular data. *Ann Bot*, nº 105, 661-676.
- COHEN, S.; KENNEDY, J. (2010). Plant Metabolism and the environment: implications for managing phenolics. Department of Food Science and Technology. USA.
- COHEN, S.D.; TARARA, J.M. (2008). Assessing the impact of temperature on grape phenolic metabolism. *Anal Chim Acta*, nº 621: 57-67.
- COULTER, A.; HENSCHKE, P.; SIMOS, C.; PRETORIUS, I. (2008). When the heat is on. Yeast fermentation runs out of puff. *Australian and New Zealand Wine Industry Journal*, nº 23, 26-30.
- DEL RIO, J.L.P.; KENNEDY, J.A. (2006). Development of proanthocyanidins in *Vitis vinifera* L. cv. Pinot Noir grapes and extraction into wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, nº 57, 125-132.
- DOWNEY, M.O.; DOKOOZLIAN, N.K.; KRSTIC, M.P. (2006). Cultural practice and environmental impacts on the flavonoid composition of grapes and wine: A review of recent research. *American Journal of Enology and Viticulture*, nº 57, 257-268.
- DUCHÊNE, E.; SCHNEIDER, C. (2005). Grapevine and climatic changes: A glance at the situation in Alsace. *Agronomy for Sustainable Development*, nº 25, 93-99.
- EGUNEZ, A. (2015). Efecto del cambio climático sobre la producción y calidad de las bayas de dos variedades de vid (*Vitis vinifera* L.) Tempranillo blanco y tinto. Trabajo Fin de Grado. Univ. de Navarra.
- ESCUADERO, A.; CAMPO, E.; FARIÑA, L.; CACHO, J.; FERREIRA, V. (2007). Analytical Characterization of the Aroma of Five Premium Red Wines. Insights into the Role of Odor

Families and the Concept of Fruitiness of Wines. *J. Agric. Food Chem.*, nº 55, 4501-4510.

EUSTACE, T.; THORNTON, R.J. (1987). Selective hybridization of wine yeasts for higher yields of glycerol. *J. Microbiol.*, nº 33, 3453-3463.

FALCONER, R.J.; MARANGON, M.; VAN SLUYTER, S.C.; NEILSON, K.A.; CHAN, C.; WATERS, E.J. (2010). Thermal stability of thaumatin-like protein, chitinase, and invertase isolated from Sauvignon Blanc and Semillon juice and their role in haze formation in wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, nº 58, 975-980.

FISCHER, U.; WILKE, A. (2000). Acidity structure and consumer preferences. Consumers do not enjoy acidity. *Deutsches Weinmagazin*, nº 22, 24-29.

GARCÍA, N. (2014). Reducción de azúcar en mostos por nanofiltración para la obtención de vinos con menor grado alcohólico. Tesis Doctoral en Química Analítica. Univ. De Valladolid.

GARDNER, N.; RODRIGUEZ, N.; CHAMPAGNE, C.P. (1993). Combined Effects of sulfites, temperature, and agitation time on production of glycerol in grape juice by *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied and environmental microbiology*, nº 7, 2022-2028.

GAWEL, R.; EWART, A.J.W.; CIRAMI, R. (2000). Effect of rootstock on must and wine composition and the sensory properties of Cabernet Sauvignon grown at Laghorne Creek, South Australia. *Australian and New Zealand Wine Industry Journal*, nº 15, 67-73.

GOELZER, A.; CHARNOMORDIC, B.; COLOMBIE, S.; FROMION, V.; SABLAYROLLES, J.M. (2009). Simulation and optimization software for alcoholic fermentation in winemaking conditions. *Food Control*, 20, 635-642.

GOLDNER, M.C.; ZAMORA, M.C.; LIRA, P.; GIANNINOTO, H.; BANDONI, A. (2009). Effect of ethanol level in the perception of aroma attributes and the detection of volatile compounds in red wine. *Journal of Sensory Studies*, nº 24, 243-257.

