

Impactos ambientales y medidas de mitigación en el sector vitivinícola español

Environmental impacts and mitigation measures in the Spanish wine sector

Pilar Gargallo¹ y Nieves García-Casarejos¹

¹Facultad de Economía y Empresa, 50008 Universidad de Zaragoza, España

Resumen. Existe evidencia de que gran parte del cambio climático es causado por las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG), siendo la vitivinicultura una de las actividades responsables. El uso del combustible en la maquinaria agrícola, el empleo de fertilizantes y el consumo de energía en las bodegas, entre otros motivos, contribuyen a estas emisiones. A su vez, el sector del vino es uno de los más vulnerables por su estrecha interacción con las condiciones ambientales, y concretamente en España es especialmente sensible por su situación geográfica y sus características socioeconómicas. Por tanto, el cambio climático constituye uno de los retos ambientales más importantes para este sector, y la puesta en marcha de medidas de mitigación y adaptación se plantea como una posible solución para cumplir con los objetivos de 2020 y favorecer la transición hacia una economía baja en carbono. El objetivo de este trabajo es ofrecer un panorama de los principales impactos ambientales provocados por la vitivinicultura y presentar las medidas de mitigación más comunes que permiten gestionar dichos impactos. Este trabajo pretende servir de guía de buenas prácticas para todas aquellas bodegas que han tomado conciencia de la importancia de llevar a cabo acciones concretas para aliviar el cambio climático.

1 Introducción

En la actualidad existe un consenso científico, casi generalizado, en torno a la idea de que nuestro modo de producción y consumo energético está generando una alteración climática global, que provocará, a su vez, serios impactos tanto sobre la tierra como sobre los sistemas socioeconómicos. El impacto de este cambio climático es enorme, con predicciones de falta de agua potable, grandes cambios en las condiciones para la producción de alimentos y un aumento en los índices de mortalidad debido a inundaciones, tormentas, sequías y olas de calor. En definitiva, el cambio climático no es un fenómeno sólo ambiental sino de profundas consecuencias económicas y sociales [1-2].

El clima y su variabilidad inciden en muchos ámbitos, pero el sector agrario, en general, y el sector vitivinícola, en particular, presentan una mayor vulnerabilidad ante el cambio climático [3]. El vino necesita de unas determinadas condiciones ambientales, por lo tanto, no es difícil deducir que un aumento de la temperatura o disminución de las lluvias puede traer consecuencias para los viñedos. Temperaturas más frías que las normales dan lugar a una maduración incompleta con alto contenido en ácido, bajo contenido de azúcar y sabores inmaduros; mientras que temperaturas más cálidas de lo normal crean fruta demasiado madura con bajo contenido de ácido y alto contenido de azúcar y de alcohol [4]. La capacidad de adaptación de la vid a estos cambios dependerá de

muchos factores, unos intrínsecos, como la variedad de la uva, y otros extrínsecos como las medidas preventivas aplicadas durante el proceso de cultivo, así como, los métodos de producción utilizados para la elaboración del vino [5].

Aunque en apariencia el cultivo de la vid parece un proceso inofensivo desde el punto de vista ambiental, la realidad es bien distinta. De ahí que el sector vitivinícola deba hacer cambios en sus procesos, tanto de cultivo como de elaboración del vino para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero y contribuir de esta forma a la mejora del medio ambiente. Ante la seria amenaza del cambio climático, los productores vitivinícolas y los gestores de las bodegas deben a corto plazo considerar una gran variedad de medidas de adaptación y mitigación del cambio climático para preservar la calidad, identidad y rentabilidad de los vinos [6].

