

RESPUESTA AL DÉFICIT HÍDRICO DE LA VID: MANERAS DE ADAPTARSE A LA SEQUÍA AL INCREMENTAR LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA

por ENRICO CRETAZZO

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA Y PESQUERA, CENTRO DE CHURRIANA, 29140, MÁLAGA, ESPAÑA.

ENRICO.CRETAZZO@JUNTADEANDALUCIA.ES

Enviado: 11 diciembre 2015. Aceptado: 16 diciembre 2015

El futuro de la viticultura está seriamente amenazado por el cambio climático y por su evolución en los próximos años. El aumento de temperatura, debido a la mayor concentración de CO₂ en la atmósfera, y el consiguiente incremento en la demanda evapotranspirativa por el ambiente (y por tanto en término de estrés hídrico para las plantas), podrían hacer inviable, o cuanto menos inapropiado, el cultivo de la vid en el Mediterráneo durante este mismo siglo. Por tanto, con el objetivo de evitar, o al menos retardar al máximo, este panorama, se hace necesaria la optimización del uso de los recursos hídricos. Por un lado se busca un perfeccionamiento tecnológico en el campo de la gestión del riego. Por otro lado se ahonda en el conocimiento de los procesos fisiológicos de la vid y en los mecanismos moleculares que subyacen, al depender ambos del genotipo y del ambiente. La influencia ambiental se puede estimar mediante modelos matemáticos probabilísticos. La vid presenta una muy amplia variabilidad genética con variedades bien adaptadas en microclimas que presentan sequía estacional más o menos intensa. Estos genotipos tienen la capacidad de inducir respuestas al déficit hídrico que dan lugar a una mayor eficiencia en el uso del agua. Por tanto, pueden representar la base de programas de mejora y proporcionar los conocimientos para una elección varietal más correcta de cara a la adaptación de la vid en los nuevos hábitats que vendrán impuestos por el cambio climático.

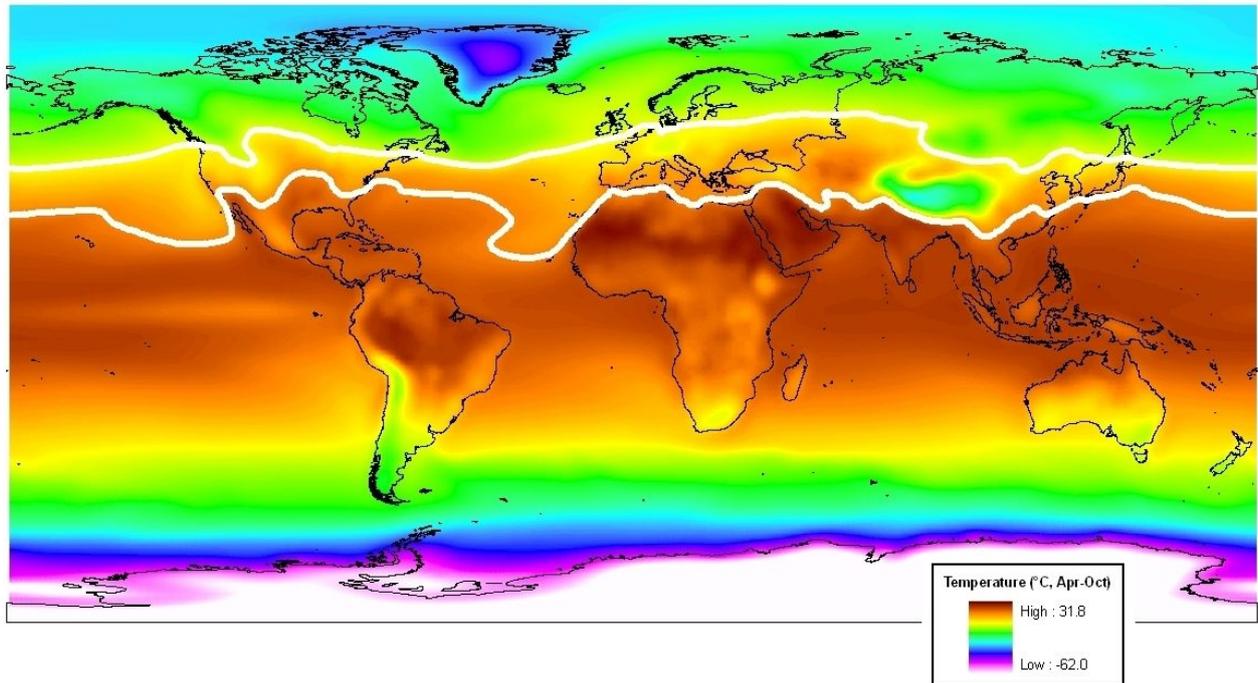
Climate change represents a serious threat for the future of viticulture. The temperature increase, due to a major atmospheric CO₂ concentration, leads to a higher environmental evapotranspiration demand that is a major hydric deficit for plants. All that may be impossible, or at least unprofitable, cultivating grapevine in the Mediterranean area along this century. Therefore, the optimization of water use is necessary in order to avoid, or at least delay, this scenario. On one hand, researchers are constantly looking for technological advances in irrigation management. On the other hand, a deep understanding of vine physiological processes and related molecular pathways is necessary, because they depend both on genotype and on environment that can be estimated by mathematics models. Grapevine shows a huge intraspecific genetic variability, so it is possible to identify genotypes very well adapted to seasonal drought. They have capability to induce favorable response to water stress in order to achieve a better water use efficiency. Therefore such as genotypes represent the genetic basis for breeding programs and could supply knowledge for varietal choice in order to improve vine adaptation to new microclimates due to climate change .

