

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y DEL MEDIO NATURAL

MÁSTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

**CAMBIO CLIMÁTICO Y MEDIDAS DE
ADAPTACIÓN DEL VIÑEDO EN LA D.O.
CARIÑENA**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ALUMNO: Dña. MARTA MOMPEÓN CAMPOS

TUTOR: D. RAÚL COMPÉS LÓPEZ

CURSO ACADÉMICO 2019/2020

VALENCIA, JULIO 2020

Cambio climático y medidas de adaptación del viñedo en la D.O. Cariñena

RESUMEN

El cambio climático es especialmente grave en el sistema agrario, por su dependencia medioambiental. Uno de los sectores más sensibles es el vitivinícola, por la influencia del clima sobre la cantidad y la calidad de la cosecha. Además, afecta a la tipicidad de los vinos de cada zona, lo que preocupa especialmente a las denominaciones de origen, que quizá deban introducir cambios en sus reglas de funcionamiento, con el fin de que los productores puedan adaptarse.

En este trabajo se analiza de qué manera afecta el cambio climático al sector vitivinícola en la Denominación de Origen Cariñena, localizada en la provincia de Zaragoza (Aragón), ubicada en pleno valle del Ebro, una zona mediterránea con escasas precipitaciones y temperaturas elevadas en verano.

En una primera parte se analizan a) las variaciones ocurridas en los parámetros climáticos de la zona en las últimas décadas, b) los escenarios futuros probables, c) los índices bioclimáticos relacionados con el viñedo y d) los impactos que pueden producirse en el viñedo de la zona, así como las consecuencias sobre la rentabilidad y viabilidad del cultivo.

Con la caracterización climática de la zona de estudio, el TFM demuestra que se han producido cambios sustanciales en los últimos 50 años que afectan a la idoneidad del cultivo, como el continuo aumento de la temperatura media, o el descenso de las precipitaciones. De igual manera, todas las proyecciones y escenarios futuros indican que en los próximos años estos cambios seguirán acentuándose, lo que dificultará cada vez más una adecuada adaptación del viñedo.

En una segunda parte, al examinar las principales estrategias de adaptación que suponen costes de inversión y cambios de modelo productivo para los viticultores, se concluye que la medida más económica y rápida es el cambio de variedad mediante injerto, pero también es la que menor efecto tiene. Por el contrario, la medida con mayor alcance, pero la más costosa y que mayores dificultades conlleva, es la deslocalización del viñedo.

Por último, se realiza un análisis de la realidad vitícola de la zona, en el que se comprueba que la percepción que tienen los viticultores sobre el cambio climático está muy influenciada por el modelo vitícola que practican, siendo más sensibles las zonas con viñedos antiguos y sin acceso a recursos hídricos.

PALABRAS CLAVE

SECTOR VITIVINÍCOLA, CAMBIO CLIMÁTICO, ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN, RIEGO, CAMBIO VARIETAL, NUEVA PLANTACIÓN, DESLOCALIZACIÓN, COSTES

Alumno: Dña. Marta Mompeón Campos

Tutor Académico: D. Raúl Compés López

Valencia, Julio de 2020

Climate change and vineyard adaptation measures in the D.O. Cariñena

ABSTRACT

Climate change is especially serious in the agricultural system, due to its environmental dependence. One of the most sensitive sectors is the wine sector, due to the influence of the climate on the quantity and quality of the harvest. In addition, it affects the typicality of the wines of each area, which is of particular concern to the denomination of origin, which may have to introduce changes in their rules of operation, so that producers can adapt.

The aim of this TFM was to analyse how climate change affects the wine sector in the Cariñena Denomination of Origin, located in the province of Zaragoza (Aragón), in the Ebro Valley, a Mediterranean area with low rainfall and high temperatures in summer.

The first part was focused on the analysis of a) the variations that have occurred in the climatic parameters of the area in the last decades, b) the probable future scenarios, c) the bioclimatic indexes related to the vineyard and d) the impacts that can occur in the area's vineyards, as well as the consequences on the profitability and viability of the crop.

With the climatic characterization of study area, this TFM demonstrates that in the last fifty years there have been important changes which affect the suitability of the crop, such as the increase in the average temperature, or decrease in rainfall. Similarly, all future projections indicate in the coming years, these changes will continue to increase, making more difficult the adequate adaptation of the vineyard.

In a second part, the main adaptation strategies will be examined, involving investment costs and changes in the production model for wine growers. It is concluded that the cheapest and fastest measure is the change of variety, but this measure is the one with the least effect. On the contrary, the measure with the greatest scope, but the most expensive and the one that presents the greatest difficulties, is the relocation of the vineyard.

Finally, the wine sector reality is analysed to verify if it corresponds to the changes in the environment. It shows that the perception that wine growers have about climate change is highly influenced by the wine model they practice, being areas with older vineyards and without access to irrigation more sensitive.

KEYWORDS

WINE SECTOR, CLIMATE CHANGE, ADAPTATION STRATEGIES, IRRIGATION, VARIETAL CHANGE, NEW PLANTATION, DISLOCALIZATION, COSTS

Student: Ms. Marta Mompeón Campos

Supervisor: Mr. Raúl Compés López

Valencia, July 2020

Canvi climàtic i mesures d'adaptació de la vinya en la D.O. Cariñena

RESUM

El canvi climàtic és especialment greu en el sistema agrari, per la seua dependència mediambiental. Un dels sectors més sensibles és el vitivinícola, per la influència del clima sobre la quantitat i la qualitat de la collita. A més, afecta la tipicitat dels vins de cada zona, la qual cosa preocupa especialment a les denominacions d'origen, que potser hauran d'introduir canvis en les seues regles de funcionament, a fi que els productors puguen adaptar-se.

En este treball s'analitza de quina manera afecta el canvi climàtic al sector vitivinícola en la Denominació d'Origen Cariñena, localitzada en la província de Zaragoza (Aragón), ubicada en plena vall de l'Ebre, una zona mediterrània amb escasses precipitacions i temperatures elevades a l'estiu.

En una primera part s'analitzen a) les variacions ocorregudes en els paràmetres climàtics de la zona en les últimes dècades, b) els escenaris futurs probable, c) els índexs bioclimàtics relacionats amb la vinya i d) els impactes que poden produir-se en la vinya de la zona, així com les conseqüències sobre la rendibilitat i viabilitat del cultiu.

Amb la caracterització climàtica de la zona d'estudi, el TFM demostra que s'han produït canvis substancials en els últims 50 anys que afecten la idoneïtat del cultiu, com el continu augment de la temperatura mitjana, o el descens de les precipitacions. De la mateixa manera, totes les projeccions i escenaris futurs indiquen que en els pròxims anys estos canvis seguiran accentuant-se, la qual cosa dificultarà cada vegada més una adequada adaptació de la vinya.

En una segona part, a l'examinar les principals estratègies d'adaptació que suposen costos d'inversió i canvis de model productiu per als viticultors, es conclou que la mesura més econòmica i ràpida és el canvi de varietat per mitjà de reempelt, però també és la que menor efecte té. Al contrari, la mesura amb més abast, però la més costosa i que més dificultats comporta, és la deslocalització de la vinya.

Finalment, es realitza una anàlisi de la realitat vitícola de la zona, en el que es comprova que la percepció que tenen els viticultors sobre el canvi climàtic està molt influenciada pel model vitícola que practiquen, sent més sensibles les zones amb vinyes antigues i sense accés a recursos hídrics.

PARAULES CLAU

SECTOR VITIVINÍCOLA, CANVI CLIMÀTIC, ESTRATÈGIES D'ADAPTACIÓ, REG, CANVI VARIETAL, NOVA PLANTACIÓ, DESLOCALITZACIÓ, COSTOS

Alumne: Dña. Marta Mompeón Campos

Tutor acadèmic: D. Raúl Compés López

València, Juliol de 2020

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes y justificación	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Metodología	4
1.4. Estructura	4
2. Evolución de las temperaturas y las precipitaciones en Cariñena	5
2.1. Introducción: modelo de caracterización climática	5
2.2. Evolución histórica de las temperaturas e índices bioclimáticos entre 1970 y 2019	8
2.3. Evolución de las precipitaciones en el período 1970-2019.....	11
2.4. Escenarios e impactos previstos para 2040-2050.....	12
3. Análisis económico de las medidas de adaptación	16
3.1. Consecuencias del cambio climático en el sector vitivinícola.....	16
3.2. Medidas de adaptación al cambio climático en el sector vitivinícola.....	16
3.3. Estudio de casos de adaptación al cambio climático en la D.O. Cariñena	19
3.3.1. Costes de adaptación en el riego	19
3.3.2. Costes de adaptación del cambio de variedad.....	20
3.3.3. Costes de adaptación de replantación.....	22
3.3.4. Costes de adaptación de la deslocalización del viñedo	23
3.3.5. Comparativa de los costes de las medidas de adaptación.....	27
4. Encuesta de la visión de los viticultores con respecto al cambio climático.....	28
4.1. Introducción	28
4.2. Resultados globales.....	28
4.3. Diferencias existentes entre municipios	31
4.4. Conclusiones.....	34
5. Conclusiones.....	35
Referencias bibliográficas	37
Anexos	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferencias climáticas entre diferentes altitudes de la D.O. Cariñena.....	6
Tabla 2. Histórico Datos climáticos de Cariñena.....	7
Tabla 3. Características de las estaciones climáticas de las que se han obtenido los datos analizados.....	7
Tabla 4. Valores del Índice de Huglin y clasificación climática para los diferentes casos estudiados.....	13
Tabla 5. Índice de Frescor nocturno y clasificación climática para los diferentes casos estudiados.....	13
Tabla 6. Valores del Índice de Sequía y clasificación climática para los diferentes casos estudiados.....	14
Tabla 7. Evaluación de las necesidades de adaptación como resultado de los cambios proyectados en los índices de Huglin, Frescor Nocturno y de Sequía	15
Tabla 8. Costes instalación de riego	19
Tabla 9. Costes cambio de variedad.....	22
Tabla 10. Costes replantación	22
Tabla 11. Datos climáticos Paniza (700 msnm).....	25
Tabla 12. Costes deslocalización viñedo	26

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Grupos climáticos del Sistema CCM Geovitícola para los índices IH, IF y IS	6
Ilustración 2. Regiones vitivinícolas españolas diferenciadas según su comportamiento climático	7
Ilustración 3. Representación de las estrategias de adaptación a los cambios climáticos, diferenciando entre corto, medio y largo plazo.....	18
Ilustración 4. Mapa de la altimetría de la D.O. Cariñena	25

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Evolución de la temperatura media anual en Cariñena (1970-1989)	8
Gráfico 2. Evolución de la temperatura media anual en Cariñena (1990-2019)	8
Gráfico 3. Evolución del número de días con temperaturas superiores a 35°C (1990-2019)	10
Gráfico 4. Variación en el número de días con temperatura inferiores a 0°C (1970-1989)	10
Gráfico 5. Variación en el número de días con temperatura inferiores a 0°C (1990-2019)	10
Gráfico 6. Variaciones registradas en las precipitaciones anuales acumuladas (1970-1989)	11
Gráfico 7. Variaciones registradas en las precipitaciones anuales acumuladas (1990-2019)	11
Gráfico 8. Variación en los días con tormentas de pedrisco producidos a lo largo de los años (1970-2019).....	12
Gráfico 9. Evolución de la superficie cultivada y producción en la D.O. Cariñena (1993-2018). 24	
Gráfico 10. Comparativa de los costes de las medidas de adaptación estudiadas.....	27
Gráfico 11. Diferentes criterios para la gestión del viñedo seguidos por los viticultores.....	29
Gráfico 12. Niveles de riesgo de las plagas más comunes de la zona.....	29
Gráfico 13. Evolución de las técnicas de cultivo	30
Gráfico 14. Diferentes preferencias en relación a las políticas agrícolas del sector.....	30

Gráfico 15. Variedades cultivadas en los municipios estudiados	32
Gráfico 16. Diferencias en los niveles de riesgo de las plagas entre ambos municipios	33
Gráfico 17. Diferencias en el uso de las técnicas de cultivo.....	33

ÍNDICE ANEXOS

Anexo 1. Diferencias de temperatura media y precipitación media anual en los municipios pertenecientes a la D.O. Cariñena según altitud	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 2. Tabla resumen valores obtenidos para los tres índices bioclimáticos analizados a partir de datos proporcionados por AEMET (1970-2019).....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 3. Evolución del Índice de Winkler durante el periodo 1990-2019	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 4. Evolución del Índice de Huglin durante el periodo 1971-2000	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 5. Evolución del Índice de Huglin durante el periodo 2021-2050 (Escenario RCP 4.5)	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 6. Evolución del Índice de Huglin durante el periodo 2021-2050 (Escenario RCP 8.5)	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 7. Evolución del Índice de Frescor nocturno durante el periodo 1971-2000	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 8. Evolución del Índice de Frescor nocturno durante el periodo 2021-2050 (Escenario 4.5)	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 9. Evolución del Índice de Frescor nocturno durante el periodo 2021-2050 (Escenario 8.5)	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 10. Evolución del Índice de Sequía durante el periodo 1971-2000	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 11. Evolución del Índice de Sequía durante el periodo 2021-2050 (Escenario 4.5) .	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 12. Evolución del Índice de Sequía durante el periodo 2021-2050 (Escenario 8.5) .	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 14. Mapa del relieve de la D.O. Cariñena.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 15. Unidades geomorfológicas D.O. Cariñena	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 16. Mapa geología D.O. Cariñena	¡Error! Marcador no definido.

1. Introducción

1.1. Antecedentes y justificación

El cambio climático es considerado actualmente como uno de los mayores retos ambientales a nivel global (IPCC, 2014). Éste puede definirse como la variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio y en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos (IPCC, 2013). Puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo.

La mayoría de los impactos del cambio climático son atribuidos al calentamiento y/o a cambios en los patrones de precipitación (IPCC, 2014). La aceleración del cambio climático en las últimas décadas, resultado del incremento de gases de efecto invernadero producidos por el uso de combustibles fósiles, es una realidad social que amenaza gravemente a distintos ecosistemas (Fernández, 2013).

Entre los sectores más sensibles destaca la agricultura, debido a las interacciones del sector con el medio natural (Iglesias et al., 2011). El cambio climático conlleva un aumento de la concentración de dióxido de carbono atmosférico. Asimismo, implica una modificación de factores clave como: salinización, sequía, inundaciones, deterioro de la calidad del agua y erosión del suelo, que muchas veces tienen importantes consecuencias sobre la producción (Rosenzweig et al., 2002).

En consecuencia, una modificación de las características climáticas actuales afectaría a la distribución de la vegetación natural y a la agricultura, puesto que la radiación solar, el agua y la temperatura controlan el crecimiento y la reproducción de las plantas (Ewert et al., 2005). Por ello, se están llevando a cabo multitud de esfuerzos para medir con precisión estos cambios, conocer los impactos y poder actuar en consecuencia.

Las proyecciones climáticas disponibles actualmente indican que si se mantiene la continua emisión de gases de efecto invernadero se producirá un mayor calentamiento y cambios duraderos en todos los componentes del sistema climático, lo que hará que aumente la probabilidad de impactos graves, generalizados e irreversibles para las personas y los ecosistemas. Por tanto, para contener el cambio climático sería necesario reducir de forma sustancial y sostenida las emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual, junto con la adaptación, puede limitar los riesgos del mismo (IPCC 2014).

Para el análisis de estos escenarios se han creado modelos globales como los Modelos Climáticos Globales (MCG), la herramienta más avanzada para simular la respuesta de un sistema global en el incremento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero. Los MCG incluyen modelos atmosféricos y oceánicos que procesan actualmente grandes cantidades de datos. Pueden modelar la atmósfera a gran escala y a largo plazo, sin embargo, suelen registrar errores a escalas regionales. Debido a que los paisajes agrícolas y naturales tienen grandes variaciones espaciales, donde la orografía, el clima, los suelos y el manejo de los cultivos varían a través de pequeñas distancias, la mayoría de los investigadores han utilizado la reducción de escala en los estudios de impacto, utilizando otras técnicas a partir de las simulaciones con los MCG acoplados, conocidas como técnicas de regionalización (Giorgi y Mearns, 1991). Por ello, para aumentar la resolución de las proyecciones climáticas, se utilizan modelos climáticos regionales (MCR), que permiten analizar con mayor exactitud las previsiones de zonas concretas aprovechando la información a gran escala proporcionada por los MCG (Navarro-Racines et al., 2020).

La vid es una especie muy sensible a los cambios meteorológicos, posee unas exigencias climáticas muy concretas, especialmente en cuanto a temperaturas, iluminación y requerimientos hídricos (Salazar y Melgarejo, 2005).

La vulnerabilidad de la viticultura al cambio climático depende de la magnitud de los impactos, y de la sensibilidad a éstos, así como de la capacidad de adaptación de los agricultores, que depende de los factores internos y externos de la propia explotación. Por ello, las variaciones en las condiciones climáticas pueden afectar al precio, a la rentabilidad y las posibilidades de competir en un mercado cada vez más globalizado y demandante de calidad.

La geografía del viñedo ha variado notablemente en los ocho milenios que nos consta que el ser humano ha cultivado viñas. La causa principal, aunque no única, de tales variaciones ha sido el clima. El sector vitivinícola está viéndose afectado directamente por el cambio climático, y todo ello se refleja en los vinos que se están produciendo en los últimos años en todas las partes del mundo y, más concretamente, en la zona mediterránea (Ballesteros, 2018).

El mercado mundial del vino es cada vez más exigente, por lo que es necesario mantener las propiedades características de los vinos producidos en las diferentes zonas productoras, así como la adecuada rentabilidad del cultivo. Para ello, es importante llevar a cabo medidas de adaptación que permitan el adecuado desarrollo y producción de la especie. La disponibilidad de recursos financieros, tecnológicos o de información, las perspectivas de los mercados, la percepción sobre el riesgo o la existencia de un marco normativo adecuado son variables que inciden en la capacidad de adaptación (Tonietto et al., 2012).

Aunque es arriesgado generalizar, la situación en las regiones mediterráneas va a ser cada vez más compleja (MedECC, 2019). La variación climática que prevén los estudios sobre cambio climático va a tener una incidencia muy importante sobre el viñedo español (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2012). Prueba de ello es que, en las últimas décadas, ya se han producido variaciones sustanciales en los parámetros ambientales tradicionales, lo que ha repercutido tanto en la gestión del cultivo como en la dinámica del sector. Los principales efectos que afectan al sector agrario son, en primer lugar, el aumento de temperaturas y la estimación de un aumento superior en las próximas décadas junto a la modificación de las condiciones actuales de estacionalidad anual; en segundo lugar, los cambios en los patrones de precipitación, provocando amplios periodos con precipitaciones escasas o nulas, así como grandes acumulaciones de lluvia de forma puntual y, por último, mayor intensidad y frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos tales como: sequías, inundaciones, olas de calor, heladas y granizos (AdapteCCa.es, 2020).