Es necesario ensamblar la cultura del vino con el respeto por la naturaleza, combinando con acierto el binomio experiencia y modernidad. En la elaboración de un buen vino deben ir unidas tradición e innovación. Por una parte, la tradición conlleva utilizar métodos de cultivo que permitan que la naturaleza siga su curso y respete el ecosistema y, en este sentido, el cultivo orgánico, donde se trabaja con elementos naturales, puede ser una de las soluciones. Por otra parte, la innovación tecnológica de la mano de las TIC, ofrece la posibilidad de una vitivinicultura climatológicamente inteligente mediante la construcción de edificios sostenibles, arquitecturas

bioclimáticas, maquinaria y vehículos más eficientes energéticamente, así como tecnologías de ahorro de agua y de gestión de los suelos.

El objetivo de este trabajo es ofrecer un panorama de los principales impactos ambientales provocados por la vitivinicultura y presentar las medidas de mitigación más comunes que permiten gestionar dichos impactos. Este trabajo pretende servir de guía de buenas prácticas para todas aquellas bodegas que están tomando conciencia de la importancia de llevar a cabo acciones concretas para aliviar el cambio climático, de modo que, en base a contribuciones individuales, el sector en su conjunto sea más sostenible y se consiga un efecto escalable. Esto no siempre es fácil, debido, por una parte, a la falta de concienciación y disposición para actuar y, por otra, a las barreras existentes, que van desde el desconocimiento de las técnicas a aplicar y de su fiabilidad, hasta los elevados costes económicos que suponen la implementación de algunas de ellas.

El esquema de presentación del trabajo se organiza del siguiente modo. En la sección 2 se describen los efectos ambientales causados por los dos principales procesos de la elaboración del vino (cultivo y producción), analizando que subprocesos dentro de ellos contribuyen en mayor medida a estos efectos. En la sección 3 se presentan medidas de mitigación específicas para los efectos ambientales identificados en la sección 2. La sección 4 finaliza resumiendo las conclusiones más relevantes y proporcionando algunas recomendaciones.

2 Principales impactos en el proceso de elaboración del vino

El proceso de elaboración del vino, es por muchos considerado como un proceso más cercano al arte que a una técnica, ya que a pesar de los siglos de conocimientos adquiridos por el hombre, son elementos tan sutiles como el tipo de tierra o la combinación de cosechas lo que define las características que lo convertirán en único.

Aunque la imagen de un viñedo sugiere paisajes verdes idílicos [7], la mayoría de las técnicas, herramientas y equipos que se utilizan en su cultivo, son fuentes de gases de efecto invernadero que aceleran el calentamiento global [8-9]. Del mismo modo, tras bodegas que se sitúan en parajes con encanto y edificios emblemáticos, se acometen procesos de elaboración del vino no siempre respetuosos con el medio ambiente.

En esta sección se van a detallar los principales impactos medioambientales en un proceso genérico de elaboración del vino, teniendo en cuenta las dos principales etapas: el cultivo y la producción.

2.1 Impactos en el cultivo de la vid

En España, el cultivo de la vid comienza en enero con la poda y el tratamiento de sus heridas. En febrero se aplican los abonados para obtener un terreno rico en nutrientes, y el mes de abril es muy importante para los tratamientos preventivos de control de plagas y

enfermedades. A partir de junio se monitoriza la humedad del suelo y se organizan los riegos de acuerdo con la estrategia hídrica seleccionada; además, se reduce la producción a través de la eliminación de racimos, si es necesario. En julio y agosto se inicia el control de la maduración de las uvas, de su pH, de su acidez, etc. Se estima la producción y se comunican los resultados a la bodega para organizar la disponibilidad de personal, vendimiadoras, remolques y transporte. El mes de septiembre es el mes de la vendimia tradicional y los meses de octubre y noviembre se destinan a la vendimia de las variedades de ciclo medio tardío y de ciclo largo, respectivamente. Por último, el mes de diciembre se destina a la cloración de las tuberías de riego para evitar la formación de algas, al control de malas hierbas y de la humedad del suelo. Es el momento de tomar las decisiones de densidad de plantación, para lo cual se arrancan algunas plantaciones antiguas y se realizan nuevas plantaciones.