La vid y el cambio climático

La vid (*Vitis vinifera*) es un cultivo extenso y económicamente importante en el mundo, pero sobre todo en Europa y en España. Nuestro país cuenta con la mayor superficie vitícola del mundo (más de 950 000 ha), con gran importancia económica (1000–1500 millones de euros, lo que supone más del 10 % de la producción agraria), social (con unos 400 000 productores, lo cual representa un recurso fundamental para el fomento de la fijación de población rural), ambiental y paisajístico. El mantenimiento de la viticultura ya se ve ahora, y lo será más en futuro, afectado por el proceso de cambio climático, en concreto por la escasez de agua y la elevada temperatura, lo que contribuye a su vez a incrementar aún más el gasto de un agua cada vez más escasa.

La temperatura y el agua son los principales factores que hacen posible la vitivinicultura y más en general la agricultura. La temperatura determina la fenología de un cultivo, mientras que el agua permite su crecimiento y el óptimo desarrollo en cada estadio fenológico. El cultivo de la vid solo resulta provechoso en una restringida franja de latitudes con determinadas condiciones climáticas (Figura 1). No obstante, existen miles de variedades cultivadas que, de acuerdo al elevado nivel de diferencias genéticas entre ellas, presentan a menudo cierta especificidad frente a determinados microclimas y condiciones edafológicas. En otras palabras, cada variedad de vid expresa plenamente su potencial vitivinícola en una franja aún más restringida, lo cual es la base del concepto tan de moda que es el *terroir*.

Northern Hemisphere 1999 Growing Season Average Temperatures (°C, Apr-Oct)



Southern Hemisphere 1999 Growing Season Average Temperatures (°C, Oct-Apr)