Todo esto está provocando una disminución de la idoneidad de algunas regiones vitícolas importantes, y se prevé que este fenómeno se intensifique en los escenarios climáticos futuros, aunque con impactos espacialmente heterogéneos (Santos et al., 2018).

Como consecuencia, en las últimas décadas, los países mediterráneos han perdido peso y centralidad ante el auge de nuevos territorios productores y consumidores, y es posible que el cambio climático acentúe esta tendencia. En el caso de España, como el resto de regiones mediterráneas, muchas regiones se encuentran en una posición especialmente vulnerable (Compés y Cervera, 2018).

Según World Resources Institute (2019), España se sitúa en el puesto 28 del ranking mundial de estrés hídrico, por lo que está dentro de la categoría de estrés hídrico alto, y es una de las naciones que lidera el *ranking* de países europeos más afectados. Asimismo, más de dos terceras partes del territorio español pertenecen a las categorías de áreas áridas, semiáridas y

subhúmedas secas, por lo que son zonas susceptibles de sufrir desertificación. En consecuencia, es sintomático que el retroceso de las zonas mediterráneas esté asociado a dificultades cada vez mayores para producir uvas con la necesaria cantidad y calidad, debido a condiciones de temperatura y precipitaciones cada vez más restrictivas, asociadas a menores rentabilidades del cultivo (Compés y Cervera, 2018).

El clima de una zona determina el potencial productivo de la viña y las características del vino obtenido, especialmente su tipicidad, por el efecto en el desarrollo de los procesos de maduración y adaptación del ciclo de las variedades, por lo que un cambio climático puede originar la pérdida de la producción específica de ciertas situaciones, como denominaciones de origen, *terroir* y otras características (Sotés, 2018). Para enfrentarse a estos impactos es importante centrarse en la búsqueda de los sistemas de adaptación más adecuados a cada uno de los microclimas y regiones productoras concretas.

La viticultura es una actividad socioeconómica destacada en muchas regiones del mundo, aunque limitada a nichos climáticos específicos. Debido a que el calentamiento no es homogéneo y cada zona vitivinícola constituye un escenario propio, para mantener la viticultura en estas regiones es conveniente analizar las distintas zonas productoras de manera independiente. De esta forma, será posible identificar las principales medidas de adaptación en cada caso, y valorar su grado de aceptación.

Por todo ello, este TFM se centra en el estudio de una región productora concreta: la Denominación de Origen Protegida (D.O.) Cariñena, la D.O. vitivinícola más extensa y antigua de Aragón. Situada en pleno Valle del Ebro, cuenta con más de 14.000 ha dedicadas al cultivo de la vid, repartidas por los términos de 14 municipios cuya actividad económica ha estado tradicionalmente muy centrada en la vitivinicultura. El clima de la zona es mediterráneo continental, caracterizado por inviernos muy fríos y veranos muy calurosos.

La importancia del sector vitivinícola local queda de manifiesto si se tiene en cuenta que alrededor del 40% de la superficie total dedicada en Aragón al cultivo de la vid se localiza en esta zona (IAEST, 2020). Famosa por la concentración e intensidad de sus vinos, para conseguir la aceptación en el mercado actual, viticultores y bodegas han realizado importantes cambios en el manejo del cultivo y los procesos de elaboración, que se han ido renovando a lo largo del tiempo.

Debido a que las proyecciones climáticas para las próximas décadas indican importantes variaciones, el objetivo general de este trabajo es analizar las consecuencias que el cambio climático podría tener en la zona vitivinícola de la D.O. Cariñena. En particular, esto supone, a) estudiar los impactos climáticos y su efecto en los índices bioclimáticos asociados con el viñedo, b) estimar los costes de las principales medidas de adaptación y c) conocer la percepción de los productores. Los resultados obtenidos son de gran interés para la industria del vino de la zona –tanto viticultores como bodegas–, pero el análisis realizado es de interés también, como referencia, para otras zonas.

1.2. Objetivos

Los objetivos planteados en este Trabajo Final de Máster son:

1. Identificar y conocer de qué manera afecta el cambio climático en la zona de la D.O. Cariñena.
2. Analizar de qué manera y con qué intensidad afectará al viñedo de la zona en los próximos años según los principales índices bioclimáticos, escenarios e impactos futuros.

3. Estudiar diferentes estrategias de adaptación del viñedo y compararlas, teniendo en cuenta los costes de inversión que supondrían para los viticultores.
4. Conocer la visión de los viticultores en relación con el cambio climático y sus necesidades y expectativas sobre sus consecuencias en los próximos años.

1.3. Metodología

Para la realización de este Trabajo Final de Máster, se han utilizado fuentes primarias y secundarias.

En lo que se refiere a las fuentes primarias se ha solicitado información de las variables climáticas de la zona a la AEMET, se ha entrevistado a proveedores de servicios relacionados con las estrategias de adaptación y se ha pasado una encuesta a viticultores pertenecientes a distintas bodegas de la D.O. En relación con el segundo punto, cuando ha sido posible, se ha entrevistado a dos proveedores con el fin de poder realizar una comparación y obtención de datos medios. En relación con el tercero, se entrevistó personalmente a 20 viticultores.

Por lo que se refiere a las fuentes secundarias, se ha realizado una búsqueda bibliográfica de impactos del cambio climático sobre el sector vitivinícola, haciendo especial hincapié en la zona de estudio. Asimismo, la revisión de la literatura ha abarcado estudios y proyectos relacionados con estrategias de adaptación en el sector.

1.4. Estructura

Este trabajo se compone de cinco capítulos:

Capítulo 1: Introducción.

Capítulo 2: Estudio de la evolución de los parámetros ambientales relacionados con el viñedo en Cariñena –cambios de temperatura, precipitación e índices bioclimáticos desde 1970 hasta la actualidad–, así como escenarios e impactos previstos para los próximos años.

Capítulo 3: Análisis de posibles medidas de adaptación al cambio climático, tanto de las prácticas y tecnología enológicas, como del manejo del cultivo; realizando, además, un análisis económico comparativo de cuatro medidas de adaptación, las cuales suponen costes de inversión:

1. Cambios del riego.
2. Cambios de cambio de variedad.
3. Cambios de replantación.
4. Cambios de deslocalización del viñedo.

Capítulo 4: Encuesta de la visión de los viticultores con respecto al cambio climático.

Capítulo 5: Conclusiones.

2. Evolución de las temperaturas y las precipitaciones en Cariñena

2.1. Introducción: modelo de caracterización climática

Dada la importancia del clima en la vid, cualquier modificación de las condiciones ambientales de una región puede modificar el equilibrio entre el suelo y la planta, causando alteraciones en la fenología de la vid; así como también en los patrones de enfermedades y plagas, en el potencial de maduración y, en definitiva, en el rendimiento de la vid y en la calidad de la uva (Jones et al., 2005). Los factores climáticos claves en la composición de la baya son la temperatura, la iluminación y la pluviometría.

La vid posee un óptimo térmico entre los 9 y los 18°C, aunque estos límites dependen de las variedades, los patrones y las condiciones específicas del entorno. Para permitir la adecuada maduración de la uva, las temperaturas deben superar al menos los 18°C a partir del enero. Las necesidades medias de calor requeridas por las principales variedades vitícolas están entre los 2.900 y los 3.100°C (Salazar y Malgarejo, 2005). Las necesidades de luz de la vid son muy altas, siendo una planta de días largos cuyos requerimientos básicos se sitúan entre las 1.200 y las 1.800 horas.

Por otra parte, aunque la vid es una planta que soporta muy bien la sequía, especialmente si es progresiva, para cubrir sus necesidades básicas requiere entre 500 y 600 mm de agua disponible. Muchas veces estos valores no se alcanzan, llegando a tener que producir –en algunas zonas– con menos de 330 mm anuales. El reparto de las lluvias en el ciclo vegetativo es tanto o más importante que la pluviometría total en sí misma (Salazar y Malgarejo, 2005).

La D.O. Cariñena, localizada en el sector occidental de la provincia de Zaragoza, a medio camino entre la Depresión del Ebro y el Sistema Ibérico, presenta un clima mediterráneo continental, cuyos rasgos más sobresalientes son, en primer lugar, la aridez, condicionante histórico para la ocupación del territorio. En segundo lugar, la escasez de precipitaciones, con medias anuales reducidas de entre 350 y 550 mm, y sometidas a una elevada irregularidad interanual, una característica propia de todos los climas con matices mediterráneos, por la que, a años muy secos, pueden seguir otros lluviosos, lo que anula toda significación agronómica de los valores pluviométricos medios. En tercer lugar, como consecuencia del alto grado de continentalidad de la región, los contrastes térmicos que se establecen entre un invierno frío y severo y un verano cálido y prolongado son muy elevados, existiendo una notoria amplitud térmica anual y diaria. Y, por último, como cuarto rasgo característico, no podemos dejar de señalar el viento, en particular la intensidad y frecuencia del cierzo, viento del noroeste dominante en la región (Gobierno de Aragón, 2007), que incide en el régimen de precipitaciones, y da lugar a un paisaje semiárido característico, suavizado en determinadas zonas por la orografía (Tonietto et al., 2012).

Los viñedos pertenecientes a la D.O. Cariñena se encuentran repartidos entre los 14 municipios que la componen, y están situados entre, aproximadamente, los 400 metros y los 800 metros de altitud. Como consecuencia, existen notables diferencias en las características climáticas de las distintas subzonas en las que se distribuyen las parcelas de viñedo de la comarca (Anexo 1).

Así, por ejemplo, Alfamén es la localidad situada a menor altitud de toda la D.O. (373 metros), por lo que, al comparar sus características climáticas básicas con otra, donde se sitúan los viñedos más elevados, como es Encinacorba (766 metros), se constatan diferencias notables respecto a la temperatura media anual, unos 1,6°C. Asimismo, al comparar la precipitación anual, existe también una importante diferencia de unos 121 mm (Tabla 1).

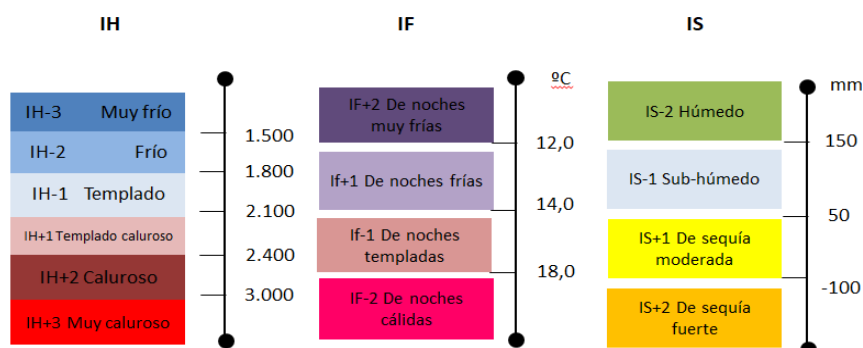
Tabla 1. Diferencias climáticas entre diferentes altitudes de la D.O. Cariñena

Localidad	Altitud (m)	Tª media anual (°C)	Precipitación media anual (mm)
Alfamén	373	14,2	365
Muel	428	14	343
Mezalocha	488	13,6	360
Alpartir	497	13,6	410
Longares	530	13,7	394
Villanueva de Huerva	533	13,2	361
Tosos	587	12,8	389
Cariñena	591	13,6	436
Almonacid de la Sierra	583	14	412
Cosuenda	618	13,3	467
Aguarón	650	13,1	489
Paniza	700	12,6	439
Encinacorba	766	12,6	486
Aladrén	775	12,4	424

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Caracterización de las comarcas agrarias de España, tomo 51, provincia de Zaragoza, E.T.S.I.A UPM y Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2013)

Para la caracterización del clima de la zona de estudio de este trabajo, tanto en la actualidad, como en un futuro próximo, se ha utilizado el Sistema de Clasificación Climática Multicriterio Geovitícola (CCMG) (Tonietto y Carbonneau, 2004). Se trata de un sistema de clasificación climática de regiones vitícolas basado en la integración de los tres índices bioclimáticos más importantes: el Índice de Huglin, el Índice de Frescor Nocturno y el Índice de Sequía, mostrados en la Ilustración 1.

Ilustración 1. Grupos climáticos del Sistema CCM Geovitícola para los índices IH, IF y IS



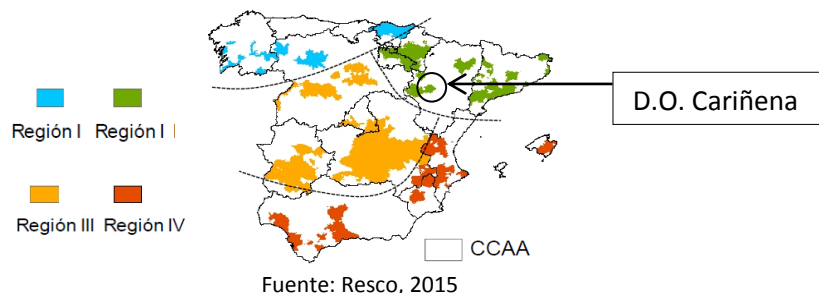
Fuente: Elaboración propia a partir de Tonietto y Carbonneau, 2004.

La temperatura del aire, el frescor nocturno y la disponibilidad de agua tienen gran influencia en la maduración; por ello, estos índices suponen una herramienta muy útil para definir el potencial productivo de una región concreta. Asimismo, permiten estimar adecuadamente los efectos potenciales del cambio climático en el viñedo, determinando la idoneidad de ciertas variedades y estilos de vino, así como también definir cambios en el *terroir* en los distintos escenarios futuros de cambio climático (Santos et al., 2012). Debido a la complejidad de los procesos de maduración de la uva, es conveniente combinar diferentes índices que proporcionan información complementaria.

Esta metodología, junto con los datos de escenarios regionales del proyecto ESCENA, ha sido usada por Resco *et al.* (2014) para evaluar los efectos del cambio climático en las diferentes regiones de España, agrupándolas geográficamente según comportamientos climáticos homogéneos en cuatro zonas (Ilustración 2). Según este trabajo, la D.O. Cariñena pertenece a

la región II, correspondiente al noreste peninsular, donde los impactos negativos son algo menores que en el caso de la región I (Sur peninsular), salvo en el caso de la sequía.

Ilustración 2. Regiones vitivinícolas españolas diferenciadas según su comportamiento climático¹



Para realizar la clasificación climática de la zona de estudio se consideran las variaciones producidas en las condiciones climáticas de la región en los últimos años, y el impacto que tienen sobre el viñedo. Los datos climáticos utilizados provienen de la AEMET.

En primer lugar, se ha delimitado la zona de estudio a la localidad de Cariñena, el centro de esta comarca vitícola, ya que en ella se concentra más del 33% de la superficie de viñedo de la D.O. Además, está localizada a una altitud intermedia (591 m), presentando una temperatura promedio de 13,6 °C y precipitaciones medias anuales de 436 mm (Tabla 2).

Tabla 2. Histórico Datos climáticos de Cariñena

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tª mínima (°C)	1,1	1,5	4,1	6,2	9,7	13,8	14,9	15,1	11,7	9,6	4,2	1,6
Tª máxima (°C)	9,4	11,2	15,3	17,2	22,2	28,8	30,8	29,9	25,1	20,0	12,9	9,8
Tª media (°C)	5,2	6,3	9,7	11,7	15,9	21,3	22,8	22,5	18,4	14,8	8,6	5,7
Precipitación (mm)	24,8	26,6	24,6	55,1	57,6	39,5	17,9	18,6	30,6	44,6	35,3	27,6

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Estadísticas de clima y datos climatológicos, IAEST (2020)

El conjunto de datos climáticos analizados procede de dos estaciones climáticas situadas a diferentes altitudes (Tabla 3). La Estación 1 se localiza a menor altitud que la Estación 2, por lo que los registros térmicos de ambas se han analizado de forma independiente².

Tabla 3. Características de las estaciones climáticas de las que se han obtenido los datos analizados

	Nombre	Altitud (msnm)	Serie de años con datos
Estación 1	“La Pardina”	496	1970-1989
Estación 2	“Comarcal 2”	595	1990-2019

Fuente: Elaboración propia a partir de AEMET

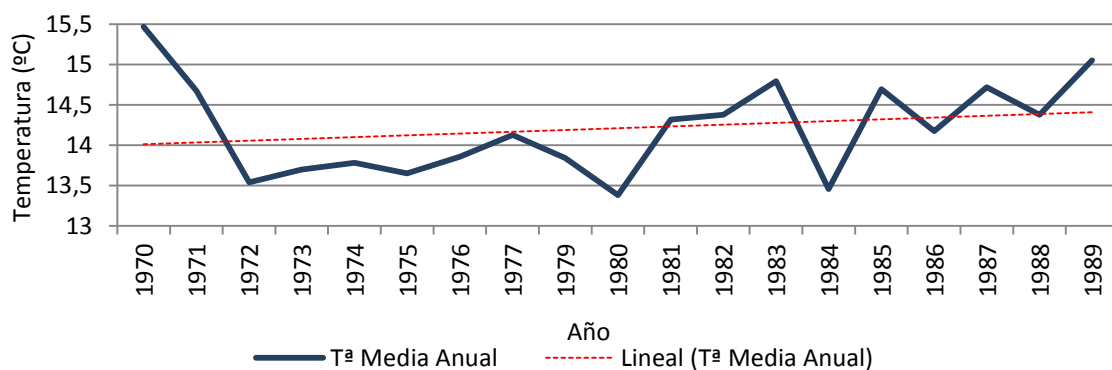
¹ El mapa que se ofrece en esta figura se ha realizado para concentrar toda la diversidad climática existente en la Península ibérica, la cual determina grandes diferencias en la viticultura de España. Para ello, se agrupan las 56 D.O. existentes en cuatro regiones agroclimáticas principales, teniendo en cuenta criterios de proximidad y homogeneidad dentro de la clasificación climática de Köppen-Geiger.