Aunque el cultivo de la vid parece un proceso inocuo medioambientalmente, esto no es así; los efectos negativos se producen por el contacto con el suelo, el agua y el aire.

El cambio climático está ocasionando una extrema variabilidad de las lluvias, así como sequías estacionales, que provocan la aridez y la erosión de los suelos y, más concretamente, la desertificación del terrero. El viñedo se ha cultivado tradicionalmente en zonas de secano en pendiente y mediante la técnica del laboreo, lo que acrecienta los problemas de erosión del suelo.

El uso de fertilizantes y pesticidas contribuye de forma importante a las emisiones de los gases efecto invernadero. Los fertilizantes químicos pueden causar la infertilidad del suelo a través de su saturación, anulando la eficacia de otros nutrientes vitales. Además, su aplicación excesiva puede hacer que las plantas tengan unas extremidades más grandes y más gruesas que pueden afectar el follaje, por tanto, provocan un considerable aumento de peso, que puede poner presión sobre las raíces de la planta. Por último, y no menos grave, los compuestos químicos de los fertilizantes pueden contaminar los suministros de agua potable y alterar los ecosistemas. Por su parte, los pesticidas contribuyen a la eco toxicidad y muchos de ellos son perdurables en el tiempo, acumulándose en los lugares donde se aplican.

Los residuos producidos por pesticidas y fertilizantes son finalmente arrastrados, drenados o depositados en afluentes de agua o napas subterráneas, causando el incremento anormal de algas y disminuyendo el oxígeno necesario para la supervivencia de las especies.

El agua se utiliza, principalmente, para regar los viñedos. El mayor problema dentro de este proceso no es el hecho de utilizar el agua, ya que las plantas deben ser regadas para su crecimiento y el realizarlo de forma artificial es la única alternativa en muchos casos, sino que el problema real es que el riego se realiza en una cantidad muy superior al requerimiento hídrico de la planta, lo que provoca un derroche de agua.

El uso de combustibles fósiles en la maquinaria necesaria para el cultivo, tales como podadoras, tractores y máquinas, contribuyen al agotamiento de combustibles

fósiles y a la toxicidad humana, debido a las emisiones causadas por la quema de combustibles, que son nitrógeno incombustible, dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos sulfúricos (SO_x), óxidos nitrosos (NO_x), hidrocarburos volátiles (HC) y partículas sólidas (C+).

Todo lo anterior pone en evidencia que en el proceso vitícola, se generan impactos negativos como consecuencia del uso de fertilizantes y pesticidas, del despilfarro de agua, así como de la quema de combustibles fósiles y, por tanto, sobre estos *hotspots* será necesario actuar si se desea mitigar el cambio climático que surge como consecuencia del proceso de cultivo de la vid.

2.2 Impactos en la producción del vino

Tras la vendimia o recogida de la uva, comienza el proceso de elaboración del vino en la bodega. En primer lugar, a través del proceso de despalillado se separan las uvas del resto del racimo. Mediante el estrujado se rompe el hollejo y se extrae el mosto del interior de la fruta. A continuación, el proceso de maceración propicia que el mosto adquiera su color. El sangrado y desfangado permite separar el mosto y dejarlo reposar para que los restos sólidos decanten hacia el fondo del recipiente. A través del descube se transfiere el líquido a otro depósito. Comienza el proceso de fermentación, en el que el azúcar de las uvas termina transformándose en alcohol etílico. Tras el descube, el producto sólido de la fermentación aún contiene grandes cantidades de vino, por lo que es sometido a un prensado para extraer todo el líquido, obteniéndose el vino de prensa, rico en aromas y taninos, que no se mezcla con el obtenido en el descube. Estos dos vinos se utilizarán para la elaboración de productos diferentes. Los restos sólidos que resultan del prensado se emplean como subproducto en la elaboración de orujos y otros productos. El vino obtenido durante los pasos anteriores es sometido a un nuevo proceso de fermentación. Este proceso rebaja el carácter ácido del vino y lo hace mucho más agradable para su consumo. Después de las dos fermentaciones, comienza el proceso de envejecimiento o de crianza, en barricas de roble. Durante la estancia en la bodega se producen una serie de procesos físico-químicos, al mismo tiempo que la porosidad de la madera permite además la microoxigenación del vino. En paralelo a la crianza del vino en bodega se realizan dos trabajos adicionales el trasiego y el clarificado. Durante este periodo, el vino se cambia varias veces de recipiente, con el fin de ir eliminando los sedimentos sólidos y de airear el vino. Una segunda parte del periodo de crianza del vino tendrá lugar una vez que este es embotellado. Dependiendo de los tiempos de crianza que se den tanto en bodega como en botella, obtendremos como producto final un vino crianza, reserva o gran reserva. De ser necesario, el vino deberá pasar a procesos opcionales como son la refrigeración, cuando las temperaturas de las bodegas son muy altas o nuevos filtrados cuando se han generado cristales por los azúcares naturales de la bebida.