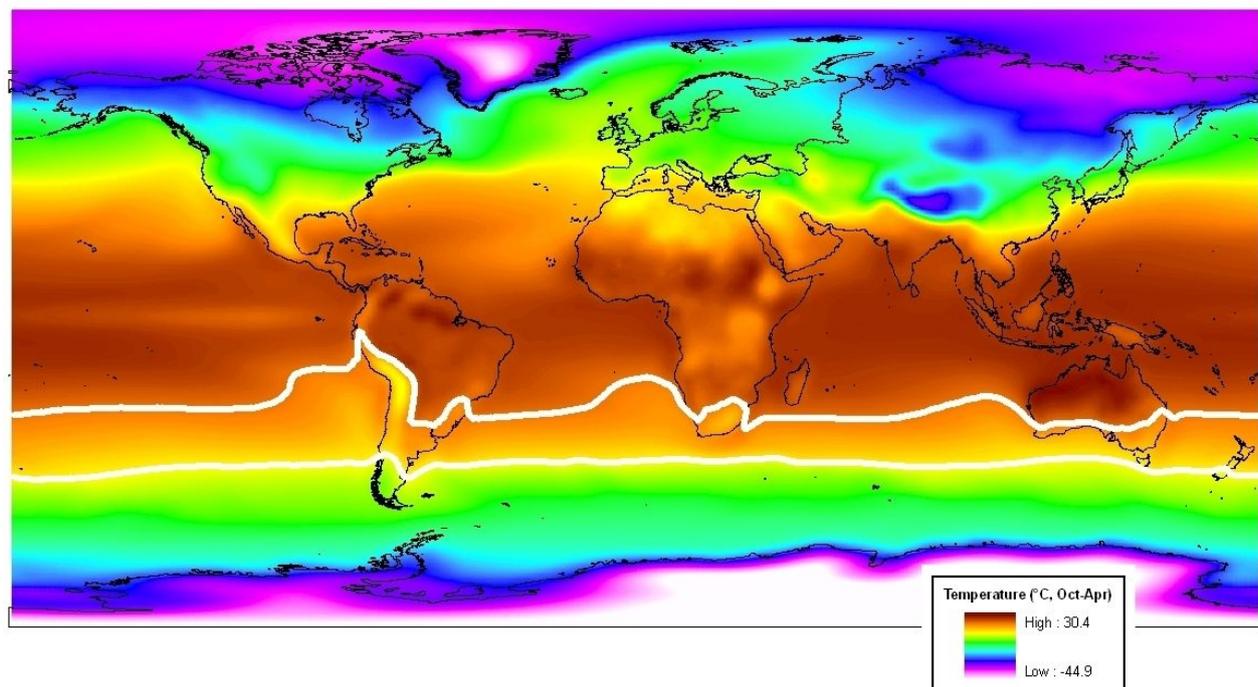


Figura 1. Regiones geográficas (delimitadas por las líneas blancas) en donde el clima permite una correcta viticultura. (Reproducida con permiso).

El clima de tipo mediterráneo encaja perfectamente para el cultivo de la viña. Está caracterizado por sequía estacional más o menos intensa. Durante esta fase, la vid (así como la mayoría de otras especies vegetales) se enfrenta a un déficit hídrico. En otras palabras, la demanda evapotranspirativa de agua por parte del ambiente frente al cultivo es mucho mayor

que el aporte natural de agua recibido por el cultivo. Indudablemente, la vid posee una capacidad única en el mundo vegetal para sobrevivir y fructificar en estas condiciones debido a la capacidad de exploración radical, al eficiente control estomacal de la transpiración, y a su eficaz ajuste osmótico. Hasta los años 90, el cultivo de la vid en España estaba

permitido por ley solo en condiciones de secano. Sin embargo, hoy ya sabemos que hay años en los que el déficit hídrico puede hacer que la producción resulte cuantitativa y cualitativamente inaceptable, o que incluso perjudique la supervivencia de la planta. Por esto, y gracias a los avances tecnológicos en tema de riego localizado (por microaspersión o por goteo), hoy en día en muchas denominaciones de origen de vinos se permite la práctica del riego en determinados periodos del ciclo de la planta y según modalidades bien establecidas. Así, se permite un suministro de agua de tan solo un 30 % del déficit hídrico durante las fases cruciales de envero y maduración que no repercutirá apreciablemente sobre el rendimiento de las cosechas con respecto a un suministro integral del déficit hídrico ambiental. Este riego conlleva un considerable incremento de la calidad del fruto. De hecho, la superficie vitícola cultivada con el auxilio del regadío aumenta año tras año y en 2014 ya lo utiliza un 36 % de las viñas de España.