² Existen dos series de datos diferentes registradas por dos estaciones distintas, debido a que la AEMET, como autoridad meteorológica en España, diseña una red nacional de estaciones meteorológicas atendiendo a diversos criterios. La instalación de un nuevo punto de observación y sustitución de otro, como es el caso, puede ser acorde a las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), y además se tienen en cuenta los recursos económicos y humanos disponibles para una adecuada atención como servicio público.

2.2. Evolución histórica de las temperaturas e índices bioclimáticos entre 1970 y 2019

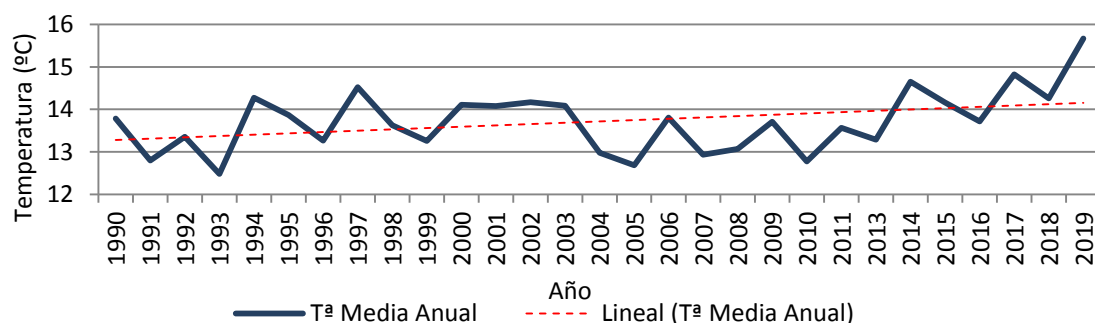
Las observaciones climáticas de estos 50 años demuestran que la región vitivinícola de Cariñena no es inmune al calentamiento global. Como muestran los Gráficos 1 y 2, la temperatura media anual se ha visto incrementada durante los dos periodos de tiempo estudiados de manera independiente, presentando ambas tendencias crecientes, aunque con elevada irregularidad. Durante el primer periodo de tiempo (1970-1989, estación La Pardina, a 496 metros) la temperatura media anual aumentó 0,4°C. En el segundo (Comarcal 2, a 595 metros), se observa un mayor incremento de las temperaturas, de 0,8°C.

Gráfico 1. Evolución de la temperatura media anual en Cariñena (1970-1989)



Fuente: Elaboración propia a partir datos de AEMET

Gráfico 2. Evolución de la temperatura media anual en Cariñena (1990-2019)



Fuente: Elaboración propia a partir datos de AEMET

Utilizando los datos de temperaturas, se ha calculado el Índice de Huglin (IH), que permite evaluar las posibilidades heliotérmicas de un medio vitícola³, mediante la siguiente expresión:

$$IH = \sum[(Ta - 10^{\circ}C) + (Tm - 10^{\circ}C)] * \frac{k}{2}$$

- Ta: Temperatura media diaria
- Tm: Temperatura máxima diaria
- K: Coeficiente de longitud del día, que varía de 1,02 a 1,06 entre los 40 y 50º latitud

³ El índice de Huglin o Heliotérmico (HI) muestra la relación entre las diferentes zonas vitícolas con el potencial de azúcares de la uva obtenida, debido a que la fenología de la vid puede ser trazada como la suma de las temperaturas activas, lo que permite la división en zonas que representan correctamente las diversas calidades de la uva y algunas de las características del vino como resultado de la influencia climática. Por tanto, este índice caracteriza la idoneidad en general del tipo de viticultura y de las variedades en particular en localizaciones concretas.

En el caso del primer período 1970-1989, en la estación situada a 496 metros de altitud, se obtiene un valor medio de 2399,56°C, por lo que el período analizado, en su conjunto, puede clasificarse como IH+1 –Templado caluroso–. A pesar de ello, este valor se aproxima mucho al límite para clasificarlo como IH+2, y debido a las diferencias que existen en los diferentes años, si estos se estudian por separado, algunos se clasifican como calurosos (>2400) (Anexo 2).

Esto mismo ocurre en el periodo 1990-2019, en la estación climática situada a 595 metros, obteniéndose un valor medio de 2246,38°C, por lo que se clasifica como IH+1, que corresponde a Templado caluroso, coincidente con el de la serie anterior. Si se analizan los años de manera individual, alguno de ellos también se clasifica como caluroso (IH+2). Asimismo, en los últimos 30 años este índice ha aumentado en más de un 12%.

Por otra parte, el Índice de Frescor nocturno (IF) permite la valoración cualitativa de las potencialidades de una región para producir vinos de buen color y aroma⁴. En el caso del hemisferio norte se corresponde con la media de las temperaturas mínimas (°C) del mes de septiembre.

$$IF = T^a \text{ mínima septiembre}$$

En este caso, ambas series de años obtienen valores medios similares: 12,89°C y 12,39°C respectivamente. Por ello, prácticamente todos los años estudiados se clasifican como IF+1, que corresponde a la categoría “De noches frías”.

Otro de los índices más usados en viticultura es el Índice de Winkler (IW), que expresa la fenología de la vid como la suma de las temperaturas activas. Es una técnica para clasificar el clima de las regiones de cultivo mediante la suma de calor, y se calcula mediante:

$$IW = \sum(T_{md} - 10)$$

- T_{md}: Temperatura media diaria

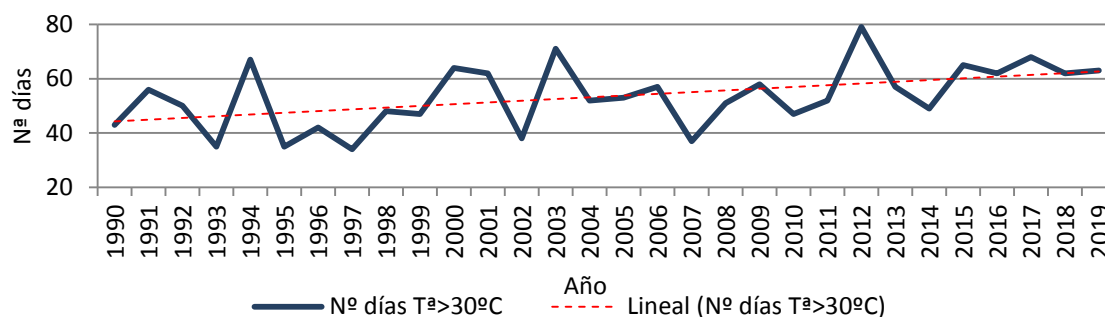
En Cariñena, analizando la serie histórica de temperaturas y, con ellas, obteniendo las temperaturas eficaces del periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de octubre, se calcula el Índice de Winkler de cada uno de los años analizados. En las dos series de años estudiadas se obtienen unos valores medios de 1799,67°C y 1662,92°C respectivamente, por lo que se considera que se corresponde con una zona III (1650-1926°C); es decir, un ambiente templado-cálido, favorable para la producción de excelentes vinos dulces y buenos vinos comunes en los suelos más fértiles (Winkler *et al.*, 1944). Sin embargo, el Anexo 3 muestra como en las tres últimas décadas el valor ha aumentado en más de un 18%, lo cual indica que el valor de la integral térmica eficaz está cambiando, y con ello, también lo hace la tipología de los vinos allí producidos.

Otro parámetro climatológico de interés para la viticultura son las temperaturas excesivamente altas durante largos periodos de tiempo, ya que pueden dañar la calidad, provocando la desecación de racimos y hojas (Mori *et al.*, 2007). A la hora de analizar los cambios en la exposición a esas temperaturas, y el riesgo de olas de calor, se ha seleccionado un índice para evaluar el aumento en la frecuencia de días cálidos (T_{max}> 35°C) (Resco, 2015).

⁴ La vid no es una planta exigente en horas frío, estas varían entre 300 y 600 según variedades. Pero las diferencias de temperatura entre noche y día son muy importantes durante el periodo de maduración para obtener una adecuada calidad. Los días cálidos aumentan la tasa fotosintética, acelerando el metabolismo de ácidos y la producción de aromas, y las noches frías provocan una degradación lenta del ácido málico, una buena retención de azúcares y un metabolismo menor de componentes como antocianos, por lo que los contrastes fuertes entre día y noches son necesarios para obtener un buen equilibrio en los componentes de la uva.

Durante los 50 años analizados, el número de días con temperaturas superiores a 35°C ha seguido una tendencia ascendente, como muestra el Gráfico 3. En particular, durante los últimos 30 años, y a pesar de las intensas variaciones interanuales, el incremento ha sido muy acusado, de alrededor de un 35%.

Gráfico 3. Evolución del número de días con temperaturas superiores a 35°C (1990-2019)

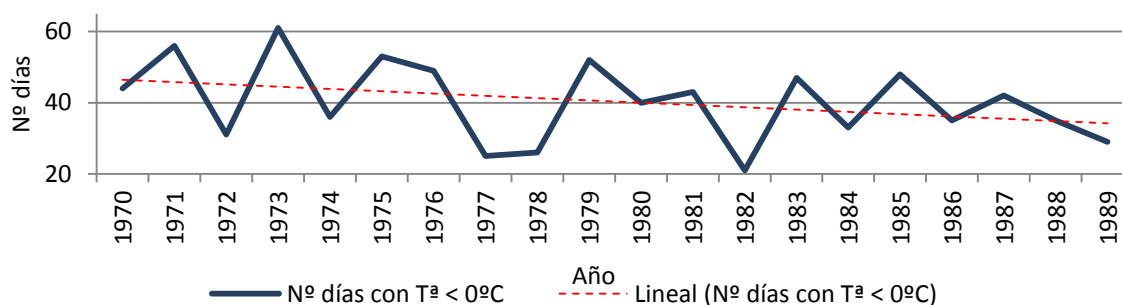


Fuente: Elaboración propia a partir datos de AEMET

En materia de temperaturas mínimas, la vid es una planta sensible a las heladas. Las invernales, siempre que no superen los niveles de sensibilidad -es decir, alrededor de -12°C para las yemas y de -16°C/-18°C para la madera-, se consideran positivas, ya que favorecen una parada vegetativa de calidad (Resco, 2015). En cambio, las heladas primaverales son uno de los riesgos que más preocupan a los viticultores, ya que las variedades generalmente cultivadas sólo resisten, en periodo de vegetación, temperaturas de hasta -1,5°C.

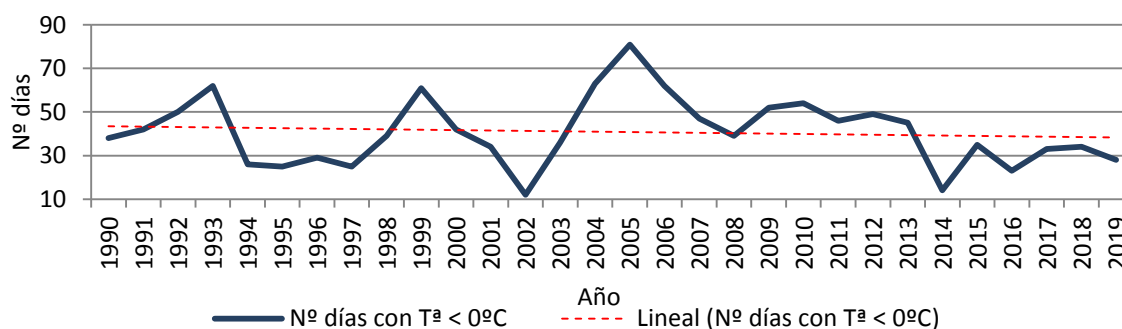
Por ello, estudiando el número de días con temperaturas mínimas < 0°C se puede estimar tanto el riesgo de heladas como la calidad del reposo invernal. En los Gráficos 4 y 5 se observa que en ambos periodos, y aunque con una elevada variabilidad, la tendencia es decreciente, resultando más intensa en el periodo 1970-1989.

Gráfico 4. Variación en el número de días con temperatura inferiores a 0°C (1970-1989)



Fuente: Elaboración propia a partir datos de AEMET

Gráfico 5. Variación en el número de días con temperatura inferiores a 0°C (1990-2019)

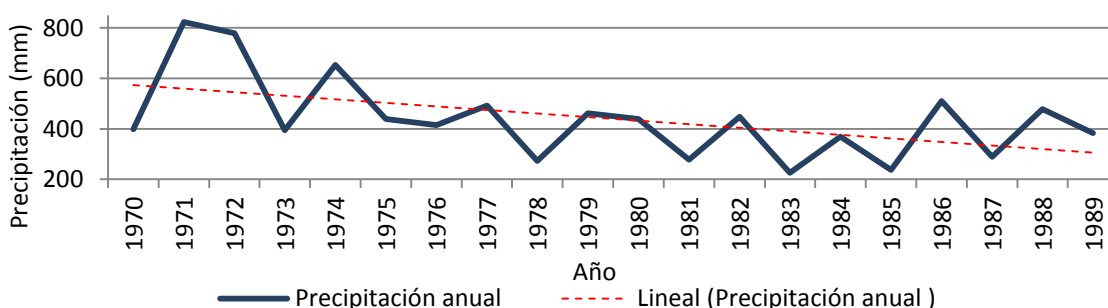


Fuente: Elaboración propia a partir datos de AEMET

2.3. Evolución de las precipitaciones en el período 1970-2019

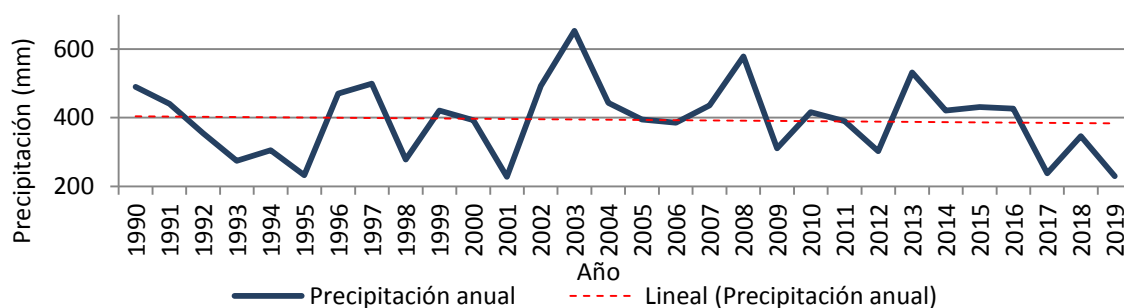
En materia de precipitaciones, y con una muy acusada irregularidad, en los últimos años se ha registrado un descenso (Gráficos 6 y 7), mucho más acusado en el primer periodo 1970-1989, reduciéndose prácticamente a la mitad. Lo cual, acompañado del incremento de las temperaturas, supone uno de los factores más limitantes para el viñedo en la zona, al producir un aumento de la evapotranspiración que incrementa el déficit hídrico en las fases herbáceas de la baya y en la maduración. La consecuencia es un acortamiento y aceleración del crecimiento de la uva, seguido de una rápida maduración, y con menor oscilación térmica diaria, una disminución de la acidez y un aumento del contenido en azúcar en menos tiempo (Sotés, 2018), así como la consiguiente pérdida de rendimiento en la producción.

Gráfico 6. Variaciones registradas en las precipitaciones anuales acumuladas (1970-1989)



Fuente: Elaboración propia a partir datos de AEMET

Gráfico 7. Variaciones registradas en las precipitaciones anuales acumuladas (1990-2019)



Fuente: Elaboración propia a partir datos de AEMET

Por último, en este apartado se calcula el Índice de Sequía (IS), el cual determina el potencial de maduración y de calidad en base al contenido de agua en el suelo. Se calcula mediante la siguiente expresión (Tonietto y Carbonneau, 2004):

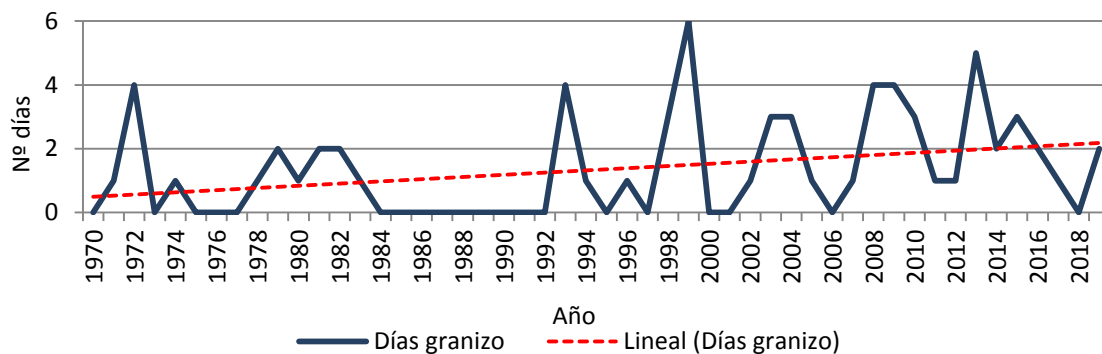
$$IS = W = W_0 + P - T_v - E_s$$

- W: Reserva estimada de agua en el suelo al final del periodo
- W₀: Reserva inicial de agua en el suelo
- P: Precipitación
- T_v: Transpiración potencial del viñedo
- E_s: Evapotranspiración directa a partir del suelo

En el caso del primer periodo (1970-1989), se ha obtenido un valor medio de -38,12 mm, por lo que pertenece a la clasificación IS+1, que se corresponde con la categoría “De sequía moderada”. De igual manera, el segundo periodo da un valor que corresponde a la misma clasificación, de -39,86 mm. En ambos, este índice ha sufrido una disminución importante, siendo mucho más notable en el primer periodo, del 750%.

También es necesario considerar los episodios de tormentas con pedrisco, que causan daños directos en el cultivo, suponiendo en la mayoría de ocasiones grandes pérdidas económicas para los viticultores. En los últimos años, estos episodios han aumentado de forma notable, incrementándose aproximadamente 1,5 días al año entre 1970 y 2019 (Gráfico 8).

Gráfico 8. Variación en los días con tormentas de pedrisco producidos a lo largo de los años (1970-2019)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de AEMET

2.4. Escenarios e impactos previstos para 2040-2050

Una vez analizados los cambios históricos de temperaturas y precipitaciones en la zona de Cariñena, y obtenidos algunos indicadores bioclimáticos de interés para la viticultura a partir de ellos, es interesante analizar qué puede ocurrir en el futuro en materia climática. De hecho, muchas decisiones productivas relativas a las nuevas plantaciones, su diseño o las variedades empleadas, entre otros parámetros, deberían tener en cuenta esta información.