GONCALVES, B.; FALCO, V.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; BACELAR, E.; PEIXOTO, F.; CORREIA, C. (2009). Effects of elevated CO₂ on grapevine (*Vitis vinifera* L.): Volatile composition, phenolic content, and in vitro antioxidant activity of red wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, nº 57, 265-273.

HANNAH, L. (2013). Climate change, wine and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, nº 110, 6907-6912.

HERMOSÍN GUTIÉRREZ, I. (2003). Influence of ethanol content on the extent of copigmentation in a Cencibel young red wine. *J. Agric. Food Chem.*, nº 51, 4079-408.

HIDALGO, J. (2005). Tecnología de elaboración y soluciones al aumento de pH en los vinos debido al potasio. *II Encuentro de la Fundación para la cultura del vino*, 65-86.

HIDALGO, J. (2011). *Tratado de Enología*. Ed. AMV, Madrid.

HOWELL, G. (2008). Vintage 2008: The good, the bad and the heatwave. *Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker*, nº 532, 51-52.

HOWELL, G. (2009). Vintage: 2009: Hazy days. *Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker*, nº 544, 47-48.

HRAZDINA, G.; PARSONS, G.F.; MATTICK, L.R. (1984). Physiological and biochemical events during development and maturation of grape berries. *American Journal of Enology and Viticulture*, nº 35, 220-227.

JONES, G.V. (2006). Climate and Terroir: Impacts of Climate Variability and Change on Win". In *Fine Wine and Terroir - The Geoscience Perspective*. Macqueen, R.W., and Meinert, L.D., (eds.), Geoscience Canada Reprint Series Number 9, Geological Association of Canada, St. John's, Newfoundland, 247 pages.

JONES, G.V.; WHITE, M.A.; COOPER, O.R.; STORCHMANN, K. (2005). Climate change and global wine quality. *Climate change*, nº 73, 596-607.

JONES, P.R.; GAWEL, R.; FRANCIS, I.L.; WATERS, E.J. (2008). The influence of interactions between major white wine components on the aroma, flavour and texture of model white wine. *Food Quality and Preference*, nº 19, 596-607.

KELLER, M. (2010). *The science of grapevines: Anatomy and physiology*. New York: Academic Press.

KENNISON, K.R.; WILKINSON, K.L.; WILLIAMS, H.G.; SMITH, J.H.; GIBBERD, M.R. (2007). Smoke-derived taint in wine: Effect of postharvest smoke exposure of grapes on the chemical composition and sensory characteristics of wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, nº 55, 10897-10901.

KILMISTER, R.; UNWIN, D.; TREEBY, M.; EDWARDS, E.; KRSTIC, M. (2016). Effect of elevated CO₂ and temperature on phenology, carbohydrates, yield and grape composition-preliminary results. *Wine Vitic. J*, nº 31, 38-40.

KING, E.S.; DUNN, R.L.; HEYMANN, H. (2013). The influence of alcohol on the sensory perception of red wines. *Food Quality and Preference*, nº 28, 235-243.

KUDO, M.; VANGNOLI, P.; BISSON, L.F. (1998). Imbalance of pH and potassium concentration as a cause of stuck fermentations. *American Journal of Enology and Viticulture*, nº 49, 295-301.

LAGO-VANZELA, E.S.; PROCÓPIO, D.P.; FONTES, E.A.F.; RAMOS, A.; STRINGHETA, P.C.; DA-SILVA, R.; CASTILLO-MUÑOZ, N.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. (2014). Aging of red wines made from hybrid grape cv. BRS Violeta: effects of accelerated aging conditions on phenolic composition, color and antioxidant activity. *Food Research International*, nº 56, 182-189.

LESKE, P.A.; SAS, A.N.; COULTER, A.D.; STOCKLEY, C.S.; LEE, T.H. (1997). The composition of Australian grape juice: Chloride, sodium and sulfate ions. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, nº 3, 26-30.