Sin embargo, el cambio climático está produciendo un lento pero inexorable aumento de las temperaturas que tiene y tendrá cada vez más consecuencias tanto a nivel práctico como de percepción por parte de la opinión pública. El incremento de la temperatura en envero y maduración está provocando un constante aumento en la acumulación de azúcares en la baya y su adelantamiento temporal con respecto al óptimo para cada variedad en su particular microclima. La consecuencia es que se hace realmente difícil para el viticultor detectar el momento preciso para la cosecha, ya que si se adelanta mucho no se habrá alcanzado la correcta maduración fenólica (indispensable para expresar al máximo el potencial aromático), si se retrasa mucho tendremos un grado alcohólico potencial demasiado alto, pérdida de acidez por respiración y, en las variedades tintas, posible degradación de los antocianos (compuestos responsables del color que son termolábiles). Obviamente, el trabajo de los bodegueros y enólogos se está complicando cada vez más de cara a la obtención de vinos de calidad.

Por otro lado, el incremento de temperatura suele venir acompañado por una disminución de las precipitaciones anuales. Además, la demanda evapotranspirativa del ambiente es directamente proporcional a la temperatura. Por tanto, el déficit hídrico estacional y las necesidades de agua para los cultivos van creciendo con el calentamiento global. También va cambiando el momento óptimo del riego porque están cambiando las fases fenológicas de su ciclo biológico: si el déficit hídrico empieza demasiado pronto en la fase de envero, no habrá suficientes divisiones celulares en la baya para alcanzar su óptimo desarrollo. De igual forma, un déficit hídrico durante el final de la

fase de maduración impedirá el correcto crecimiento de las células de la baya ya diferenciadas.

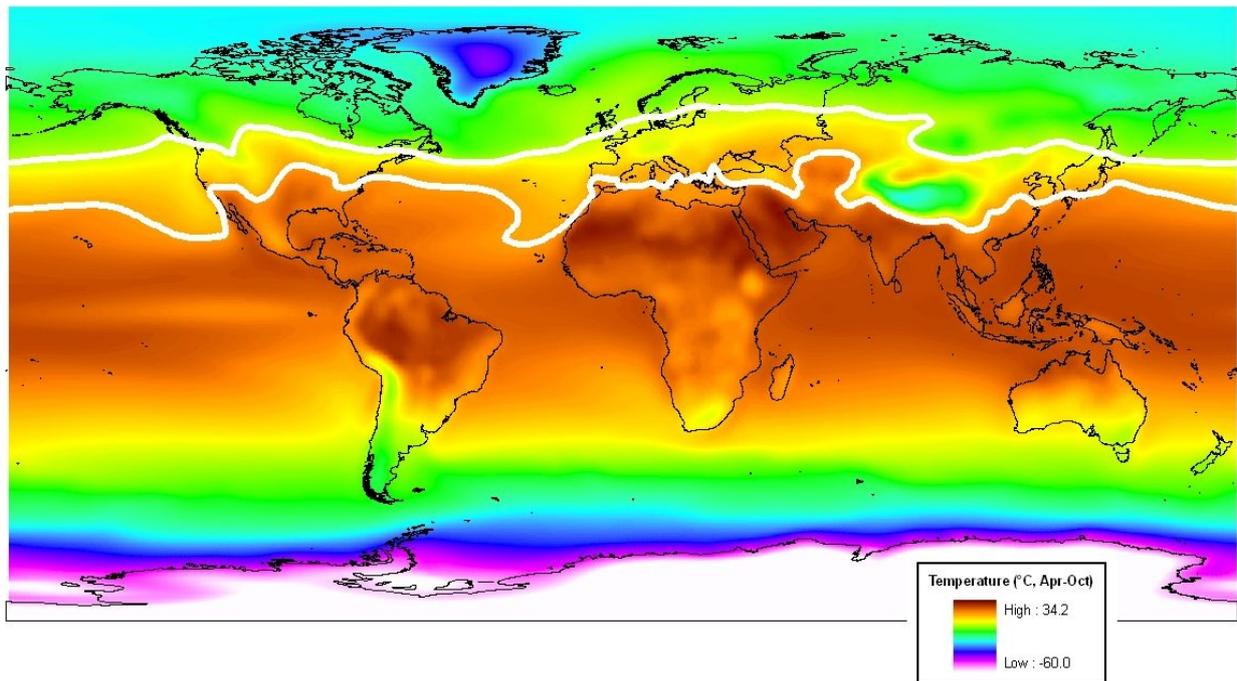
El agua se considera el petróleo del siglo XXI. De hecho, su disponibilidad pelagra por el fuerte y constante incremento de la población mundial que significa mayor requerimientos de agua tanto a nivel urbano como agrícola ya que se necesita una cantidad mayor de alimentos. El consumo de agua para uso agrícola varía entre un 50 % y un 80 % del consumo total, por lo que la opinión pública ha empezado a sensibilizarse por este problema, sobre todo al tratarse de un cultivo que no es imprescindible para la supervivencia humana. Mientras que antes, en la agronomía, se solía hablar de producción por hectárea, en la actualidad se mide la biomasa producida o la cosecha obtenida por unidad de consumo de agua, parámetros que se definen como «eficiencia en el uso del agua» (EUA). De forma general, la EUA se puede definir como el volumen de agua que se consume (evapotranspira) para incorporar a la biomasa una determinada cantidad de carbono (en forma de CO₂) procedente de la atmósfera.