Sin embargo, el clima futuro dependerá del calentamiento derivado de las emisiones antropógenas en el pasado, así como de las futuras, y de la variabilidad climática natural (IPCC, 2014). Existen numerosas proyecciones climáticas para la década de los cincuenta, que indican un aumento de la temperatura, una gran variabilidad de las precipitaciones y un gran incremento de las olas de calor y sequía en gran parte de España, así como una mayor frecuencia de episodios extremos, heladas y pedriscos, con grandes diferencias regionales debido a su compleja topografía. España es una de las regiones europeas con mayores impactos potenciales por escasez de agua e incrementos de estrés térmico (Giorgi, 2006). Este calentamiento no es homogéneo, siendo mayor en zonas interiores como la D.O. Cariñena, tal y como se va a analizar en este apartado. De igual manera, el comportamiento general de las precipitaciones empeora en los próximos años, siendo la tendencia en España un descenso de las precipitaciones respecto de la situación actual y al periodo desde 1951 hasta 2000 (Sotés, 2018).

En el año 2006 se aprobó en España el llamado Plan Nacional de Adaptación al cambio climático (PNACC) con el fin de facilitar a los agentes económicos información de utilidad para diseñar estrategias de adaptación. La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) se encargó de generar los primeros escenarios regionalizados para la geografía española, haciendo uso de resultados provenientes de proyectos europeos como PRUDENCE, ENSEMBLE o STARDEX (Gaertner et al., 2012). Asimismo, dentro de este plan también se ha desarrollado una nueva generación de escenarios regionales como son ESTCENA y ESCENA.

Para obtener datos del clima futuro en la D.O. Cariñena se ha recurrido al visor de escenarios de cambio climático (<http://escenarios.adaptecca.es>), desarrollado en el marco del PNACC, orientado a facilitar la consulta de proyecciones regionalizadas de cambio climático para España, en el marco de la iniciativa Escenarios-PNACC 2017. Esta iniciativa integra los

resultados de distintos proyectos internacionales de regionalización dinámica y estadística como Euro-CORDEX y VALUE, con las proyecciones nacionales desarrolladas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y por el Grupo de Meteorología de Santander (CSIC – Universidad de Cantabria).

Debido a que las viñas son cultivos perennes con una vida útil productiva de 30 a 50 años, el alcance temporal de las opciones de adaptación se debe adaptar a estos plazos (Nicholas y Durthman, 2012), por lo que el período seleccionado para analizar el clima futuro es el 2021-2050, que supone un escenario futuro de medio plazo. Asimismo, el periodo de referencia⁵ o control elegido, para comparar las variaciones producidas es el 1971-2000.

Con esta información se puede hacer una estimación del impacto que puede tener el cambio climático para la viticultura de la zona por medio del análisis de las variaciones en índices agroclimáticos, que determinan su potencial vitícola en el futuro medio.

En la Tabla 4 se muestran los valores medios del Índice de Huglin para cada uno de los periodos analizados.

Tabla 4. Valores del Índice de Huglin y clasificación climática para los diferentes casos estudiados

Periodo histórico (1971-2000)	2198,99	IH+1: Templado caluroso
Escenario futuro RCP 4.5 (2021-2050)	2612,84	IH+2: Caluroso
Escenario futuro RCP 8.5 (2021-2050)	2681,52	IH+2: Caluroso

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de <http://escenarios.adaptecca.es>

En primer lugar, teniendo en cuenta la evolución dentro del periodo de referencia (1971-2000), el valor aumenta alrededor de un 12% (Anexo 4), clasificándose su valor medio como IH+1: Templado caluroso (2100-2400°C), en el que las variedades más tardías como Garnacha, pueden madurar, ya que en principio no hay limitación heliotérmica para que puedan madurar todas las variedades cultivadas.

Por otro lado, al tener en cuenta los dos escenarios futuros, se observa un notable incremento del índice (Anexos 5 y 6), en el caso de RCP 4.5 del 10%, y en el caso de RCP 8.5 del 16%, por lo que ambos pasan a clasificarse como IH+2: Caluroso (2400-3000°C). Así pues, sufren un empeoramiento de las condiciones climáticas, estando caracterizados por un potencial heliotérmico que supera las necesidades para madurar de las distintas variedades, incluso las más tardías, existiendo algunos riesgos asociados de estrés.

En segundo lugar, en la Tabla 5 se resumen los valores medios del Índice de Frescor nocturno obtenidos para cada uno de los periodos.

Tabla 5. Índice de Frescor nocturno y clasificación climática para los diferentes casos estudiados

Periodo histórico (1971-2000)	12,03	IF+1: De noches frías
Escenario futuro RCP 4.5 (2021-2050)	15,02	IF-1: De noches templadas
Escenario futuro RCP 8.5 (2021-2050)	15,73	IF-1: De noches templadas

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de <http://escenarios.adaptecca.es>

El valor medio obtenido para el periodo de referencia lo clasifica como IF+1, que supone una categoría “De noches frías” (12-14°C), habiendo aumentado este índice en más de un 10%

⁵ Al comparar los datos climáticos obtenidos a partir del visor (<http://escenarios.adaptecca.es>) para el periodo de referencia, y los de las dos estaciones climáticas de AEMET utilizados en el apartado anterior, se ha visto que ambos son coincidentes. Por lo que en este apartado se ha optado por utilizar los del visor para confrontarlos así con los de los escenarios futuros obtenidos a partir de la misma fuente.

durante este tiempo (Anexo 7). Además, al analizar de manera individual cada uno de los años, alguno está dentro de la clasificación IF+2 -De noches muy frías-, al presentar valores medios por debajo de los 12°C. En este caso, las temperaturas nocturnas son bajas y el efecto positivo de las mismas depende, sobre todo, de un potencial heliotérmico que pudiera garantizar un buen nivel de maduración de la uva de las diferentes variedades cultivadas. En cambio, en la clasificación IF+1, la maduración se produce, en general, en un umbral máximo de temperatura nocturna favorable, que excede al de cualquier variedad.

En cambio, en los dos escenarios futuros estudiados, el valor medio del periodo para el índice, se encuentra dentro de la clasificación IF-1-De noches templadas-, en la que las variedades más tardías madurarán en condiciones de temperatura nocturna más bajas que las tempranas. Por tanto, el índice se ha incrementado en los dos escenarios respecto al periodo de control (Anexos 8 y 9), siendo el aumento del escenario RCP 8.5 bastante más acusado, alrededor de un 7%.

En tercer lugar, en la Tabla 6 se muestran los datos medios obtenidos al calcular el índice de sequía para cada uno de los periodos y escenarios analizados.

Tabla 6. Valores del Índice de Sequía y clasificación climática para los diferentes casos estudiados

Periodo histórico (1971-2000)	-59,38	IS+1: De sequía moderada
Escenario futuro RCP 4.5 (2021-2050)	-102,92	IS+2: De sequía fuerte
Escenario futuro RCP 8.5 (2021-2050)	-108,03	IS+2: De sequía fuerte

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de <http://escenarios.adaptecca.es>

El valor medio para el periodo de referencia pertenece a IS+1 -De sequía moderada-, donde la vid se enfrenta a un cierto nivel de sequía, produciéndose una regulación estomática significativa, la cual es generalmente favorable para la maduración. En ciertos casos, puede hacerse uso de riego de manera puntual. Durante este periodo (1971-2000), el índice ha disminuido notablemente, alrededor de un 490% (Anexo 10). En cambio, los dos escenarios futuros pasan a clasificarse como IS+2 -De sequía fuerte (>-100 mm)-, donde en la mayoría de casos el riego es una práctica necesaria debido al frecuente estrés hídrico existente en estas condiciones. En ambos se ha producido un descenso del índice (Anexos 11 y 12), siendo en el caso del escenario RCP 8.5 más notable, sobre un 102%, lo que indica que la sequía será cada vez un factor más limitante para el cultivo del viñedo en la zona.

En resumen, según los resultados del estudio meteorológico realizado durante las últimas décadas -1970-2019-, se observa que las condiciones climáticas de la zona están sufriendo cambios que perjudican el cultivo del viñedo. En primer lugar, la temperatura media ha aumentado, lo cual se indica en la creciente evolución de los Índices de Hugin, de Frescor nocturno y de Winkler. En segundo lugar, la tendencia de las precipitaciones es decreciente, observándose un descenso importante en la evolución del Índice de Sequía analizado.

Por todo ello, puede concluirse que en los últimos 50 años la climatología de la zona ha sufrido variaciones importantes, aumento de las temperaturas junto a un acusado descenso de las precipitaciones medias, lo cual provoca que el factor más limitante para el cultivo de la vid en la zona sea en la actualidad el continuo incremento del déficit hídrico. Asimismo, el incremento de las temperaturas máximas, la tendencia decreciente de las heladas invernales y el aumento de fenómenos meteorológicos como granizo, suponen también importantes inconvenientes para la idoneidad del cultivo. A pesar de todo ello, según la clasificación de Tonietto y Carboneau (2004), las condiciones climáticas propias de la zona en la actualidad, teniendo en cuenta los resultados medios obtenidos para los índices bioclimáticos (IH+1, IF+1, IS+1), clasifican a la D.O. Cariñena como una zona vitícola de alto potencial climático.

En cambio, los dos escenarios futuros (RCP 4.5 y RCP 8.5) presentan grandes similitudes entre ellos, pero importantes variaciones climáticas respecto al periodo de referencia analizado. Los diferentes resultados obtenidos para los índices bioclimáticos en los próximos años, se encuadran en todos los casos en clases de clima calificados como no favorables: IH+2, IF-1, IS+2. Esto provoca que en un futuro relativamente cercano (2021-2050), la D.O. pase a clasificarse como una zona de bajo potencial climático, acarreando mayores dificultades en la idoneidad de las variedades allí cultivadas, así como alteraciones en la tipicidad de los vinos producidos.

En consecuencia, como resultado de las variaciones proyectadas por los escenarios de cambio climático analizados, con el fin de mantener la viticultura de la zona será necesario realizar esfuerzos de adaptación medios y altos (Tabla 7).

Tabla 7. Evaluación de las necesidades de adaptación como resultado de los cambios proyectados en los índices de Huglin, Frescor Nocturno y de Sequía

Índices bioclimáticos	Clima actual (1971-2000)	Escenario de impacto medio	Escenario de mayor impacto	Esfuerzo de adaptación
IH	Templado cálido	Caluroso	Caluroso	Medio
IF	Noches frías	Noches templadas	Noches templadas	Medio
IS	Sequía moderada	Sequía fuerte	Sequía fuerte	Medio-Alto

Fuente: Elaboración propia a partir de Resco et al., 2015.

Teniendo en cuenta el Índice de Huglin, la región pasa a tener una estación de crecimiento cálida, caracterizada por un potencial que supera las necesidades heliotérmicas necesarias para que madure cualquier variedad, pero que a su vez conlleva riesgos asociados a estrés, por lo que se consideran posibles restricciones en cuanto a variedades, sobre todo de maduración temprana, así como desequilibrios en los vinos producidos. Asimismo, en el caso del Índice de Frescor Nocturno, la clasificación de noches templadas provoca que los contrastes entre día y noche durante el periodo de maduración no sean tan fuertes, lo cual se considera negativo, ya que las noches frías impiden que la maduración se acelere demasiado y permita obtener un buen equilibrio en los componentes de la uva. Y por último, respecto al Índice de Sequía, al clasificarse como sequía fuerte, se producirán efectos de estrés frecuentes, por lo que técnicas del cultivo como el riego pasarán a considerarse necesarias para poder mantener la calidad y el rendimiento.

En conclusión, las condiciones climáticas de la zona están cambiando como resultado de un calentamiento continuo, por lo que su idoneidad productiva se está viendo afectada. Por ello, estas variaciones climáticas provocarán mayor sensibilidad y vulnerabilidad en el cultivo de la vid en la zona. Lo cual provoca la necesidad de análisis de diferentes estrategias de adaptación para mantener la viabilidad del cultivo en la zona, así como la calidad de su producción.

3. Análisis económico de las medidas de adaptación

3.1. Consecuencias del cambio climático en el sector vitivinícola

Las variables meteorológicas en la producción del viñedo presentan efectos tanto negativos como positivos (Neethling *et al.*, 2016). En el caso de la zona estudiada, al ser una región mediterránea, predominan los negativos:

- El aumento de las temperaturas acelera los periodos de crecimiento y reduce el riesgo de sufrir heladas. En cambio, aumenta el estrés térmico, disminuyendo la calidad de la uva (menor acidez, color y taninos), aumentando el grado alcohólico, produciendo exceso de desarrollo vegetativo, mayor riesgo de incendios, aumento de plagas e incremento de la variabilidad de rendimientos.
- La disminución de las precipitaciones aumenta la frecuencia de sequías, incrementa el riesgo de incendios, aumenta el déficit hídrico, y también disminuye los rendimientos.
- El aumento de lluvias intensas, o tormentas, incrementa el contenido de agua en el suelo, pero también puede favorecer la erosión, el riesgo de enfermedades, y producir daños directos en las plantas debido a posibles inundaciones y granizo.
- El aumento del CO₂ en la atmósfera puede provocar un posible aumento de producción de biomasa y su eficiencia en el uso del agua. Sin embargo, estudios recientes cuestionan hasta qué punto estos efectos directos del CO₂ se manifiestan en condiciones de cultivo donde la planta está sometida a condiciones limitantes de otros factores que influyen en el crecimiento (Sotés, 2018). Asimismo, en respuesta a mayor variabilidad del clima se produce un aumento de la variabilidad de la producción.

Por consiguiente, pueden plantearse nuevas técnicas culturales en el manejo del cultivo que sirven como estrategia de prevención frente al calentamiento global, y que suponen mínimas inversiones económicas. Estas técnicas están encaminadas a: 1) mitigar los efectos del estrés hídrico de las cepas y mejorar la fertilidad del suelo; 2) equilibrar el ratio desarrollo vegetativo-producción y maximizar la productividad del viñedo manteniendo altos estándares de calidad del mosto y 3) retrasar el ciclo fenológico de la vid para así desplazar los procesos de maduración hacia periodos menos calurosos y reacoplar la maduración tecnológica a la fenológica (Intrigliolo *et al.*, 2018). Estas estrategias de adaptación encajan perfectamente en un manejo sostenible del viñedo, e incluso pueden resultar interesantes como técnicas agrícolas de mitigación. Retrasar la fecha de poda, reducir el área foliar y emplear cubiertas vegetales temporales o acolchado, son algunas de ellas.

3.2. Medidas de adaptación al cambio climático en el sector vitivinícola

La adaptación al cambio climático es uno de los desafíos más importantes a los que se enfrenta el sector, por lo que además de aplicar medidas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (mitigación), es importante trabajar la adaptación, con el objetivo de mantener la productividad y garantizar la seguridad alimentaria. Estas medidas deben centrarse tanto en los efectos actuales como futuros, que han de preverse y estudiarse con antelación.

El cambio climático es un proceso continuo que supone uno de los principales problemas ambientales y socioeconómicos que enfrenta el desarrollo y la producción vitivinícola sostenible durante los próximos años (Armas, C. I., 2014). Por ello, es imprescindible la existencia de diferentes alternativas de adaptación, pudiendo suceder unas a otras, según la evolución de los problemas en cuanto a cantidad, intensidad y rapidez con la que pueden producirse. Así pues, la elección de la medida más adecuada para mantener en cantidad y calidad la producción de uva, no es nada simple.

Todas las medidas de adaptación tienen efectos más o menos marcados y, a su vez, tienen niveles distintos de posibilidad y escala de aplicación, tiempo de implantación, así como distintos costes económicos.

La correcta elección de las estrategias de adaptación en cada caso concreto depende de la magnitud del problema del cambio climático y del posible efecto que puede llegar a tener en una zona productora concreta. Estas estrategias tienen diferente aceptación debido a la capacidad económica de cada agricultor, a las características determinadas de cada una de las explotaciones y del tiempo y facilidad de implantación de cada caso concreto.

Por tanto, para enfrentarse a estos impactos sería necesario, dentro de cada mesoclima o microclima, buscar los sistemas de adaptación necesarios, desde modificaciones en las prácticas de cultivo o en las técnicas enológicas –que de forma más económica permitirían hacer frente a pequeños cambios– hasta traslados de las zonas de cultivo de la vid a sitios más frescos –jugando con la altitud y la latitud–, con grandes costes económicos y sociales (Sotés, 2018).

De esta forma, hay que distinguir entre medidas a corto plazo, que se suponen de más fácil implantación, aunque con efectos limitados ante grandes cambios, y medidas a largo plazo que requieren más inversión y tiempo de implantación.

Las adaptaciones a corto plazo pueden ser consideradas como la primera estrategia de protección contra el cambio climático, con el objetivo de optimizar la producción. En su mayoría, implican cambios en las prácticas enológicas a través de los avances tecnológicos (Lobell et al., 2006), con el objetivo de mejorar la calidad del vino producido. A medio plazo, las medidas se basan más en la gestión del viñedo, que implican más esfuerzo, pero a su vez pueden mejorar la adaptación ante cambios más pronunciados. Por último, las medidas a largo plazo pueden llegar a suponer el desplazamiento de una zona vitivinícola a una localización nueva, lo cual supone importantes esfuerzos económicos, asociados además a grandes riesgos.

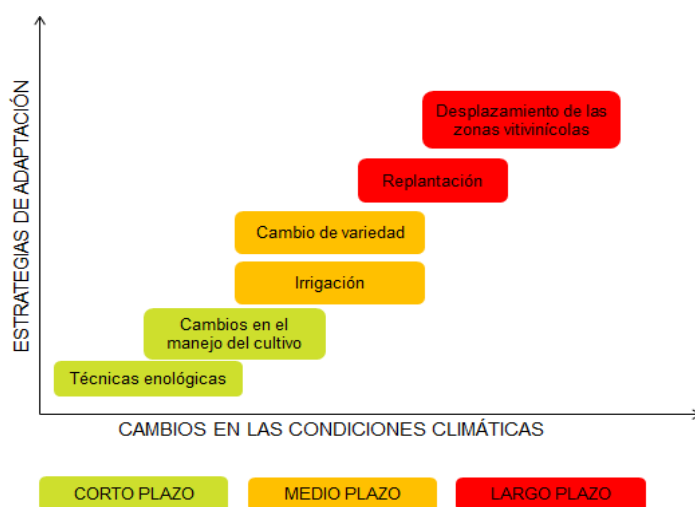
Según Sotés (2018), la mayor parte de los viticultores españoles se pueden adaptar potencialmente al cambio climático, teniendo en cuenta los avances científicos y tecnológicos y el nivel de desarrollo; sin embargo, no todas las regiones y sistemas de cultivo tienen el mismo potencial de adaptación.