LISSARRAGUE, J.R.; MARTÍNEZ, F.; (2008). Cuestiones referentes al sector del viñedo más relevantes para la definición de la política de seguros agrarios: situación actual y tendencias a corto y medio plazo. ENESA

LOIRA, I. (2014). Optimización de parámetros fermentativos de calidad en vinos tintos de zonas cálidas. Tesis Doctoral en Ingeniería Agronómica. Univ. Politécnica de Madrid.

LUCIO, O. (2014). Acidificación biológica de vinos de pH elevado mediante la utilización de bacterias lácticas. Tesis Doctoral en Biotecnología. Univ. De Valencia.

MARTÍN, D.; ALEJANO, R.; VÁZQUEZ, J.; TAPIAS, R. (2009). Evolución del crecimiento radial de *Quercus ilex L. ssp. Ballota (Desf.) Samp* y *Quercus suber L.* en la provincia

de Huelva. Influencia de parámetros climáticos, selvícolas y humedad de suelo. Universidad de Huelva.

MASTRANDREA, M.D.; MACH, K.J.; BARROS, V.R.; BILIR, T.E.; DOKKEN, D.J.; EDENHOFER, O.; FIELD, C.B.; HIRAISHI, T.; KADNER, S.; KRUG, T.; MINX, J.C.; PICHES-MADRUGA, R.; PLATTNER, G.; QIN, D.; SOKONA, Y.; STOCKER, T.F.; TIGNOR, M. (2014). IPCC Expert Meeting on Climate Change, Food, and Agriculture. IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change.

MORENO-ARRIBAS, M.V.; POLO, M.C. (2009). Wine chemistry and biochemistry. Ed. Springer. USA.

NELSON, G.C.; ROSEGRANT, M.W.; KOO, J.; ROBERTSON, R.; SULSER, T.; ZHU, T.; RINGLER, C.; MSANGI, S.; PALAZZO, A.; BATKA, M.; MAGALHAES, M.; CALMONTE-SANTOS, R.; EWING, M.; LEE, D. (2009). Cambio climático, el impacto en la agricultura y los costos de adaptación. International Food Policy Research Institute.

NEMANI, R.; WHITE, M.A.; CAYAN, D.R.; JONES, G.V.; RUNNING, S.W.; COUGHLAN, J.C. (2001). Asymmetric warming over coastal California and its impact on the premium wine industry. *Climate Research*, 19,25-34.

NOBLE, A.; BURSICK, G.F. (1984). The contribution of glycerol to perceived viscosity and sweetness in White wine. *Am. J. Enol. Vitic.*, nº 35, 110-113.

ORDUÑA, R. (2010). Climate change associated effects on grape and wine quality production. *Food Research International*, nº 43, 1844-1855.

PALLIOTI, A.; CARTECHINI, A.; SILVESTRONI, O.; MATTIOLI, S. (2005). Respiration activity in different above-ground organs of *Vitis vinifera* L. in response to temperature and developmental stage. *Acta Hort.*, (ISHS), nº 689, 159-166.

PIGEAU, G.M.; BOZZA, E.; KAISER, K.; INGLIS, D.L. (2006). Concentration effect of Riesling Icewine juice on yeast performance and wine acidity. *Journal of Applied Microbiology*, nº 103, 1691-1698.

PRETORIUS, I. (2009). Los nuevos retos en microbiología del vino. Levaduras no productoras de SH₂. Seminario Técnico Compuestos Azufrados Volátiles en Vino. Fundación para la cultura del vino, 18-28.

RECAMALES, A.F.; GALLO, V.; HERNANZ, D.; GONZÁLEZ- MIRET, M.L.; HEREDIA, F.J. (2011). Effect of time and storage conditions on major volatile compounds of Zalema white wine. *Journal of Food Quality*, nº 34, 100-110.

RESCO, P. (2012). Impacto del cambio climático en el viñedo en España. Trabajo Fin de Master. Univ. Politécnica de Madrid.

RESCO, 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 en Ingeniería Agronómica. Univ. Politécnica de Madrid.

RIBERA, T.; OLABE, A. (2015). La cumbre del clima de París. Real Instituto Elcano.

RIBÉRAU-GAYON, P.; GLORIES, Y.; MAUJENA, A.; DUBOURDIEU, D. (2003). Tratado de enología. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires.