Son muchos los instrumentos y maquinaria que demandan energía en la producción de vino, la cual es

mayoritariamente eléctrica de origen fósil y gasoil. En estos procesos se generan emisiones contaminantes cuyos efectos negativos serían: el agotamiento de combustibles fósiles, ya que estos elementos son no renovables y su utilización en la intensidad actual predice su agotamiento dentro de los próximos cien años, y los problemas de salud ocasionados por la formación del *smog* fotoquímico que produce un microambiente irritante y nocivo ya que bloquea el paso de aire hacia los pulmones de los seres vivos.

Otro *hotspot* del proceso de producción de vino es la utilización intensiva de elementos de limpieza y desinfección. Durante la fermentación, trasiego y clarificado, el vino se cambia varias veces de recipiente, con su consecuente limpieza que se realiza con elementos químicos. Una conservación efectuada en recipientes limpios y desinfectados permite al vino desarrollarse de manera armoniosa a lo largo de su proceso de envejecimiento en botella sin necesidad de tratamientos previos. Sin embargo, este proceso de limpieza y desinfección puede perjudicar al medio ambiente puesto que contiene sustancias químicas contaminantes y potencialmente peligrosas que, cuando son depositadas en la basura o vertidas por los desagües, contribuyen a la degradación ambiental.

Las bodegas consumen agua en casi todas las fases del proceso productivo, fundamentalmente por las operaciones de limpieza requeridas tras cada etapa de elaboración. La naturaleza de la contaminación hídrica es principalmente orgánica, consecuencia de la materia seca del mosto o del vino o bien de microorganismos; aunque también contiene residuos minerales, restos de tierra, polvo o barro procedente de la vendimia; detergentes o agentes de limpieza como ácidos fosfóricos, clorhídrico y carbonato sódico entre otros; desinfectantes como cloro y sus compuestos; grasas y aceites procedentes de la maquinaria y aperos; y residuos de productos fitosanitarios que se encuentran en la uva, muchas veces por una inadecuada utilización de los plaguicidas.

La última etapa en el proceso productivo que se realiza en la bodega es el embotellado y embalaje del producto. El proceso de embalaje considera desde que el vino a granel llega a la planta de embotellado hasta que sale en dirección al destino, en este proceso el vino es embotellado y asignado a los diferentes formatos de venta, cajas o pallets, utilizando insumos que producen variados efectos ambientales.

El proceso de embotellado aporta efectos nocivos al medio ambiente como consecuencia del uso de los diferentes materiales de *packaging* como corchos, botellas, cartón, papel y otros, con el fin de que el producto quede listo para su distribución. A pesar de que la mayoría de los residuos que se utilizan en las bodegas son reciclados, existe un factor de impacto ambiental por el mero hecho de utilizar estos elementos, ya que contribuyen al agotamiento de minerales. Esta etapa impacta sobre el deterioro de la capa de ozono en términos de CO₂ debido principalmente a la contribución que realiza la utilización de botellas de vidrio.