Dado que cada región vitivinícola consta de contextos únicos, es esencial conocerlos junto a su interacción con el clima local para identificar las iniciativas de adaptación más adecuadas.

Las variaciones climáticas a corto plazo influyen en la calidad y propiedades del vino, en cambio, las variaciones a largo plazo afectan a la idoneidad de las variedades y determinan el potencial productivo y la sostenibilidad económica de las áreas tradicionales productoras como es la estudiada en este TFM.

En el capítulo anterior, se ha analizado la magnitud del cambio en el potencial climático para la viticultura de la región de Cariñena en las próximas décadas. Los cambios proyectados en el clima incluyen el aumento de las temperaturas y cambios en los patrones de lluvia y fenómenos meteorológicos extremos que, en conjunto, provocan que la zona vitícola en los próximos años pase a considerarse de bajo potencial climático. Como consecuencia de estos resultados, son necesarios esfuerzos de adaptación medios e incluso en algún caso, altos. Por ello, a continuación se seleccionan y analizan algunas de las diferentes estrategias de adaptación existentes (Ilustración 3), para el caso concreto de la zona estudiada.

Ilustración 3. Representación de las estrategias de adaptación a los cambios climáticos, diferenciando entre corto, medio y largo plazo.



Fuente: Elaboración propia a partir de Neethling et al. (2016)

Se han seleccionado cuatro medidas de adaptación importantes para llevar a cabo su estudio y análisis económico calculando el coste de inversión por hectárea que suponen para los agricultores, en el caso concreto de parcelas pertenecientes a la D.O. Cariñena, y conocer así la aceptación que podría tener cada una de ellas.

En un plazo medio de tiempo existen alternativas que pueden ayudar a mejorar la adaptación a cambios pronunciados:

- La implantación de sistemas de riego, buscando minimizar el estrés hídrico provocado por la falta de lluvias en estados fenológicos críticos que afectan al rendimiento y calidad de la cosecha.
- El cambio de variedades cultivadas, con el fin de retrasar la maduración de la uva y permitir que esta se produzca con temperaturas más frescas, o el uso de variedades cultivadas mejor adaptadas en función de su gradiente térmico a las condiciones climáticas del entorno.

Asimismo, las estrategias de adaptación a largo plazo implican más esfuerzo, ya que suponen costes económicos más elevados y numerosas dificultades asociadas, pero conllevan un alcance mucho mayor:

- El arranque y replantación de una viña, sustituyendo en este caso tanto la variedad como el portainjerto por otro material vegetal mejor adaptado a las condiciones del clima futuro que se prevén en la zona; y cambiando la densidad, la orientación y el manejo de la plantación.
- El desplazamiento de los viñedos a alturas y latitudes mayores, buscando temperaturas más frías y regímenes hídricos mayores.

3.3. Estudio de casos de adaptación al cambio climático en la D.O. Cariñena

3.3.1. Costes de adaptación en el riego

La precipitación media de Cariñena es de unos 436 mm anuales, y en las próximas décadas se espera que esta disminuya hasta valores medios de 254 mm, por lo que aunque la vid tradicionalmente se ha cultivado en seco, debido al aumento de las necesidades hídricas, por el aumento de la evapotranspiración y la continua disminución de las lluvias, está extendiéndose, y continuará en el futuro, el riego controlado por goteo. Pero los agricultores de la zona cada vez requieren aplicar dosis de riego más frecuentes y abundantes, incrementando la presión y competitividad por unos recursos hídricos que comienzan a escasear, por lo que el regadío es un factor clave en la adaptación del viñedo, pero a la vez supone una gran incertidumbre. Por consiguiente, la implantación de riego es una medida de adaptación importante y polémica, que debe optimizarse al máximo, teniendo en cuenta las necesidades de cada viñedo, según la parcela, variedad, patrón empleado y fase del cultivo en la que se encuentra.

En la actualidad, según el Consejo Regulador de la D.O. (2019), existen unas 8.961 hectáreas en seco, y 5.288 en regadío. Por ello, a pesar del aumento de la superficie cultivada en regadío en los últimos años, un 62,89% de la superficie total de viñedo sigue siendo de seco.

En este TFM se parte de un viñedo en seco, variedad Garnacha de 10 hectáreas, al que como estrategia de adaptación se va a implantar un sistema de riego localizado por goteo con fertirrigación, el más habitual en la zona, resultando los costes totales de 8528,1€/ha (Tabla 8).

Tabla 8. Costes de instalación de riego

Costes de instalación de riego en 10 ha de viñedo					
		Unidad	Unidades/ha	Precio/unidad	Precio total
	Perforación (diámetro menor de 250mm)	m	25	125	3125 €
	Entubación de sondeo con tubo de chapa lisa A42-B (diámetro 200mm y 8mm de espesor)	m	25	60	1500 €
	Equipo de aforo	h	24	80	1920 €
Instalación riego	Bomba (2.2kW, caudal nominal 19,8m ³ /h 2900 rpm altura 25 m y rendimiento 68%) + Columna vertical de sondeo (upvc roscado modelo heavi)	unidad	1	1720	1720 €
	Excavación de zanjas para tuberías con retroexcavadora	m	5600	1,5	8400 €
	Relleno de las zanjas	m	5600	1,6	8960 €
	Equipo de fertirrigación (depósito y bombas inyectoras)	unidad	1	1600	1600 €
	Sistema de filtrado por anillas SKS	unidad	1	450	4650 €
	Contador de turbina tipo Woltmann 3"	unidad	1	200	900 €
	Válvula de mariposa de diámetro 90 mm 3"	unidad	1	70	70 €
	Electroválvulas accionadas vía radio comunicación lorawan	unidad	2	170	340 €
Instalación de riego	Tuberías primarias de 90PVC 6 atm+ montaje	m	1860	7,6	14136 €
	Tuberías secundarias de PVC d75 6atm+montaje	m	1860	6,4	11904 €
	Tuberías secundarias de PVC d63 6atm+montaje	m	1860	5,6	10416 €
	Tuberías gotero incorporado Azud premier autocompensante de 3.5l/h+ montaje	m	26000	0,30	7800 €

Instalación eléctrica y caseta	variador bpd 400v 4kw 9.5a (3 fases)	unidad	1	950	950 €
	cable exterior rv-k 1000v de 2x6 mm2	unidad	11	1,5	16,5 €
	módulo solar simax 156 sp672 - 330w	unidad	14	145	2030 €
	estructura suelo 16 placas	unidad	1	400	400 €
	10m cable rv-k 2x6mm ² con terminales multicontact t4	unidad	2	33	66 €
	latiguillo panel 8m (cable solar 4 mm ² con conectores mc4)	unidad	2	22	44 €
	fusible cilíndrico 12a 10x38 pv 900v	unidad	2	9	18 €
	Generador 5kvas diesel con arranque automatico	unidad	1	1,124	1,124 €
	Sistema de control inteligente via servidor web Scada de control,+ armario control+ mano de obra programación y montaje	unidad	1	850	850 €
	Caseta Obra de 6x6x 3m orientada a sur para mayor rendimiento solar 30ºngrados sur.	unidad	1	800	800 €
	Mano de obra (2 peones y un especialista)	h	74	36	2664 €
Total				85281 €	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CVH Instalaciones y equipos especiales S.L.

3.3.2. Costes de adaptación del cambio de variedad

La elección apropiada del material vegetal a utilizar es otra herramienta de adaptación importante. Según Morales-Castilla et al. (2020), el aumento de la diversidad de variedades de vid utilizadas por los productores a nivel local puede ser una forma poderosa de reducir las disminuciones agrícolas debido al cambio climático, pero su efectividad dependerá de las decisiones globales sobre futuras emisiones. Los resultados obtenidos en el estudio indican que la diversidad de cultivares reduciría a la mitad las pérdidas potenciales de las regiones vitivinícolas en un escenario de calentamiento de 2°C, y podría reducir las pérdidas en un tercio si el calentamiento alcanza los 4°C.

La obtención mediante selección clonal de material vegetal del que se conozca su respuesta fisiológica para cada situación ecológica es imprescindible (Savé *et al.*, 2017). Actualmente, se están llevando a cabo diferentes proyectos en esta línea, como es el caso del proyecto MINORVIN, en el cual trabajan diferentes centros de investigación de España, entre ellos el CITA. Su objetivo central es poner en valor la biodiversidad existente en 51 variedades de uva de vinificación minoritarias de todas las regiones, con el fin de evaluar su potencial sobre la adaptación de los efectos del cambio climático en la viticultura. Se busca analizar propiedades como la resistencia a la sequía, la tolerancia a enfermedades fúngicas muy dependientes de la climatología, como Mildiu y Oídio, así como el potencial enológico para diversificar la producción de vino. En el marco del proyecto se está sometiendo a estudio la variedad Parrel, que tras los resultados obtenidos en sucesivas campañas destaca como una de las variedades autóctonas de la región de Aragón con mayor potencial para su posterior desarrollo comercial atendiendo a sus propiedades agronómicas y enológicas, a su resistencia a enfermedades como el Oídio y a su capacidad de adaptación a condiciones climáticas continentales caracterizadas por elevadas oscilaciones térmicas a lo largo del año (Franco et al.,2018).

Dentro la D.O. Cariñena siguen predominando los cultivares tradicionales, ocupando alrededor del 72% de la superficie cultivada (Garnacha tinta 33,2%; Tempranillo 23,4%; Mazuela 5%; Vidadillo 0,18%, Macabeo 10,3%, Moscatel 0,22%); a pesar de ello, la superficie ocupada por

los foráneos ha aumentado notablemente en las últimas décadas, como muestra el Anexo 13. Los cultivares no autóctonos introducidos no suelen estar bien adaptados a la sequía, y en general presentan un ciclo corto y por tanto maduración precoz y muy rápida. Entre ellos cabe citar Cabernet Sauvignon, Merlot, Shirah o Chardonnay.

Por tanto, la medida de adaptación más rápida a la hora de cambiar la variedad sin tener que arrancar la viña, es mediante el reinjerto de cepas ya existentes, manteniendo el portainjerto sobre el que se establece la variedad, perdiendo de esta manera únicamente la producción de ese año.

En consecuencia, a continuación se describen tres de las variedades que se han seleccionado como las mejor adaptadas a las variaciones provocadas por el cambio climático, y por tanto, las tres supondrían una buena opción. En primer lugar, la variedad Garnacha, la más utilizada en la D.O., es una variedad que presenta maduración tardía, tolerante a la sequía, y sensible a heladas primaverales (Material vegetal, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020). Es una de las variedades que mejor tolera los veranos extremadamente secos y calurosos, existentes con gran frecuencia e intensidad en la zona. Produce un mosto abundante y equilibrado, de acidez media-alta con poco color.

Asimismo, la variedad Cariñena o Mazuela, que es una variedad tinta muy productiva, de vigor fuerte y porte erguido, resistente a la sequía, que requiere suelos secos y está adaptada a suelos pobres. Es muy exigente en potasio, sensible al Oidio y Botritis, sensible también a enfermedades fúngicas de la madera. Es muy neutra, por lo que mantiene el sabor de las variedades con las que se mezcla. Es una buena base de vinos muy alcohólicos de color intenso, tánicos y herbáceos (Salazar y Melgarejo, 2005).

De igual forma, la variedad Vidadillo o Crespiello, que es una variedad autóctona muy antigua y casi olvidada en la actualidad, sobre la que investigan y ensayan enólogos, viticultores y bodegas de la zona, con el apoyo del propio Consejo Regulador, habiéndose obtenido ya algunos vinos de calidad (Loscertales, 2009). En los últimos años, algunas bodegas de la zona están recuperando las pocas cepas existentes como materia prima casi en extinción, ya que aporta una gran singularidad al vino y, además, es una variedad que presenta una buena adaptación a los climas previstos en la región, ya que es muy rústica, de maduración tardía, aguanta largos periodos de sequía, resiste a Oidio y Mildiu, y está perfectamente adaptada a suelos muy pobres.

En el caso analizado en este TFM, el coste total de cambio de variedad es 3.751€/ha, como se muestra en la Tabla 9. El precio de la variedad a injertar, Mazuela, es el mismo que en el caso de la otra variedad resistente mencionada, Garnacha Tinta. Es necesario, además, tener en cuenta el porcentaje de fallos en los injertos a realizar, en este caso se ha estimado un 70% de éxito, por lo que se ha sumado adicionalmente un 10% de gastos en mantenimiento al coste del material vegetal a emplear y las operaciones a realizar en campo.

Tabla 9. Costes de cambio de variedad

Costes de cambio de variedad de 1 ha de viñedo				
Marco de plantación	2,2 m x 2,2 m			
Número de plantas	2000 plantas/ha			
	Unidad	Unidades/ha	Precio/unidad	Precio total
Varas de la variedad a injertar	unidad	2000	1,3	2600 €
Poda de las viñas viejas	h	20	9	180 €
Recogida y limpieza	h	10	9	90 €
Preparar y sellar injerto	h	60	9	540 €
Mantenimiento			10%	341 €
Total				3751 €

Fuente: Elaboración propia con datos de viveros y agricultores de la zona

3.3.3. Costes de adaptación de replantación

Otra de las estrategias de adaptación más importantes, cuando la gravedad del problema aumenta, consiste en arrancar una viña y sustituirla por otra, cambiando en este caso tanto la variedad como el portainjerto, por lo que se elige por completo un material vegetal mejor adaptado al clima futuro que se prevé en la zona de la parcela seleccionada. Los costes totales del caso estudiado son de 16.376,62€/ha (Tabla 10).

A priori, patrones híbridos de Berlandieri-Rupestris, como 110 R (Richter) y 99 R, presentan características apropiadas. Para el caso de este estudio, se ha seleccionado 110 R como portainjerto de la nueva plantación. Este patrón es tolerante a la sequía y sensible a la humedad permanente en el subsuelo, y está muy adaptado a zonas cálidas. Asimismo, retrasa la maduración de los cultivares injertados sobre él y estimula la fructificación. (Salazar y Melgarejo, 2005).

Tabla 10. Costes de replantación

Costes de replantación de 1ha de viñedo					
Marco de plantación		2,8m x 1,5 m			
Número de plantas		2300 plantas/ha			
		unidad	unidades/ha	precio/unidad	precio total
Estudio del suelo	Análisis de suelo	unidad	1	35,00	35 €
Preparación del terreno	Pase tractor con cuchilla (arranca todo)	h	3	90,00	270 €
	tractor con recogedor (horca) para ir recogiendo todo lo que ha dejado en el pase anterior y amontonarlo	h	5	50,00	250 €
	Recogida y limpieza de las espalderas	h	2	9,00	18 €
	Desfonde	h	7	80,00	115 €
	Sacar raíces y limpieza (peón)	h	21	9,00	189 €
	Pase de cultivador	h	3	50,00	150 €
	Mantenimiento/varios	%			99,2 €

Abonado	Abonado de fondo orgánico	t	30	0,02	0,7	€
	Enterrado/volteado	h	1	50	50	€
	Abonado inorgánico fósforo + potasio	kg	500	0,52	260	€
Desinfección del suelo	Desinfección química de suelo (Dicloropropeno 116 AL)	kg	1000	2,10	2100	€
Plantación viña	Planta injertada	unidad	2300	1,3	2990	€
	Plantación	unidad	2300	0,80	1840	€
	Pisado y compactación	h	16	8,00	128	€
	Pase de labor post-plantación	h	1,25	28,00	35	€
Material de protección	Tutores 105 cm Ø12	unidad	2300	0,09	207	€
	Colocación tutores	unidad	2300	0,03	69	€
	Protector para conejos 50 cm	unidad	2300	0,40	920	€
	Colocación protectores	unidad	2300	0,03	69	€
Material espalderas	Espaldera básica (2mtrs)	unidad	30	5,74	172,2	
	Espaldera básica (1,8m)	unidad	460	4,25	1955	€
	Alambre 2,7mm	kg	250	1,55	387,5	€
	Alambre 2,2mm	kg	300	1,80	540	€
	Partida gripel + tensores	u	1	350,00	350	€
	Instalación de material	h	24	8,00	192	€
Riego	Nuevas tuberías terciarias+ instalación				850	€
Total					16376,6	€

Fuente: Elaboración propia con datos de empresas de servicios agrarios y agricultores de la zona

3.3.4. Costes de adaptación de la deslocalización del viñedo

Debido a los notorios riesgos que el cambio climático acarrea para la producción vitivinícola, en algunos casos, unas nuevas condiciones climáticas pueden favorecer el desarrollo de la vid en zonas donde actualmente no es posible su cultivo, especialmente por limitaciones térmicas, lo que origina una reconsideración de las áreas vitícolas en el futuro. El cambio climático por tanto, es uno de los inductores para la aparición de nuevos viñedos en zonas frías, sin evidencia histórica anterior, debido a que un aumento en la altitud hace que la temperatura media decrezca del orden de 0,6°C por cada 100 metros de elevación, lo que supone un retraso de 2 o 3 días de vegetación (Hidalgo, 2012).

Por todo ello, la última medida de adaptación analizada supone el traslado de una plantación de viñedo perteneciente a la D.O. Cariñena, a una zona más alta, cuyas condiciones climáticas sean más favorables para su desarrollo. Esta estrategia es la que mayor impacto económico supone, debido a la considerable inversión económica y a las mayores dificultades asociadas a los riesgos que implica cultivar en una zona sin experiencia, con el añadido de todos los trámites administrativos necesarios para llevar a cabo la nueva plantación (autorización), así como la realización del arranque de la antigua viña.