Las predicciones futuras sobre el desarrollo de la viticultura mundial sugieren una probable y necesaria reubicación de las áreas de cultivo hacia las latitudes donde se supone que los hoy climas fríos tenderán a ser más templados (Figura 2), lo que repercutirá enormemente en las regiones geográficas (muchas de ellas situadas en España) donde la vitivinicultura tiene un peso socio-económico irremplazable. Por tanto, es algo que se intenta evitar o retrasar al máximo para que dé tiempo a encontrar alternativas económicas viables para las actuales zonas vitivinícolas. Esto pasa, evidentemente, por un aprovechamiento racional y optimizado de los recursos hídricos, como los estudiados en el proyecto **INNOVINE** para encontrar la forma de minimizar el consumo de agua sin interferir con la producción ni la calidad de las cosechas.

Maneras de medir o estimar la eficiencia en el uso del agua

En este complejo escenario, el aprovechamiento de la variabilidad intraespecífica de la vid resulta extremadamente necesario y ventajoso. A pesar de que se conoce bien la ecofisiología de la vid, todavía no se tiene una visión clara de los mecanismos fisiológicos asociados a la variabilidad existente sobre la EUA. Además, tampoco se han identificado muchos genes relacionados con respuestas fisiológicas asociadas al déficit hídrico (RDH). Por eso se ha financiado un proyecto de colaboración entre el IFAPA (Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera) de Churriana (Málaga), la Universidad de Baleares y la Universidad de Málaga para proporcionar una respuesta molecular a los fenotipos observados.

Northern Hemisphere 2049 Growing Season Average Temperatures (°C, Apr-Oct)



Southern Hemisphere 2049 Growing Season Average Temperatures (°C, Oct-Apr)