En resumen, este proceso vinícola causa efectos considerables en el agotamiento de recursos y en el cambio climático debido al uso de combustibles fósiles, al uso de

elementos de limpieza y desinfección, a la contaminación hídrica y al uso de minerales en la fase de embotellado y al reciclaje en la etapa de embalaje. Además, todos estos *hotspots* impactan negativamente sobre la salud humana y, por tanto, es necesario actuar sobre ellos.

3 Medidas de mitigación del cambio climático

Esta sección busca examinar las iniciativas actuales en mitigación del cambio climático emprendidas por el sector vitivinícola organizadas en función del proceso en el que tienen lugar, es decir, cultivo de la vid y elaboración del vino.

3.1 Medidas en el cultivo de la vid

Una primera medida de mitigación a aplicar tiene que ver con el control de la cantidad de agua utilizada en el riego. Así, algunos viticultores hacen uso de técnicas agrícolas de riego que minimizan los caudales a emplear, como el riego por goteo, monitorizado con sondas de humedad [10]. También se puede optar por la tecnificación, mediante sistemas remotos, que permite monitorizar de forma óptima el viñedo y mejorar la toma de decisiones en base a datos e información objetiva.

Otras medidas para disminuir el uso de agua en el riego de los viñedos, tienen relación con la reutilización de agua depurada de la bodega [11] y con el aprovechamiento de aguas pluviales. La principal forma de reutilizar agua es mediante plantas de tratamiento y sistemas de decantación. Esta depuración es posible porque los desechos, en su mayoría, son biodegradables y los elementos tóxicos se encuentran en pequeñas concentraciones.

El suelo es la principal razón de ser de la viticultura, debe ser rico en material orgánico, capaz de retener los iones y los minerales inorgánicos que la planta necesita. El laboreo tradicional permite airear el suelo, movilizar minerales y regular su régimen hídrico, sin embargo, al mullir el suelo, se favorece la erosión y la extracción de horizontes infértiles. Por tanto, una medida alternativa para evitar estos efectos desfavorables del laboreo es la creación de una cubierta vegetal que aporte los nutrientes más complejos a la planta; mediante el sembrado selectivo de semillas de especies silvestres autóctonas con selección espontánea (trebolina, amapolas, leguminosas, especies de raíz corta etc...), es decir, fijadoras de nitrógeno. Este suelo “vivo” con los microbios y los insectos es más resistente a la compactación y está más protegido contra la erosión, además, mantiene su humedad y aumenta su permeabilidad.

Para mitigar los efectos del uso de fertilizantes en la viticultura, se han desarrollado una serie de medidas como, por ejemplo, la sustitución de herbicidas por laboreo mecánico, insecticidas por técnicas de confusión sexual, fungicidas por operaciones en la vegetación, el uso de cobre y azufre, así como abonos orgánicos y no de síntesis. En este sentido, una medida de mitigación más genérica, es la llamada viticultura

biodinámica u orgánica que busca la reducción e, incluso, eliminación total del uso de fertilizantes, herbicidas y plaguicidas nocivos para el ambiente con el fin de cuidar el entorno donde se desarrollan y mantener intactas las condiciones naturales de los factores abióticos (agua, suelo, etc). En un viñedo orgánico se intenta modificar mínimamente las condiciones naturales del entorno donde se encuentra y, para ello, se trabaja sólo con elementos naturales de la flora y fauna, con el fin de combatir plagas, fertilizar y alejar depredadores. Se trata de dejar que la naturaleza siga su curso y respete el ecosistema. No se matan las hierbas y plantas que crecen alrededor de las vides. Con esta técnica se favorece la biodiversidad de plantas y animales en el terreno y se deja que los viñedos crezcan más sanos y fuertes evitando la mayoría de las plagas comunes en los cultivos.