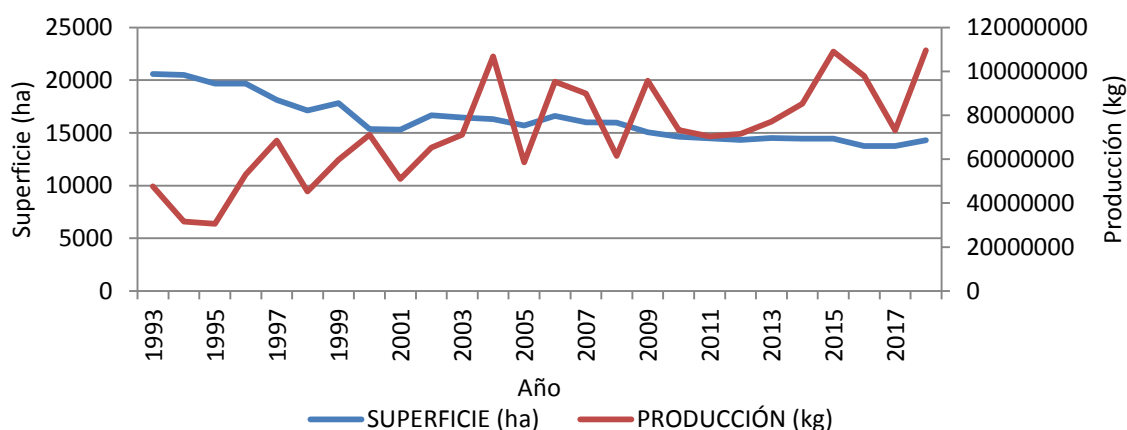
El nuevo clima no tiene por qué ser como el de una región clásica, sólo que más frío, sino que tiene otros ciclos y puntualidades que no necesariamente están adaptados al viñedo, debido a la propia complejidad de los ciclos vitales de la planta, de sus interacciones con el medioambiente y de las condiciones que la uva debe reunir para rendir un vino de calidad. Por esta razón, no es posible responder a los desafíos que el cambio climático presenta a la viña con un simple cambio de localización, o con la creación de nuevos viñedos en zonas

potencialmente interesantes. Asimismo, es lógico afrontar de forma acelerada el desarrollo de variedades y clones de uva adaptados a las nuevas condiciones ambientales en las que se van a cultivar con el objetivo de alcanzar la máxima calidad.

No obstante, según Ballesteros (2018), existe un buen número de casos de éxito, que sin duda formarían parte de la geografía de la viña del futuro próximo. En España, la exploración del Pirineo en busca de nuevos viñedos de altura ya es un hecho. Un ejemplo es Barranco Oscuro en Sierra Nevada, que puede ser la avanzadilla de una nueva región vinícola. España también contribuye al movimiento hacia zonas más frías con el crecimiento de los txakolis de Vizcaya y Álava y de los viñedos en laderas orientadas al norte en zonas como Ribera del Duero. En Aragón, uno de los proyectos más interesantes de viñedos en altura se localiza en Barbenuta, un pueblo del valle de Tena (Huesca), a más de 1300 metros de altura, que en el año 2015 empezó a producir vino conocido como “Vino de las Nieves” procedente de reducidas superficies de viñedo.

Zaragoza, donde abundan áreas de clima seco como es el caso estudiado en este trabajo, es una de las provincias que mayor caída de superficie dedicada al viñedo ha sufrido en los últimos años (Compés y Cervera, 2018). Así ha ocurrido en la D.O. Cariñena, a pesar de lo cual, como muestra el Gráfico 9, esta caída se ha visto compensada por el aumento de los rendimientos a causa principalmente de la extensión del uso de técnicas como el regadío y el uso de sistema de formación en espaldera.

Gráfico 9. Evolución de la superficie cultivada y producción en la D.O. Cariñena (1993-2018)

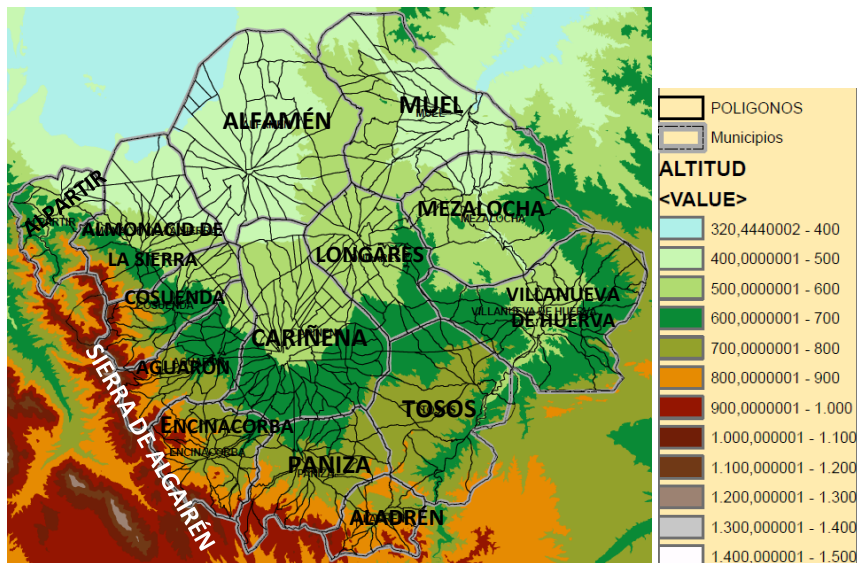


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de El Vino de las Piedras (2020)

El vino es un producto fuertemente asociado a las zonas y regiones donde se produce, siendo problemática cualquier deslocalización de la producción. A pesar de ello, el desplazamiento de la geografía económica de la vid, como consecuencia de los problemas y riesgos asociados al cambio climático, hacia zonas más altas y con regímenes pluviométricos mayores, ya es un hecho, pudiendo acentuarse esta tendencia en los próximos años.

En el caso concreto de este TFM, se analiza un desplazamiento en altitud dentro del territorio de la propia D.O., hacia la Sierra de Algairén (Ilustración 4), la cual constituye una pequeña unidad de la cordillera Ibérica, que culmina a 1276 metros de altura. A través del tiempo, en su zona más llana, las vides siempre han sido elementos configuradores de este espacio. Así pues, ahora el objetivo es ir ascendiendo en altitud a la hora de localizar las nuevas plantaciones, haciendo posible el cultivo en zonas más frías. Es por esta razón que la nueva plantación analizada en este trabajo se sitúa en plena sierra, a unos 860 metros de altitud, entre los municipios de Encinacorba y Paniza.

Ilustración 4. Mapa de la altimetría de la D.O. Cariñena



Fuente: Bodegas San Valero

Los registros climáticos actuales que se muestran en la Tabla 11, los cuales pertenecen a la estación climática localizada en el municipio de Paniza (700 m), ya que ésta es la más cercana a la localización de la nueva parcela, ya presentan unas condiciones que comienzan a ser limitantes, sobre todo en los meses más calurosos y secos de verano.

Tabla 11. Datos climáticos Paniza (700 msnm)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temperatura media (°C)	3,2	4,7	8	10,3	14,1	18,1	20,8	20,6	17,8	12,4	7,5	4,7
Temperatura mínima (°C)	-0,7	0	2,8	5	8,9	12,5	14,9	14,9	12,4	7,4	2,9	0,6
Temperatura máxima (°C)	7,1	9,4	13,2	15,6	19,3	23,8	26,7	26,3	23,3	17,4	12,1	8,8
Precipitación (mm)	22	21	30	34	61	51	22	25	39	38	27	33

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Climate-date.org.

No obstante, la parcela donde va a establecerse la nueva plantación se localiza unos 160 metros más alta que el municipio, por lo que se alcanzan mejoras notables en las condiciones climáticas, como el incremento en la pluviometría, que comienza a ser un factor limitante en las altitudes más bajas de la D.O., provocando cada vez periodos más severos de sequía. Así pues, la precipitación media anual con el desplazamiento se incrementará hasta un rango medio de 475-500 mm (Atlas climático de Aragón, 2007). De la misma forma, se consigue suavizar las altas temperaturas más extremas que caracterizan los meses más calurosos, lo que supone otro de los factores más limitantes de los viñedos más bajos, esperando llegar a obtenerse temperaturas anuales medias alrededor de los 11°C.

El caso de deslocalización de viñedo estudiado en este TFM conlleva unos costes totales de 28.714€/ha, teniendo en cuenta que 1 hectárea en la nueva localización buscada tiene un precio de alrededor de 7.500€ (Tabla 12).

Tabla 12. Costes de deslocalización del viñedo

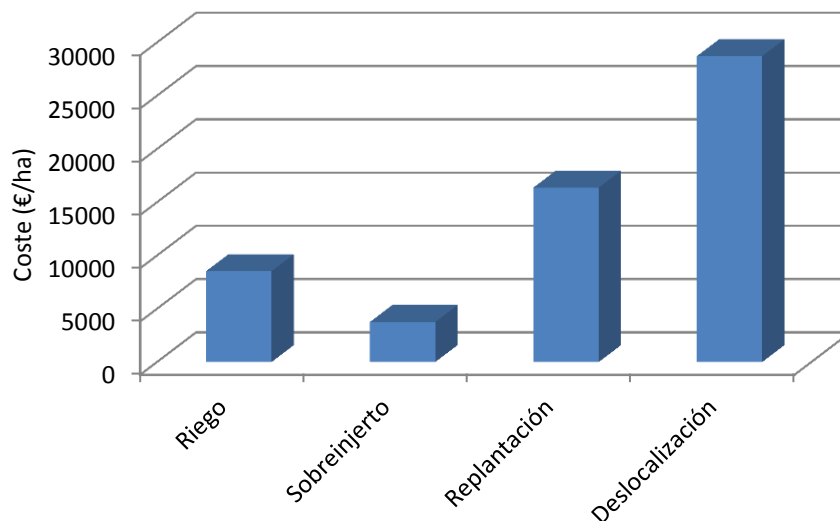
Costes de deslocalización de 1ha de viñedo					
Marco de plantación		2,8 x 1,5 m			
Número de plantas		2300			
		Unidad	Unidades/ ha	Precio/ unidad	Precio total
Precio nueva parcela	Compra parcela	ha	1	7500	7500 €
Estudio suelo	Análisis de suelo	unidad	1	35	35 €
Preparación del terreno	Topos x2 pases	h	5	50	250 €
	Pases de labor x2 (pre-plantación)	h	3	30	90 €
	Mantenimiento/variados	%	5		17 €
Abonado	Abonado de fondo orgánico	t	30	0,024	19,6 €
	Enterrado/volteado	h			60 €
	Abonado inorgánico fósforo + potasio	kg	500	0,52	260 €
Desinfección del suelo	Desinfección química de suelo (Dicloropropeno 116 AL)	kg	1000	2,10	2100 €
Plantación	Planta injertada	unidad	2300	1,30	2990 €
	Plantación	unidad	2300	0,80	1840 €
	Pisado y compactación	h	16	8,00	128 €
	Pase de labor post-plantación	h	1,25	28,00	35 €
Material de protección	Tutores 105 cm Ø12	unidad	2300	0,09	207 €
	Colocación tutores	unidad	2300	0,03	69 €
	Protector para conejos 50 cm	unidad	2300	0,40	920 €
	Colocación protectores	unidad	2300	0,03	69 €
Material espalderas	Espaldera básica (2mtrs)	unidad	30	5,74	172,2 €
	Espaldera básica (1,8m)	unidad	460	4,25	1955 €
	Alambre 2,7mm	kg	250	1,55	387,5 €
	Alambre 2,2mm	kg	300	1,80	540 €
	Partida gripel + tensores	u	1	350,00	350 €
	instalación de material	h	24	8,00	192 €
Instalación de riego					8.528 €
Total					28714 €

Fuente: Elaboración propia con datos de empresas de servicios agrarios y agricultores de la zona

3.3.5. Comparativa de los costes de las medidas de adaptación

En este punto se comparan los diferentes costes económicos que suponen cada una de las cuatro estrategias de adaptación estudiadas en este trabajo (Gráfico 10). La medida de adaptación más barata es el sobreinjerto, con 3.751€/ha, teniendo en cuenta que la parcela donde se realiza ya contase en un principio con sistema de riego. La siguiente medida, de menos a más coste, es la instalación de riego, con 8.528€/ha replantación, con 16.376,62€/ha, también teniendo en cuenta que el sistema de riego ya estuviese instalado previamente en la parcela. En el ejemplo analizado para esta estrategia se tiene en cuenta una parcela de unas 10 hectáreas, ya que para este tipo de inversiones económicas se requiere una superficie medianamente amplia de viñedo, para así poder repartir los costes y que sea más rentable. Así pues, posteriormente se han dividido los costes totales de la realización del pozo de captación, instalación eléctrica y caseta para una sola hectárea de cultivo. En tercer lugar, los costes de replantación de un viñedo, con 16376€/ha. Y, por último, la deslocalización del cultivo, que es la medida más costosa y además, la que más dificultades acarrea, con 28.714€/ha.

Gráfico 10. Comparativa de los costes de las medidas de adaptación estudiadas



Fuente: Elaboración propia

4. Encuesta de la visión de los viticultores con respecto al cambio climático

4.1. Introducción

Para completar el análisis global de las estrategias de adaptación y esfuerzos necesarios a realizar, según las variaciones climáticas analizadas que el cambio climático está provocando, el objetivo principal de este apartado es conocer la situación actual del sector vitícola de la zona, e identificar sus principales problemas en relación al cambio climático, a partir de la visión de los productores. Para ello se ha utilizado un prototipo de cuestionario -diseñado para una prueba piloto- que forma parte de un proyecto europeo financiado por EIT Climate-KIC, con el nombre de Mediterranean Climate Vine & Wine Ecosystem (MEDCLIV), cuya finalidad es desarrollar herramientas que ayuden al sector a hacer frente al desafío del cambio climático.

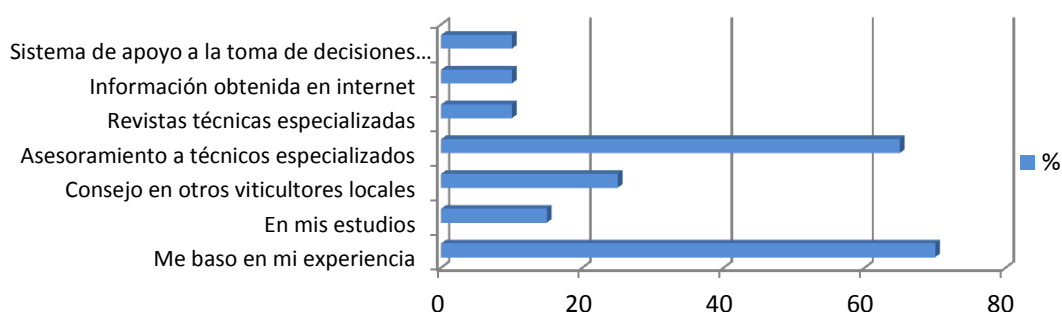
A través de una muestra no aleatoria de viticultores de la zona, se han realizado 20 encuestas, 10 en el municipio de Alfamen (373m), y otras 10 en el municipio de Almonacid de la Sierra (583m). El criterio elegido para seleccionar la muestra ha sido el de conveniencia (Ozten y Manterola, 2017), ya que ha sido necesario buscar a agricultores que estuvieran dispuestos a colaborar manteniendo una entrevista personal con la autora del trabajo. Por motivos de economía de medios se han seleccionado solamente dos municipios pertenecientes a la D.O. Cariñena, con altitudes y características ambientales diferentes. Por un lado, se busca conocer las principales características y problemas del sector frente al cambio climático en la zona de estudio, y por otro, identificar la posible existencia de diferencias entre ambos municipios.

4.2. Resultados globales

Al analizar todo el conjunto de las 20 encuestas se observa que la viticultura es la principal actividad agrícola del 80% de los agricultores entrevistados. El 90% de ellos poseen una superficie total de viñedo superior a 5 hectáreas, y el resto entre 3 y 5 hectáreas, por lo que puede señalarse que la mayor parte de las explotaciones de la muestra es de tamaño medio-grande y están gestionadas por viticultores profesionales. El modelo de viticultura más utilizado es el convencional, ya que lo practica el 55% de los encuestados, y el 45% restante sigue el modelo ecológico. Esto es debido a que la cooperativa de uno de los dos municipios encuestados -Almonacid de la Sierra- tiene actualmente toda su producción en cultivo ecológico. No obstante, sólo uno de los encuestados practica la viticultura biodinámica, aunque no de forma exclusiva. Se deduce, por tanto, un predominio de agricultores profesionales interesados en mejorar su posición productiva a través de la diversificación y la viticultura respetuosa con el medio ambiente.

Respecto a la gestión del viñedo, como indica el Gráfico 11, la mayor parte de los encuestados sigue el criterio de su propia experiencia y, en ocasiones, pide asesoramiento a técnicos especializados. En cambio, sólo el 10% busca información en revistas técnicas especializadas, se apoya en información obtenida en Internet o usa un sistema de apoyo a la toma de decisiones en agricultura. Esto indica que, en general, los viticultores siguen mayoritariamente la tradición y las costumbres, y no buscan explícitamente la incorporación de avances tecnológicos y técnicas de viticultura de precisión.

Gráfico 11. Diferentes criterios para la gestión del viñedo seguidos por los viticultores



Fuente: Elaboración propia a través de información obtenida de las encuestas realizadas

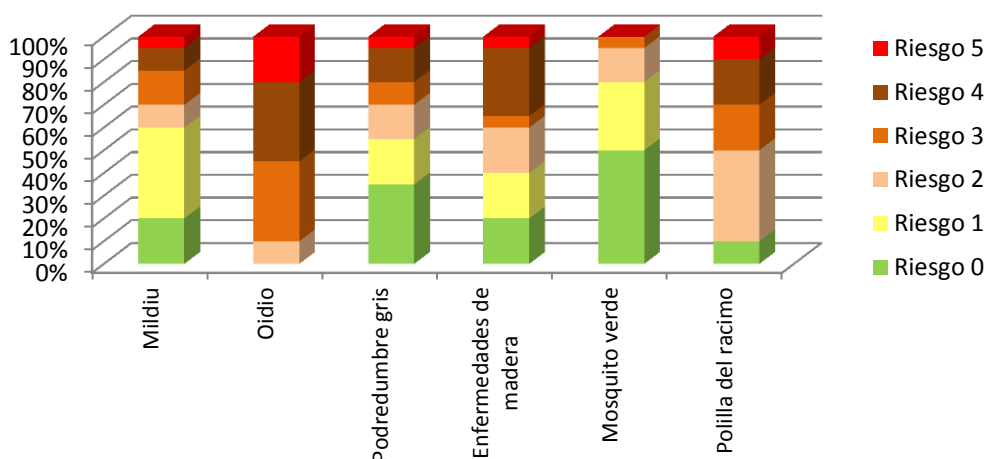
En cuanto a variedades, la más cultivada es la Garnacha tinta, una de las más representativas de la Denominación de Origen, ya que el 80% de los viticultores la cultiva. Otras variedades cultivadas, también importantes en la zona, son el Tempranillo (75%) y la Syrah (70%).