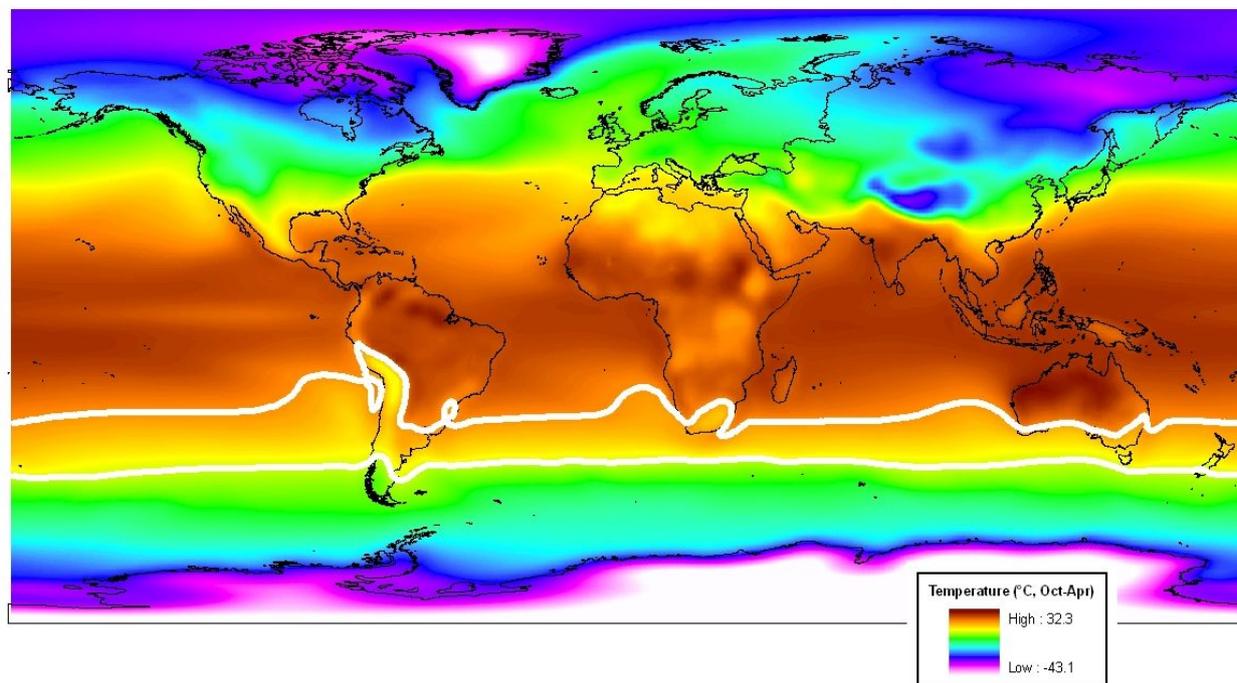


Figura 2. Regiones geográficas (delimitadas por las líneas blancas) en donde el clima permitirá una correcta viticultura en 2049 según modelos probabilísticos que tienen en consideración la probable evolución climática. (Reproducida con permiso).

El déficit hídrico tiene en conjunto importantes consecuencias para la fisiología y la morfología de las plantas, y provoca a corto y medio plazo un descenso del potencial hídrico, del contenido hídrico relativo y de la conductividad hídrica, así como un aumento de la síntesis de ácido abscísico (ABA). Estos hechos dan

lugar a un descenso de la conductancia estomática y del área foliar total, así como a cambios metabólicos provocados por la disminución de la concentración de agua en las células. En este contexto, las limitaciones de los procesos fotosintéticos provocadas por el déficit hídrico no son únicamente limitaciones a la difusión

de CO₂ hacia los cloroplastos, sino que también son importantes las limitaciones en las reacciones fotoquímicas, en el ciclo de Calvin y en el transporte de los nutrientes asimilados.

El déficit hídrico provoca en las hojas una pérdida de turgencia celular que, junto a la acción del ABA induce el cierre de los estomas. También tienen lugar limitaciones no estomáticas que afectan a diversos procesos fotosintéticos. Las consecuencias son, por una parte, la reducción del gasto de agua y, por otra, la disminución de la asimilación de CO₂ y por tanto del crecimiento y de la producción. No hay consenso sobre la importancia relativa de ambos tipos de limitaciones, pero, en cualquier caso, el cierre estomático limita más la transpiración de agua que la asimilación de CO₂, con lo que se incrementa la EUA. Así pues, la eficiencia en el uso del agua de las plantas dependerá principalmente de dos tipos de factores: en primer lugar, de las características propias de la especie y variedad que tengan relación con la capacidad de optimización de los procesos de asimilación de carbono y de evapotranspiración de agua; y en segundo lugar, de las características del ambiente en el que crece y se desarrolla la planta.