El aumento de la temperatura reduce la temporada del cultivo de la vid, provocando que la uva madure antes, lo que obligaría a vendimiar durante los meses más calurosos del verano. Esta subida de las temperaturas también modifica los niveles de azúcar y acidez de la uva, reduciendo la calidad, provocando que los vinos contengan un mayor grado alcohólico y pH muy elevados. Con el fin de actuar desde el viñedo y de forma natural, para contrarrestar los efectos del cambio climático y conseguir una uva de calidad suficiente con un menor contenido en azúcares, se proponen diferentes guías de actuación, en lo que se conoce como arquitectura del cultivo de la vid. Algunas de estas estrategias son el retraso de la poda para postergar la maduración y forzar la vendimia en otoño, la poda mínima del viñedo o el cambio a cepas más resistentes al calor.

3.2 Medidas en la elaboración del vino

Las bodegas utilizan energía para satisfacer sus necesidades de agua caliente, en su mayoría para lavados de barricas, cubas y líneas de transmisión así como para el consumo eléctrico requerido. Actualmente, la energía utilizada procede principalmente de fuentes fósiles, tales como, GLP, diésel o electricidad. Con el fin de mitigar el cambio se propone sustituir estas energías por otras renovables como los sistemas fotovoltaicos, eólica, biomasa, geotermia, etc.

Otra actuación que se puede llevar a cabo es la reducción del consumo de energía puesto que también impacta positivamente en el cambio climático. Para ello, entre otras, se introducen medidas del tipo: aislamiento de las cubas de acero; aislamiento de paredes; construcción de almacenes subterráneos para aprovechar al máximo la gravedad en la recepción y transporte de la uva; incorporación de sistemas de eficiencia energética en los edificios; racionalización del sistema de renovación de aire favoreciendo la ventilación y su circulación natural; así como el diseño de edificaciones con iluminación natural.

Otro proceso que conlleva un elevado consumo de combustible es el que procede de la maquinaria y de los vehículos utilizados en la elaboración del vino. La implementación de mejoras, tanto en la maquinaria como en los vehículos, podría disminuir las emisiones de CO₂. Así, por ejemplo, podría utilizarse hidrógeno, procedente

de la hidrólisis de agua a partir de energías renovables, como combustible en la maquinaria o sustituir los vehículos diésel actuales por híbridos.

Los productos químicos utilizados para la limpieza de cubas, barricas, líneas de transmisión, etc. pueden ser bastante nocivos tanto para el medio ambiente como para los trabajadores. La alternativa supondría la realización de la limpieza de barricas y depósitos con vapor de agua o agua caliente a presión en trenes de limpieza automáticos y/o la utilización de ozono para su desinfección.

La última etapa del proceso productivo que se realiza en la bodega, el embotellado y embalaje del producto, también precisa de la implantación de medidas de mitigación. Entre ellas destaca la innovación en envases más sostenibles que cumplan las '3 R': reducir, reutilizar y reciclar. La creación de botellas con un peso más reducido conlleva una disminución de los recursos necesarios para su producción ya que requieren menos energía en su fabricación y también en el transporte, suponiendo una reducción de las emisiones de CO₂.

Otra forma de contribuir al cuidado del medio ambiente es utilizando nuevos envases como el bag-in-box (envase de cartón con un envase de plástico conteniendo el vino en su interior) que poseen un factor de emisión de CO₂ de un 50% menor que el de una botella de vidrio tradicional.

Además del diseño de la botella, es importante el del tapón. Conviene que sean taponeros más cortos, de polímeros mejorados de base vegetal (como caña de azúcar) y que cumplan al 100% con el reciclado. Estudios pioneros en España han demostrado que el tapón de corcho es el único cierre sostenible del mercado que protege el entorno natural, influye en la vinificación de los vinos y mejora sus propiedades organolépticas y su sabor en boca.