La mayoría de los encuestados (85%) ha introducido nuevas variedades en los últimos años en su viñedo: el 70% plantando nuevas viñas y el 25% sustituyendo plantaciones viejas por otras nuevas en los viñedos existentes. A la hora de elegir estas nuevas variedades, los criterios que más tienen en cuenta son: demanda del mercado (45%), resistencia a la sequía (35%), resistencia a plagas (15%) y maduración más tardía (10%). Todo ello indica que, a la hora de elegir nuevas variedades, se basan más en las necesidades del mercado que en las alteraciones, cada vez más visibles, que está provocando el cambio climático en el cultivo. A pesar de ello, como se ha indicado, una parte significativa los tiene en cuenta (sequía, maduración y plagas, fundamentalmente).

Respecto al acceso actual o potencial a recursos hídricos, el 40% de los encuestados tiene riego en todos sus viñedos, el 45% parcialmente, y el 15% no tiene acceso. En todos los casos afirmativos, las viñas están equipadas con sistema de riego, en la gran mayoría de casos, por goteo, excepto uno de los encuestados, que utiliza todavía riego por inundación en una parte de sus viñedos.

Como muestra el Gráfico 12, de las plagas más comunes de la zona, el Oidio es la que más riesgo supone para el viñedo en un año "normal" según los encuestados, y le sigue a distancia la polilla del racimo.

Gráfico 12. Niveles de riesgo de las plagas más comunes de la zona

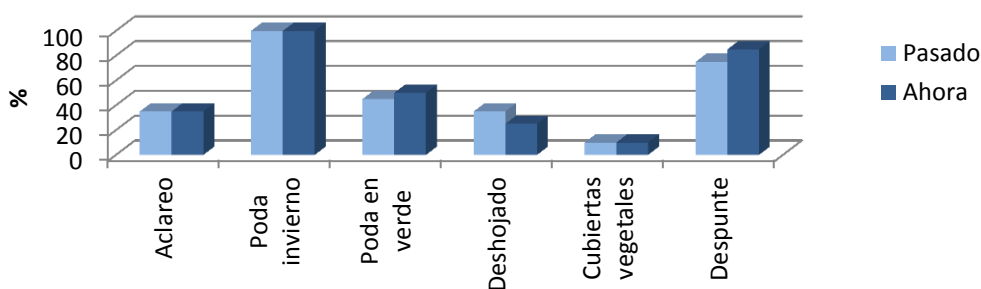


Fuente: Elaboración propia a través de información obtenida de las encuestas realizadas

Respecto a la gestión de plagas y enfermedades, el criterio más utilizado es la consulta a un técnico especialista (70%), seguido de su propia experiencia (40%), y del seguimiento de alertas regionales y del uso de protocolos de tratamientos estacionales (25%). Ninguno de los encuestados utiliza sistemas digitales de alerta. Esto significa que los viticultores todavía confían más en tratamientos tradicionales de prevención y aplicaciones a calendario que en los principios de gestión integrada de plagas. Además, sólo el 40% ha realizado un análisis de suelo en los últimos años, por lo que, a pesar de estar muchos en viticultura ecológica, no han incorporado completamente el modelo agroecológico.

En el Gráfico 13 se muestran los cambios en el uso de diferentes técnicas de cultivo de la vid por parte de los encuestados a lo largo del tiempo. Las técnicas más utilizadas son la poda de invierno y, en segundo lugar, el despunte, observándose en esta última un aumento del número de viticultores que la realizan en la actualidad. Asimismo, también se aprecia un aumento de la realización de la poda en verde. Por el contrario, el deshojado es una técnica cuyo uso ha disminuido, debido a su elevado coste, además de que de esta forma, los racimos quedan más protegidos de la incidencia directa del sol.

Gráfico 13. Evolución de las técnicas de cultivo

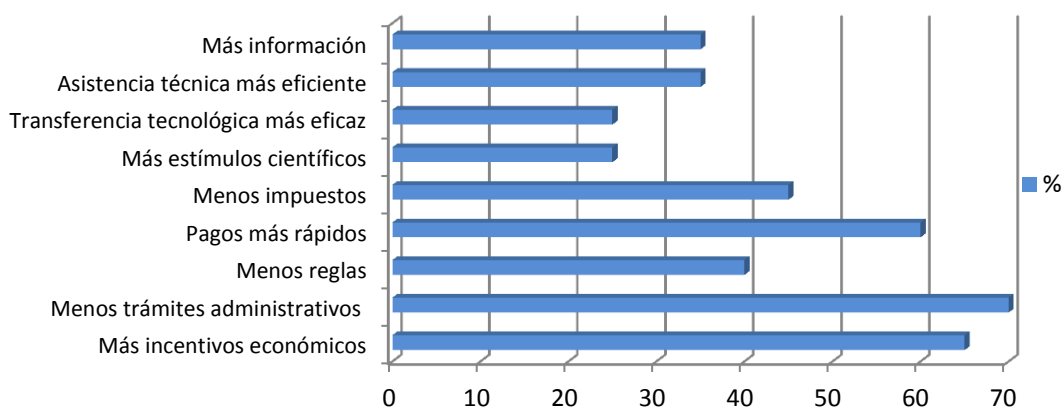


Fuente: Elaboración propia a través de información obtenida de las encuestas realizadas

En lo que se refiere a los seguros, sólo la mitad asegura su cosecha, habiéndose reducido el número de agricultores que tienen seguro. Esto se debe a que los incentivos económicos para asegurar son escasos, y a que, además, la mayoría no se dedica únicamente a la viticultura, lo que les permite diversificar las rentas. Los seguros más utilizados son el de granizo, seguido del de heladas.

En referencia a las preferencias de los viticultores en relación con las políticas agrícolas que afectan al sector, lo que más exigen son menos trámites administrativos a la hora de pedir ayudas, más incentivos económicos y pagos más rápidos (Gráfico 14).

Gráfico 14. Diferentes preferencias en relación a las políticas agrícolas del sector



Fuente: Elaboración propia a través de información obtenida de las encuestas realizadas

4.3. Diferencias existentes entre municipios

La principal diferencia entre Alfamén y Almonacid de la Sierra es que, como ya se ha mencionado, los viñedos se encuentran a diferentes altitudes medias: los de Alfamén se sitúan entre los 210 y 400 m de altitud, en plena llanura, y los de Almonacid de la Sierra entre los 400 y los 900 m, en las faldas de la Sierra de Algairén (Anexo 12). Se trata de diferencias relativamente apreciables, a lo que se suman distintos tipos de suelos y orografía. Desde el punto de vista geomorfológico, la unidad más alta, la Sierra, está compuesta por materiales paleozoicos (cuarcitas y pizarras) y se caracteriza por su aspecto pesado y macizo. En cambio, la llanura de Alfamén se encuentra compuesta por cantos angulosos y rodados procedentes de la sierra, que dan lugar a un suelo suelto y bien aireado apto para el cultivo de la vid (Anexo 14). Además, en las estribaciones montañosas de la Sierra de Algairén existen suelos pobres, de poco espesor y de baja potencialidad agrícola. Por el contrario, a medida que descendemos hacia la llanura detrítica, el suelo se desarrolla principalmente sobre depósitos aluviales y coluviales (Anexo 16).

Asimismo, existe una gran diferencia en el modelo de viticultura mayoritario que se practica en ambos pueblos, ya que el total de encuestados de Alfamén practican el cultivo convencional, mientras que el 90% de los de Almonacid de la Sierra practican el ecológico. Como ya se ha explicado, esto es debido a que la cooperativa de este municipio, a la cual pertenecen la mayoría de encuestados, tiene la mayor explotación de viñedo ecológico de Aragón⁶. Esta cooperativa engloba a 55 socios, que cultivan una superficie de 360 hectáreas, de las 946 existentes en el municipio (El Vino de las Piedras, 2018).

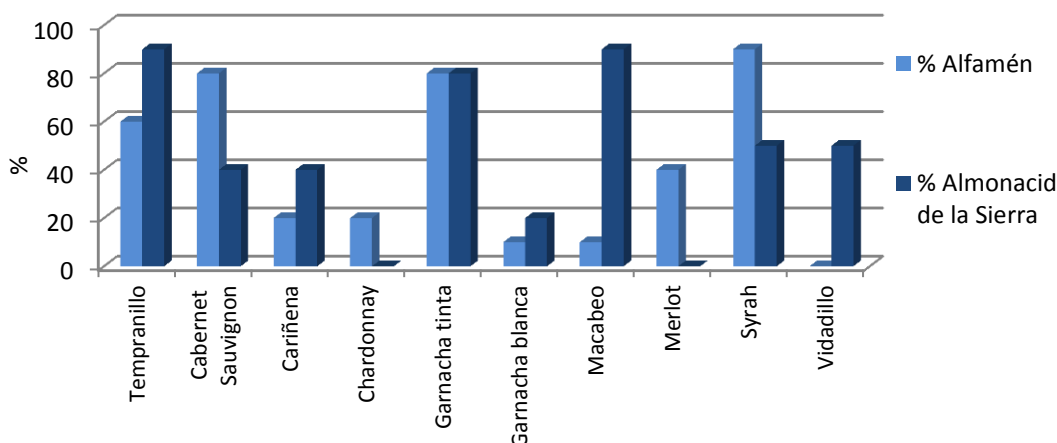
Respecto al acceso a recursos hídricos, existe una gran diferencia, ya que en Alfamén el 80% de los viticultores tienen todos sus viñedos equipados con sistema de riego, y, el resto, parcialmente. Por el contrario, en Almonacid de la Sierra ninguno de los entrevistados tiene riego en toda su explotación, y el 70% solo lo tienen parcialmente, permaneciendo el resto del viñedo en secano. A pesar de ello, no existen grandes diferencias en ambos pueblos a la hora de elegir nuevas variedades teniendo en cuenta su resistencia a la sequía.

Las viñas de menor altitud, situadas en Alfamén, están sometidas a temperaturas medias anuales más elevadas, siendo el valor promedio superior a 14°C. Sin embargo, en Almonacid de la Sierra, a mayor altitud, la media es algo menor, de alrededor de 14°C. Asimismo, a mayor altitud, la amplitud térmica es inferior a la que existe en la llanura. Por otro lado, respecto al volumen pluviométrico, en Alfamén no se alcanzan los 375 mm de precipitación media anual, a diferencia de Almonacid de la Sierra, que tiene una media anual de 412 mm. Como consecuencia de estas diferencias, otra diferencia notable entre ambos pueblos son las proporciones de variedades cultivadas, como muestra el Gráfico 15. En el municipio de menor altitud, Alfamén, la más utilizada es Syrah, ya que el 90% de los viticultores la cultivan. Esta variedad presenta un ciclo corto y, por tanto, una maduración precoz y muy rápida, siendo poco tolerante a sequía y muy productiva, por lo que su cultivo se explica debido al acceso mayoritario a recursos hídricos allí existentes. Le siguen Cabernet Sauvignon y Garnacha tinta (80%), y en menor proporción, Tempranillo (60%), Merlot (40%), Cariñena y Chardonnay (20%). En cambio, las variedades más utilizadas en Almonacid de la Sierra son Tempranillo y Macabeo (90%), ambas autóctonas, que toleran bien periodos moderados de sequía, seguidas de Garnacha tinta, Syrah y Vidadillo (50%) y, en menor proporción, Cariñena y Cabernet Sauvignon (40%). Por lo que puede concluirse que, de forma general, de las variedades

⁶ En el año 2016 la Cooperativa San Nicolás de Tolentino (Almonacid de la Sierra) comenzó la conversión de viñedo convencional a ecológico de toda su superficie, en una alianza empresarial en la que la cooperativa vinícola San Valero (Cariñena) se encarga de diseñar el producto, comercializarlo e incorporarlo a su cartera de productos.

cultivadas en la zona, aquellas con ciclos más largos y más resistentes a sequía (Tempranillo, Cariñena, Garnacha blanca, Macabeo y Vidadillo) son elegidas por mayor porcentaje de agricultores en Almonacid de la Sierra que en Alfamén. En cambio, Alfamén predomina sobre Almonacid de la Sierra en el cultivo de Cabernet Sauvignon, Chardonnay, Merlot y Syrah, variedades foráneas, cultivadas mayoritariamente con riego.

Gráfico 15. Variedades cultivadas en los municipios estudiados

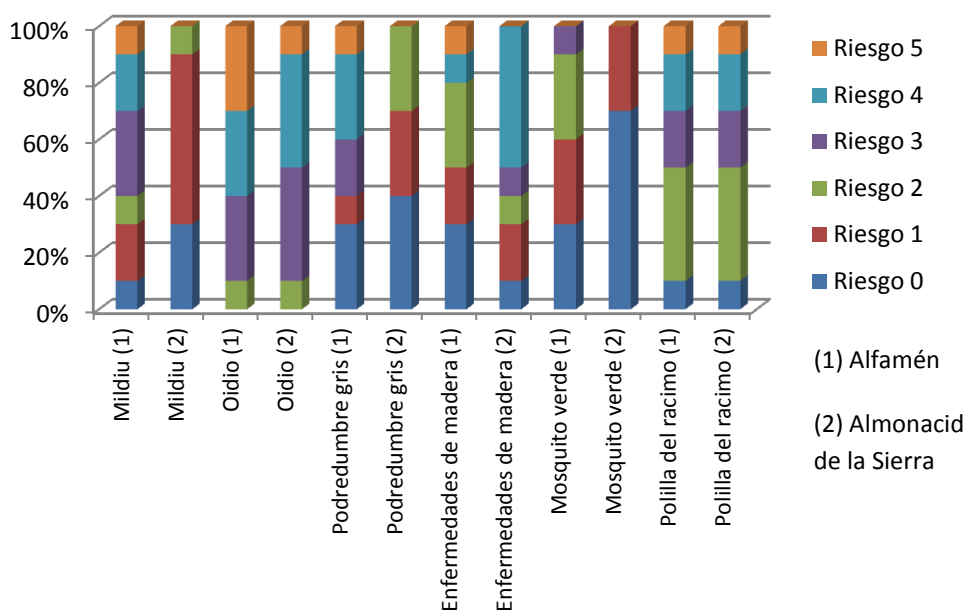


Fuente: Elaboración propia a través de información obtenida de las encuestas realizadas

En el Gráfico 16 se muestran las diferencias en los niveles de riesgo de las plagas más comunes en los dos municipios analizados. En el caso del Mildiu puede verse que en Alfamén (373m) lo consideran mucho más importante que en Almonacid de la Sierra (583m). De igual forma ocurre en el caso de la Podredumbre gris, ya que el 50% de los viticultores del primer municipio le asigna un riesgo de 3 o más, a diferencia de los de Almonacid, que el 100% le asignan un riesgo menor de 3. Asimismo ocurre con el Mosquito verde, ya que en Almonacid de la Sierra el 70% no le asigna riesgo a esta plaga, en cambio en Alfamén el 70% si le asigna diferentes niveles de riesgo, lo cual puede deberse al uso más extendido del riego.

En cambio, en Almonacid de la Sierra consideran las enfermedades de madera más importantes que en Alfamén, ya que el 50% de los viticultores le asignan un nivel de riesgo 4 en un año normal, lo cual puede ser a causa de la mayor proporción de viñedos antiguos. Por último, en el caso de la Polilla del racimo no se aprecian diferencias entre ambos municipios.

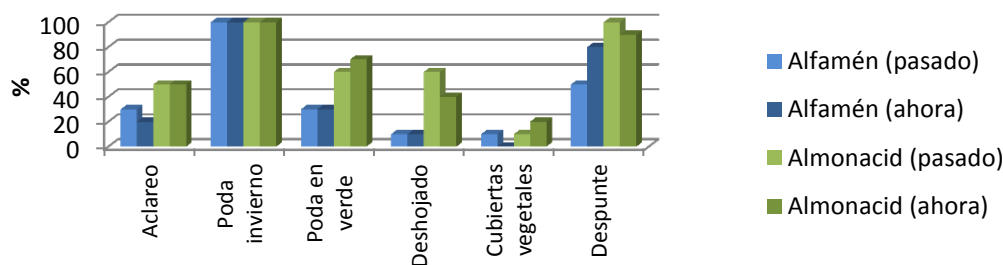
Gráfico 16. Diferencias en los niveles de riesgo de las plagas entre ambos municipios



Fuente: Elaboración propia a través de información obtenida de las encuestas realizadas

Respecto a las técnicas de cultivo, la más utilizada en ambos pueblos es la poda de invierno (Gráfico 17). En cambio, la poda en verde es más utilizada en Almonacid de la Sierra, habiendo aumentado su uso en la actualidad. Por otro lado, existe una diferencia notable para el despunte, ya que en Almonacid de la Sierra la mayoría de los encuestados (90%) lo realizan, habiendo disminuido en los últimos años su uso. En cambio, en Alfamén en el pasado solo lo realizaba la mitad, habiendo aumentado en el presente, lo cual puede deberse a que allí hay más viñedos en regadío, por lo que esta técnica ayuda a reducir el vigor excesivo de las cepas. Otra técnica más utilizada en Almonacid de la Sierra es el deshojado, la cual está disminuyendo debido a la gran demanda de mano de obra que supone. Por último las técnicas menos utilizadas son el aclareo de racimos y las cubiertas vegetales.

Gráfico 17. Diferencias en el uso de las técnicas de cultivo



Fuente: Elaboración propia a través de información obtenida de las encuestas realizadas

Otra diferencia importante entre ambos pueblos es el porcentaje de agricultores que aseguran su cosecha, ya que actualmente lo hace el 80% en Alfamén y, en cambio, sólo el 20% en Almonacid de la Sierra. Esto puede ser debido a que en el primero las parcelas son de mayor superficie y suelen estar más próximas entre ellas que en el caso del segundo, en el cual las parcelas son en general de menor tamaño, y suelen estar localizadas a gran distancia las unas de las otras, con diferencias de altitud y microclima lo suficientemente grandes para suponer que actúan como mecanismos de diversificación del riesgo.

4.4. Conclusiones

La viticultura es una de las principales actividades económicas de los pueblos que forman parte de la D.O. Cariñena. La viticultura que se practica es una combinación de métodos tradicionales con nuevas técnicas de cultivo que permiten una mayor mecanización y un ahorro económico en los costes de cultivo. También se aprecia una diversificación de la producción -como es el ejemplo de la reconversión de viñedos convencionales a ecológicos-, con una introducción paulatina del cultivo agroecológico, lo que supone nuevas oportunidades de mercado. A pesar de ello, en la gestión del viñedo, así como en el control de las enfermedades que más afectan al cultivo, como son Oidio y Polilla del racimo, todavía no se basan mayoritariamente en los principios de la gestión integrada de plagas.