La EUA se puede medir a escala de cultivo o de ecosistema, a escala de planta entera y a escala de hoja, e incluso a escala temporal (el período de tiempo que se considera en la medida de la EUA). Esto complica tanto la medida como a la interpretación fisiológica y ecológica de este parámetro. De hecho, en las condiciones de campo resulta muy difícil conocer con exactitud la cantidad de agua que realmente han consumido las plantas, por lo que el consumo de agua se suele estimar a partir de la evapotranspiración y considerando datos indirectos de precipitación (ingreso de agua) y de volumen de agua perdido por escorrentía, percolación o evaporación directa del suelo.

La EUA a nivel de planta es un parámetro con un valor que solo se mide con precisión en condiciones experimentales, o sea, en las plantas cultivadas en maceta o en sistemas en los que el agua consumida puede medirse con exactitud. Sin embargo, presenta también dos inconvenientes: en primer lugar se trata de una medida realizada en condiciones experimentales, por lo que su extrapolación a condiciones reales de campo debe ser llevada a cabo con cautela; y en segundo lugar, su medida es muy sencilla pero muy laboriosa debido a que el consumo de agua se realiza por diferencia de peso y la producción de biomasa radicular implica la separación de las raíces del suelo, lo que no siempre es sencillo. A pesar de estos dos inconvenientes, la EUA a nivel de planta entera es un parámetro muy útil en la comparación de especies

y variedades.

La medida de la EUA a escala foliar es una forma relativamente sencilla de medir la EUA a escala de planta entera. Se consigue medir por el intercambio de gases, técnica que generalmente integra un período de tiempo breve o muy breve, y también mediante el análisis de la discriminación isotópica del carbono, que integra un período de tiempo mucho mayor.

Estudio e importancia de la EUA a escala foliar

Las medidas de intercambio de gases en hojas permiten determinar la transpiración (salida de agua de la planta) y la fotosíntesis neta (entrada neta de CO₂ en las hojas). La EUA a escala foliar es el cociente de estos dos parámetros, y se considera a dos niveles. En primer lugar, la eficiencia de la transpiración, esto es: asimilación de CO₂/transpiración ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$); en segundo lugar, la eficiencia intrínseca en el uso del agua: asimilación de CO₂/conductancia estomática ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$). Como se ve, ambas formas de medir la EUA tienen las mismas unidades, pero la diferencia fundamental es que la eficiencia de la transpiración depende de la planta y de las condiciones ambientales, de forma que un mismo grado de apertura estomática puede traducirse en una tasa de transpiración muy diferente si la humedad ambiental varía; mientras que la eficiencia intrínseca mide diferencias relacionadas con la capacidad de la hoja para regular la fotosíntesis y la conductancia estomática, y que son independientes de las condiciones atmosféricas en el momento de la medida.

La estimación de la eficiencia en el uso del agua mediante el análisis de la discriminación isotópica del carbono se basa en la coexistencia de forma natural en la atmósfera de dos isótopos estables de carbono: ¹²C y ¹³C. Ambos isótopos presentan características químicas idénticas, pero el hecho de que el ¹³C sea más pesado que el ¹²C da lugar a que la tasa de difusión del ¹³C en la hoja, y la de su asimilación por la enzima RuBisCo, son más bajas que la del ¹²C, por lo que la proporción de ¹³C es menor en los tejidos vegetales que en la atmósfera. Esta proporción varía con la disponibilidad de CO₂ en la hoja, y por tanto con la conductancia estomática. De esta forma la discriminación isotópica del ¹³C de la hoja está íntimamente ligada con la eficiencia intrínseca de esa hoja durante todo el período de formación de la misma. Por desgracia, ninguna de las dos técnicas permite obtener resultados que sean fácilmente extrapolables a escala de planta entera.

La relación fotosíntesis/apertura estomática ha sido objeto de amplios estudios en vid. Se ha visto que, al igual que en otros cultivos, cuanto más se

riega la planta, menor es su EUA. De aquí se deduce que el control de la disponibilidad de agua en las raíces (que indirectamente regulan la apertura de los estomas) permite controlar la EUA. Induciendo el cierre de la mayoría de los estomas a través de un estrés hídrico en la raíz, se consigue maximizar la EUA. Sin embargo tampoco se puede someter a las plantas a una sequía intensa, porque un cierre estomático total (o cuanto menos mayoritario) también conlleva una EUA muy mala debido a la imposibilidad de asimilar CO_2 . O visto de otra forma, en valores extremos de sequía, las plantas se tornan menos eficientes en el uso del agua.