ROBINSIN, A.L.; MUELLER, M.; HEYMANN, H.; EBELER, S.E.; BOSS, P.K.; SOLOMON, P.S.; TRENGOVE, R.D. (2010). Effect of simulated shipping conditions on

sensory attributes and volatile composition of commercial White and red wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, nº 61, 337-347.

ROJAS-LARA, B.A.; MORRISON, J.C. (1989). Differential effects of shading fruit or foliage on the development and composition of grape berries. *Vitis*, nº 28, 199-208.

SALAZAR, D.M.; MELGAREJO, P. (2005). *Viticultura: técnicas de cultivo de la vid, calidad de la uva y atributos de los vinos*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

SANTAMARÍA, E.; MOYA, L.; BERRUETA, J.; SUBERVIOLA, J.; GÓMEZ-CORDOVÉS, C. (2009). Efecto de la temperatura de conservación en la calidad organoléptica y composición química del vino. XXIV Reunión anual del grupo de trabajo de experimentación en viticultura y enología. IMIDRA.

SANTOS, J.; SOUSA, M.J.; CARDOSO, H.; INÁCIO, J.; SILVIA, S.; SPENCER-MARTINS, I.; LEO, C. (2008). Ethanol tolerance of sugar transport, and the rectification of stuck wine fermentations. *Microbiology*, nº 154, 422-430.

SHEPPARD, S.I.; DHESI, M.K.; EGGERS, N.J. (2009). Effect of pre- and postveraison smoke exposure on guaiacol and 4-methylguaiacol concentration in mature grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, nº 60, 98-103.

SIMS, C.A.; MORRIS, J.R. (1984). Effects of acetaldehyde and tannins on the color and chemical age of red Muscadine (*Vitis Rotundifolia*) Wine. *Research Note JEV* 37, 163-165.

SMART, R. (2005). Factores del viñedo que afectan al pH del vino. II Encuentro de la Fundación para la cultura del vino, 65-86.

SOMERS, T.C. (1975). In search of quality for red wines. *Food Technology in Australia* nº 27, 49-56.

SOTES, V. (2004). Comportamiento fisiológico de la vid en climas cálidos y en particular durante el período de maduración de la uva. 1º Workshop Internacional de Pesquisa: A Produção de Vinhos em Regioes Tropicais.

TARARA, J.M.; LEE, J.; SPAYD, S.E.; SCAGEL, C.F. (2008). Berry temperature and solar radiation alter acylation, proportion, and concentration of anthocyanin in merlot grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, nº 59, 235-247.

VAN LEEUWEN, C.; FRIANT, P.; CHONÉ, X.; TREGOAT, O.; KOUNDOURAS, S.; DUBOURDIU, D. (2004). Influence of climate, soil, and cultivar on terroir. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55, 207-217.

WALKER, D.J.; BLACK, C.R.; MILLER, A.J. (1998). The role of cytosolic potassium and pH in the growth of barley roots. *Plant physiology*, nº 118, 957-964.

WALKER, R.R.; BLACKMORE, D.H.; CLINGELEFFER, P.R.; GODDEN, P.; FRANCIS, L.; VALENTE, P.; ROBINSON, E. (2003). Salinity effects on vines and wines. *Bulletin de l'O.I.V.*, Nº 76, 200-227.

ZAMORA, F. (2006). El cambio climático: una amenaza para nuestra vitivinicultura. *Enólogos*, nº 39, 28-31.

Páginas web

GOV.UK. <https://www.gov.uk/tax-on-shopping/alcohol-tobacco> , visto el 13 de junio de 2016.

TTB.GOV. https://www.ttb.gov/tax_audit/atftaxes.shtml , visto el 13 de junio de 2016.

OIV <http://www.oiv.int/public/medias/2257/es-communique-de-presse-octobre-2015.pdf> visto el 2 de junio de 2016.

MAGRAMA. <http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/que-es-el-cambio-climatico-y-como-nos-afecta/> visto el 15 de marzo de 2016.