Por todo ello, puede concluirse que los productores de la zona cada vez son más conscientes de los retos que supone el cambio climático para la zona y, a pesar de sus limitaciones, conocen la importancia de introducir mayor grado de tecnificación en las explotaciones, así como material vegetal mejor adaptado a las nuevas condiciones ecológicas.

A la hora de analizar las diferencias entre los municipios, puede concluirse que, a pesar de presentar condiciones climáticas, menos favorables, Alfamén tiene mayor acceso a recursos hídricos, lo cual hace que los productores utilicen variedades menos adaptadas pero más productivas, y estén más preocupados por enfermedades y plagas comunes en zonas más húmedas. Por el contrario en Almonacid de la Sierra, al predominar viñedos de más antigüedad y tener un acceso a recursos hídricos mucho más escaso, son más vulnerables y están más concienciados con la importancia de empezar a implantar diferentes medidas de mitigación y adaptación al cambio climático en sus explotaciones. En definitiva, parece ser el riego y el modelo de agricultura intensiva asociado a él, introducida por motivos económicos, el que está determinando por ahora el modelo de viticultura dominante en Alfamén. Se trata de un modelo que "oculta", al menos en el corto plazo, el impacto del cambio climático, y genera un modelo cuya sostenibilidad merece ser analizada más a fondo.

En definitiva, de este análisis se desprende que en una D.O. como la de Cariñena, relativamente extensa, con 14.183 ha, pueden coexistir viticulturas muy diferentes, que son en parte consecuencia de las diferencias en el medio físico y, en parte, en las respuestas adaptativas utilizadas hasta ahora. En un escenario de cambio climático futuro adverso, como el analizado en el capítulo dos; el choque entre las condiciones ambientales previstas y la viticultura vigente actualmente puede ser muy difícil de soportar.

5. Conclusiones

Como conclusión general, debido a las interacciones del sector vitivinícola con el medio natural, cualquier modificación de los parámetros ambientales tradicionales debida al cambio climático de una zona de cultivo, como es la D.O. Cariñena, supone una pérdida de equilibrio, que afecta a la fenología y rendimiento de la vid, a la calidad de la uva, a la geografía y a la rentabilidad de las explotaciones vitivinícolas allí existentes, por lo que es de vital importancia medir con precisión estos cambios, conocer sus impactos, y actuar en consecuencia. En particular, teniendo en cuenta los objetivos planteados en este trabajo, a continuación se exponen las conclusiones particulares.

Identificar y conocer de qué manera afecta el cambio climático en la zona de la D.O. Cariñena.

Con el estudio y caracterización climática de la zona de la D.O. Cariñena mediante el CCMG, puede concluirse que en los últimos 50 años la climatología ha sufrido variaciones importantes que afectan al cultivo del viñedo. En primer lugar, la temperatura media anual a lo largo de los últimos 30 años, han aumentado en 0,8°C. Igualmente, el número de días con temperaturas superiores a 35°C se han incrementado alrededor de un 35% en los últimos 30 años. Por el contrario, el número de días con temperaturas por debajo de los 0°C ha seguido una tendencia descendente. En segundo lugar, a pesar de su acusada irregularidad interanual, se ha registrado un continuo descenso de las precipitaciones. Asimismo, los episodios de pedrisco han aumentado de forma notable, incrementándose aproximadamente 1,5 días al año entre 1970 y 2019.

A pesar de todo ello, según la clasificación de Tonietto y Carboneau (2004), teniendo en cuenta los valores medios de los índices bioclimáticos (IH: 2198,99, IH+1: Templado caluroso, IF: 12,03, IF+1: De noches frías, IS: -59,38, IS+1: De sequía moderada), puede decirse que, a pesar de haberse producido un empeoramiento de las condiciones de cultivo en las últimas décadas, la D.O. Cariñena es una zona productora tradicional que todavía presenta una clasificación climática idónea para el viñedo.

Analizar de qué manera y con qué intensidad afectará al viñedo de la zona en los próximos años según los principales índices bioclimáticos, escenarios e impactos futuros.

De igual manera, al analizar datos climáticos obtenidos de escenarios futuros de cambio climático de medio plazo (2021-2050), todas las proyecciones muestran importantes variaciones climáticas respecto al periodo de referencia analizado, por lo que las condiciones de cultivo seguirán empeorando.

Los diferentes resultados obtenidos para los índices bioclimáticos en los próximos años, analizando dos escenarios diferentes (RCP 4.5 y RCP 8.5), encuadran la región en todos los casos en clasificaciones de clima no favorables: IH+2: Caluroso, IF-1: De noches templadas, IS+2: De sequía fuerte. Lo cual provoca, que la D.O. Cariñena pase en un futuro relativamente cercano a clasificarse como una zona de bajo potencial climático, acarreando mayor sensibilidad y vulnerabilidad en el cultivo del viñedo, así como alteraciones en la tipicidad de sus vinos.

Estudiar diferentes estrategias de adaptación del viñedo y compararlas, teniendo en cuenta los costes de inversión que supondrían para los viticultores.

Como consecuencia del análisis de los cambios proyectados por los escenarios de cambio climático para la zona de estudio en los próximos años, además de aplicar medidas necesarias de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, es imprescindible la búsqueda de

diferentes alternativas de adaptación, las cuales conlleven niveles de adaptación medios y en algún caso, altos. Asimismo, se deben estudiar diferentes escalas temporales y espaciales, así como las limitaciones de capacidades de los viticultores de la zona.

Dada la magnitud del cambio en el potencial climático para la viticultura de la región concreta de Cariñena proyectada para las próximas décadas, es necesario realizar un análisis económico particular de cada una de las cuatro medidas de adaptación estudiadas (implantación de sistema de riego, cambio de variedades cultivadas, arranque y replantación de una viña, y desplazamiento del viñedo en altitud), que genere información útil para el sector productor, sobre las ventajas así como dificultades que conlleva cada una de ellas. Así pues, las futuras plantaciones deberían realizarse teniendo en cuenta estudios sobre las condiciones locales futuras de una zona concreta, como el realizado en este trabajo, para conocer qué esfuerzos y estrategia a seguir son los más adecuados.

La estrategia más barata es el reinjerto (3.751€/ha), seguido de la instalación de riego (8528€/ha). En tercer lugar, la replantación (16.376,62€/ha), asumiendo la existencia previa de instalación de riego. Y por último, la deslocalización del viñedo (28.714€/ha), la cual tiene el mayor alcance respecto a la magnitud del cambio en el potencial climático, pero lleva asociados grandes costes económicos y sociales.

Conocer la visión de los viticultores en relación con el cambio climático y sus necesidades y expectativas sobre sus consecuencias en los próximos años.

La viticultura es una de las principales actividades económicas de los pueblos que componen la D.O. Cariñena. En la zona coexisten viticulturas muy diferentes, predominando un tipo de viticultura profesional, cuyos viticultores combinan métodos tradicionales con una introducción paulatina del cultivo agroecológico y mayor grado de tecnificación, debido a la cada vez mayor consciencia de los retos que supone el cambio climático para la zona, buscando además, una diversificación de la producción, que suponga nuevas oportunidades de mercado.

Al comparar las principales características y problemas del sector de la zona, que pueden estar relacionados con el cambio climático, en dos municipios de diferente altitud y por tanto, distinta orografía y condiciones climáticas, se aprecia que Alfamén (373 m), a pesar de presentar propiedades meteorológicas menos favorables para el cultivo de la vid por su menor altitud, tiene mayor acceso a recursos hídricos, lo cual fomenta el uso de variedades menos adaptadas, pero más productivas (Syrah), y la preocupación por enfermedades y plagas de zonas más húmedas (Mildiu). En cambio, los viticultores de Almonacid de la Sierra (583) tienen el acceso a recursos hídricos mucho más limitado, y predominan allí viñedos de mayor antigüedad, lo que provoca una mayor vulnerabilidad de las explotaciones allí existentes frente a los impactos del cambio climático, y por tanto, existe una mayor concienciación con la importancia de implantar distintas medidas de mitigación y adaptación al cambio climático en sus explotaciones. Asimismo, inicialmente el acceso a riego es un factor muy favorable para la viabilidad del cultivo, pero es una estrategia polémica, ya que su uso acaba generando una viticultura poco sostenible y mal adaptada a las nuevas condiciones climáticas.

En un escenario de cambio climático futuro adverso, el choque entre las condiciones ambientales previstas y la viticultura vigente actualmente en la zona puede ser muy difícil de soportar, por lo que, teniendo en cuenta las limitaciones de los viticultores, resulta fundamental incrementar los esfuerzos destinados a buscar fórmulas para adaptarse al cambio climático y paliar sus efectos.

Referencias bibliográficas

AdapteCCa.es. Plataforma de intercambio y consulta de información sobre adaptación al Cambio Climático en España. (2020). *Dossier interactivo de adaptación al Cambio climático*. <https://www.adaptecca.es/dossier-interactivo-adaptacion-cambio-climatico> [Consulta: 16 de marzo 2020]

Amerine, M., Winkler, A. (1944). "Composition and quality musts and wines of California grapes" *Hilgardia* 15: p. 493-673.

Armas Lima, C. I. (2014). *Viticultura y cambio climático*. Trabajo Fin de Grado en Enología. Univ. De la Rioja.

Ballesteros, P. (2018). "La nueva geografía mundial del vino en un escenario de cambio climático", en: *El sector vitivinícola frente al desafío del cambio climático. Estrategias públicas y privadas de mitigación y adaptación en el Mediterráneo*, R. Compés y V. Sotés (coord.). Cajamar Caja Rural, p. 137-155.

Climent-López, E., Escalona-Orcao, A.I., Loscertales-Palomar, B. y Molina-Fuster, T. (2007). "La Denominación de Origen Cariñena como sistema productivo local: redes de empresas, cultura y gobernanza" *Geographicalia*, p. 52: 31-51.

Compés, R. y Cervera, F. J. (2018). "La viticultura mediterránea en España frente al cambio climático", en: *El sector vitivinícola frente al desafío del cambio climático. Estrategias públicas y privadas de mitigación y adaptación en el Mediterráneo*, R. Compés y V. Sotés (coord.). Cajamar Caja Rural, p. 155-175.

Cuadrat, J.M., Saz Sánchez, M.A., Vicente Serrano, S.M. (2008). *Atlas climático de Aragón*. Departamento de Medio Ambiente. Gobierno de Aragón. p. 213.

El Vino De Las Piedras (2018). <<http://www.elvinodelaspiedras.es/>> [Consulta: 15 de marzo 2020]

El Vino De Las Piedras (2020). <<http://www.elvinodelaspiedras.es/>> [Consulta: 2 de marzo 2020]

Ewert, F.; Rounsevell, M. D. A.; Reginster, I.; Metzger, M. J. y Leemans, R. (2005). "Future scenarios of European agricultural land use I. Estimating changes in crop productivity" *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 107, p. 101-116.

Fernández González, J., Curt Fernández de la Mora, M. D., Aguado Cortijo, P. L., Esteban Pajares, B., Checa López, M., Sánchez López, J., Mosquera Escribano, F., Romero Cuadrado, L., Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2013). "Caracterización de las comarcas agrarias de España" Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Tomo 51: Provincia de Zaragoza.

Franco Aladrén, E., Pavón, A., Gogorcena Aoiz, Y., López, R., Andreu Lahoz, J., usón, J.J., Herrero Mallén, E. (2018). "Parrel, vinífera aragonesa de la depresión del Ebro. Adaptación a terroir semiáridos de cultivo". E3S Web of Conferences, 50, 01045. XII Congreso Internacional Terroir.

Gaertner, M. A., Gutiérrez, J. M., Castro, M. (2012). "Escenarios regionales de cambio climático" *Revista Española de Física*, 26(2), p. 34-42.

Giorgi, F., Mearns, L.O. (1991). "Approaches to the simulation of regional climate change: a review" *Reviews of Geophysics*, 29(2), p. 191-216.

Giorgi F. (2006). "Climate change hot-spots" *Geophysical Research Letters*, 33 (8).

Hidalgo Togores, J. (2012). "El concepto de "Terroir" en el viñedo". *Ponencia en el XII curso de verano, Innovación vitivinícola en la Ribera del Duero, sostenibilidad II*. Editado por el consejo regulador de la denominación de origen Ribera del Duero, p. 9-45.

Jackson, D. I. y Lombard, P. B. (1993). "Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality-A review" *American Journal of Enology and Viticulture*, 44 (4), p. 409-430.

IAEST (2020). Departamento de Economía, Planificación y Empleo. <<https://www.aragon.es/organismos/departamento-de-economia-planificacion-y-empleo/direccion-general-de-economia/instituto-aragones-de-estadistica-iaest>> [Consulta: 16 de enero 2020]

IAEST (2020). Estadísticas de clima y datos climatológicos. <<https://www.aragon.es/-/clima/-/datos-climatologicos#anchor2>> [Consulta: 19 de marzo 2020]

Iglesias, A., Quiroga Gómez, S., Sotés Ruiz, V. (2011). "La agricultura española y el cambio climático" *Economistas*, p. 127, 19-26.

Intrigliolo D. S., Sanz F., Yeves A., Martínez A., Buesa I. (2018). "Manejo integral del viñedo para hacer frente al cambio climático. Uso eficiente del riego y otras prácticas agronómicas" *El sector vitivinícola frente al desafío del cambio climático. Estrategias públicas y privadas de mitigación y adaptación en el Mediterráneo*, R. Compés y V. Sotés (coord.). Cajamar Caja Rural, p. 193-221.

IPCC (2013). Glosario [Planton, S. (ed.)]. "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). Summary for Policymakers. "Climate Change 2014: The physical Science Basis". Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Stocker, T. F, Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K. , Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. Cambridge University Press, Crambridge, United Kingdom and New York, USA.

Jones, G.; White, M. A.; Cooper, O. R. y Storchmann, K. (2005). "Climate change and global wine quality". *Climate Change* 73, p. 319–343.

Lereboullet, A.L., Beltrando, G., Bardsley, D.K. (2013). "Socio-ecological adaptation to climate change: A comparative case study from the Mediterranean wine Industry in France and Australia". *Agriculture, ecosystems & environment*, 164, p. 273-285.

Lobell, D.; Field, C.; Cahill, K. y Bonfils, C. (2006). "Impacts of future climate change on California perennial crop yields: Model projections with climate and crop uncertainties". *Agric For Meteorol.* 141(2-4); p. 208-218.

Lorenz, D. H.; Eichhorn, K. W.; Bleiholder, H.; Klose, R.; Meier, U. y Weber, E. (1995). "Growth Stages of the Grapevine: Phenological growth stages of the grapevine (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*)-Codes and descriptions according to the extended BBCH scale" *Australian Journal of Grape and Wine Research* 1(2); p. 100-103.

Medecc (2019). "Risks associated to climate and environmental changes in the Mediterranean region" *The British Journal of Psychiatry*, 479, p. 1009-1010.

PNACC (2012). "Evidencias del cambio climático y sus efectos en España" Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, p. 27.

Ministerio De Agricultura, Pesca Y Alimentación (2018). Observatorio de tecnologías probadas. Material vegetal. Mazuela. <<https://www.mapa.gob.es/app/MaterialVegetal/fichaMaterialVegetal.aspx?idFicha=483>> [Consulta: 14 de febrero 2020]

Morales-Castilla I., García de Cortazázar-Atauri I., Cook B. I., Lacombe T., Parker A., van Leeuwen C., Nicholas K. A., Wolkovich E. (2020). "Diversity buffers winegrowing regions from climate change losses" *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 117(6) p. 2864-2869.

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), p. 1935-1945.

Navarro-Racines, C., Tarapues, J., Thornton, P., Jarvis, A., Ramírez-Villegas, J. (2020). "High-resolution and bias-corrected CMIP5 projections for climate change impact assessment" *Scientific Data*.

Nicholas K.A., Durhman W.H. (2012). "Farm-scale adaptation and vulnerability to environmental stresses: Insights from winegrowing in Northern California" *Global Environmental Change*, 22(2), p. 483-494.

Otzen T. y Manterola C. (2017). "Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio" *International Journal of Morphology*, 35(1), p. 227-232.

Ossorio, P. (2018). "Innovación y tecnología enológica frente al cambio climático" en: *El sector vitivinícola frente al desafío del cambio climático. Estrategias públicas y privadas de mitigación y adaptación en el Mediterráneo*, R. Compés y V. Sotés (coord.). Cajamar Caja Rural, p. 189-313.

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 en Ingeniería Agrónoma. Univ. Politécnica de Madrid. p. 216.

Rosenzweig, C.; Tubiello, F. N.; Goldberg, R.; Mills, E. y Bloomfield, J. (2002). "Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change" *Global Environmental Change* 12, p. 197-202.

Salazar, D. M., Melgarejo, P. (2005). "*Viticultura: Técnicas de cultivo de la vid, calidad de la uva y atributos de los vinos*. Mundi-prensa Libros S.A. Madrid. p. 325.

Santos, J.A., Fraga, H., Moutinho-Pereira, J., Malheiro A. C. (2018). "Impacts on the vitiviculture geography in the world and in Portugal" en: *El sector vitivinícola frente al desafío del cambio climático. Estrategias públicas y privadas de mitigación y adaptación en el Mediterráneo*, R. Compés y V. Sotés (coord.). Cajamar Caja Rural, p. 21-45.

Santos J.A., Malherio A.C., Pinto J.G., Jones G.V. (2012). "Macroclimate and viticultural zoning in Europe: observed trends and atmospheric forcing" *Climate Research*, 51(1), p. 89-103.

Savé R., De Herralde F., Domingo C., Elorduy X. (2017). "El material vegetal, una herramienta de adaptación agronómica frente al cambio climático". *La Semana Vitivinícola*, ISSN 0037-184X, Nº 3507, p. 1988-1997.

Sotés, V. (2018). "Impactos y adaptación al cambio climático en España", en: *El sector vitivinícola frente al desafío del cambio climático. Estrategias públicas y privadas de mitigación y adaptación en el Mediterráneo*, R. Compés y V. Sotés (coord.). Cajamar Caja Rural, p. 45-65.

Tonietto J., y Carbonneau A. (2004). "A Multicriteria Climatic Classification System for grape-growing regions worldwide" *Agricultural Forest Meteorology* 124(1-2), p. 81-97.

Tonietto J., Sotés V., Gómez-Miguel V.D. (2012). "*Clima, zonificación y tipicidad del vino en regiones vitivinícolas iberoamericanas*". CYTED, Madrid. p. 411.

Willen R., Reig P., Schleifer L. (2019). "Seventeen Countries, Home to One-Quarter of the World's Population, Face Extremely High Water Stress". *World Resources Institute*.