Como se ha mencionado anteriormente, la eficiencia intrínseca no obedece directamente a las condiciones ambientales en el momento de la medida, sino que depende de la tensión hídrica entre hojas y raíz (señal hidráulica) y de la señalización hormonal desde la raíz mediante el ABA. Esta señal hormonal, en muchas ocasiones, se pone en marcha en cuanto las raíces se dan cuenta del déficit, antes de que se produzca tensión hídrica. En todo caso, la eficiencia intrínseca parece estar estrictamente vinculada a los genotipos (el de la variedad en la respuesta a la tensión hídrica, el del portainjerto en la respuesta al déficit hídrico en suelo). Por lo tanto, a pesar de la tendencia general, entre las variedades de vid se pueden detectar diferencias que son determinantes a la hora de la elección varietal en un hábitat microclimático concreto. La intensidad y rapidez con la que una variedad tiende a cerrar los estomas frente a una señal de déficit forma parte de su RDH, con lo que se clasifican como alarmista (o isohídrica) o bien como optimista (o anisohídrica). En el primer caso, las plantas cierran prontamente los estomas, con lo que limitan la conductancia (y por tanto la pérdida de agua), mientras que en el segundo caso, las plantas los cierra con más lentitud. En primera instancia se puede decir que las variedades alarmista tienen una EUA mayor que las optimistas. Sin embargo, entran en juego otros factores vinculados también al RDH, que en muchas circunstancias hacen más complicada la ecuación.

Por ejemplo, una limitación excesiva de la transpiración en condición de altas tasas de insolación podría

incrementar demasiado la temperatura de las hojas, lo cual repercute negativamente sobre el proceso fotosintético. Por otra parte, hay variedades optimistas que consiguen escaparse de la deshidratación mediante cambios en la arquitectura foliar por modificación del ángulo de inclinación de las hojas con respecto a la luz incidente. En tal caso, se pierde menos agua por evaporación sin que la fotosíntesis se vea afectada, ya que los estomas no se cierran tanto como en las variedades isohídricas y siguen permitiendo la entrada de CO_2 . Las limitaciones no estomáticas como el embolismo xilemático o la reducción del crecimiento foliar también podrían menguar los efectos del cierre estomático sobre la EUA.

Los miembros del proyecto de investigación mencionado más arriba estamos convencidos de que el conocimiento de las bases genéticas que regulan el conjunto de respuestas fisiológicas de vid frente al déficit hídrico nos permitirá predecir cómo responderá y se adaptará cualquier cepa de vid frente al déficit hídrico, y apoyar así la sostenibilidad de los viñedos, en las condiciones ambientales actuales y, sobre todo, futuras en función de las modificaciones climáticas que se esperan.

Bibliografía

- ¹Chaves MM, Zarrouk O, Francisco R and others. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data *Annals of Botany* 105: 661-676, 2010.
- ²Costa JM, Vaz M, Escalona JM, and others. Modern viticulture in southern Europe: vulnerabilities and strategies for adaptation to water scarcity. *Agricultural Water Management Article ID 10.1016*, 2015.
- ³Goode J. Fruity with a hint of drought. *Nature* 452: 351-353, 2012.
- ⁴Jones GV. Climate change and the global wine industry. *Proceedings of the Thirteenth Australian Wine Industry Technical Conference*, 1-8, 2007.
- ⁵Medrano H, Bota J, Cifre J y otros. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas* 43: 63-84, 2007.
- ⁶Medrano H, Flexas J. Respuesta de las plantas al estrés hídrico. En: *La Ecofisiología Vegetal, una ciencia de síntesis* (Ed. Thomson-Paraninfo), 253-286, 2003.
- ⁷Tomás M, Medrano H, Pou A and others. Water-use efficiency in grapevine cultivars grown under controlled conditions: effect of water stress at the leaf and whole plant level. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 18: 164-172, 2012.