4 Conclusiones

Ese trabajo ha mostrado en primer lugar, los principales impactos ambientales provocados por la vitivinicultura, teniendo en cuenta las dos principales etapas en la elaboración del vino: el cultivo y la producción, y en segundo lugar, se han presentado algunas de las medidas de mitigación más comunes que permiten gestionar dichos impactos.

Como conclusión y con la finalidad de poder configurar una bodega respetuosa con el medio ambiente, el esfuerzo debería comenzar educando al personal de la bodega en materia de sostenibilidad, para poder favorecer el reciclaje, el uso de energías renovables, controlar los consumos (agua, electricidad, gasóleo,...), reducir la necesidad y carga de iluminación artificial, mejorar los aislamientos térmicos, reducir los pesos de los envases y diseñar nuevos modelos, adquirir maquinaria, instalaciones y vehículo de bajo consumo. En cuanto a las medidas a adoptar en el proceso del cultivo de la vid deberían ponerse en marcha medidas de gestión de riegos, modificación de fechas de las vendimias, cultivo de nuevas variedades de uva o cambios en la arquitectura del

cultivo.

Este trabajo pretende servir de guía de buenas prácticas para todas aquellas bodegas que están tomando conciencia de la importancia de llevar a cabo acciones concretas para aliviar el cambio climático. Esto no siempre es fácil, debido, por una parte, a la falta de concienciación y disposición para actuar y, por otra, a las barreras existentes, que van desde el desconocimiento de las técnicas a aplicar y de su fiabilidad, hasta los elevados costes económicos que suponen la implementación de algunas de ellas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos ECO2016-77-P y ECO2016-79392-P (AEI/FEDER, UE).

Referencias

1. A.B. Tate. Global warming's impact on wine. *J. Wine Res.* 12, 2, 95–109 (2001)
2. M. Venkataramanan. Causes and effects of global warming. *Ind. J. Sci. Technol.* 4, 3, 226–229 (2011)
3. K.L. Blackmore, I.D. Goodwin, Analysis of Past Trends and Future Projections of Climate Change and their Impacts on the Hunter Valley Wine Industry, Hunter and Central Coast Regional Environmental Management Strategy, Newcastle upon Tyne (2009)
4. J. Santisi. Warming up the wine industry. *E: Environ. Mag.* 22, 6, 15–17 (2011)
5. H.R. Schultz. Climate change and viticulture: research needs for facing the future. *J. Wine Res.* 21, 2/3, 113–116 (2010)
6. I. Bernetti, S. Menghini, N. Marinelli, S. Sacchelli, V. AlampìSottini. Assessment of climate change impact on viticulture: economic evaluations and adaptation strategies analysis for the Tuscan wine sector. *Wine Econ. Policy* 1, 73–86 (2012)
7. K.L. Christ, R.L. Burritt. Critical environmental concerns in wine production: An integrative review. *J. Clean. Prod.* 53, 232–242 (2013)
8. A. Chel, G. Kaushik. Renewable energy for sustainable agriculture. *Agron. Sustain. Dev.* 31, 91–118 (2011)
9. U.A. Schneider, P. Smith. Energy intensities and greenhouse gas emission mitigation in global agriculture. *Energy Effic.* 2, 195–206 (2009)
10. A. Lereboullet, G. Beltrando, D.K. Bardsley. Assessing Vulnerability and Framing Adaptive Options of two Mediterranean Wine Growing Regions Facing Climate Change: Roussillon (France) and McLaren Vale (Australia). *EchoGéo* [En ligne], 23, mis en ligne le 05 juin 2013, consulté le 26 mars 2018. <http://journals.openedition.org/echogeo/13384> DOI : 10.4000/echogeo.13384 (2013)
11. M. R. Mozell, L. Thach. El impacto del cambio climático en la industria mundial del vino: desafíos y soluciones. *Economía del vino y política*, 3, 2, 81-89 (2014)