

Evaluación del efecto terroir sobre la calidad de la uva y el vino (I)

RESUMEN**Palabras clave:****ABSTRACT****Key words:****J.L. ALEIXANDRE¹, J.F. GINER² y
J.L. ALEIXANDRE-TUDÓ¹**

(1) Departamento de Tecnología de Alimentos.

(2) Departamento de Producción Vegetal.
Universidad Politécnica de Valencia.

El término terroir forma parte del vocabulario francés desde el siglo XII, definiéndose como un conjunto de tierras agrícolas (BODIN, 2003). En la actualidad, en Francia se utiliza con frecuencia para la clasificación de muchos productos específicos de su lugar de origen, extendiéndose también este concepto a Europa. Esta palabra es de origen latino relacionado con la palabra «tierra», sin embargo, los romanos utilizaron la palabra '*genius loci*' para indicar un lugar adecuado para la producción de alimentos de calidad excepcional. No obstante, el concepto de terroir ha sido a menudo un tanto ambiguo, ya que en un principio correspondía a la definición de viñedo (SILORET, 1978) y estaba estrictamente ligado al concepto del ecosistema determinante de la originalidad y calidad de un vino (LAVILLE, 1990). La evolución del término terroir encontró una explicación racional, basada en el conocimiento científico a través de los conocimientos agronómicos, a principio de los años 90.

Este concepto es la base del sistema de denominaciones de origen y de la zonificación para el desarrollo de productos de un territorio específico (FREGONI, 2003a). Es imposible justificar la diversidad de vinos varietales producidos en las diferentes regiones vitivinícolas del mundo únicamente con las técnicas de cultivo del viñedo y de vinificación que se utilizan actualmente. Por lo tanto, cabe pensar que esta diversidad depende del efecto de algún otro factor, estableciéndose ya en 1855 la primera clasificación jerárquica de los viñedos de Burdeos en base al terroir (RIBÉREAU-GAYON, 2003).

Es interesante observar la diferencia entre el potencial medioambiental de un lugar y el potencial de un viñedo determinado. Esta es la base de las di-

ferencias entre el terroir natural o elemental y el terroir vitivinícola. Según LAVILLE (1993), «la unidad de terroir natural es un volumen de la biosfera terrestre que se caracteriza por un grupo específico de valores estables del relieve, el clima, el suelo y el subsuelo, es decir, muy pocas variables en este volumen, mientras que estos valores varían considerablemente a través de unidades adosadas». Por contra, «para un determinado tipo de cultivos (árboles, vid, forrajes, etc.), un terroir es un conjunto de estas unidades definidas en función de la especificidad de las producciones que allí se obtienen (vino, queso, etc.)».

La Oficina Internacional de la Viña y el Vino (OIV) ha definido el concepto de producto de Denominación de Origen desde 1947. Un vino o un aguardiente de vino no puede estar amparado por una Denominación de Origen más que si está consagrado por el uso y tiene una reputación constatada. Esta reputación debe resultar de las características cualitativas determinadas por los siguientes factores:

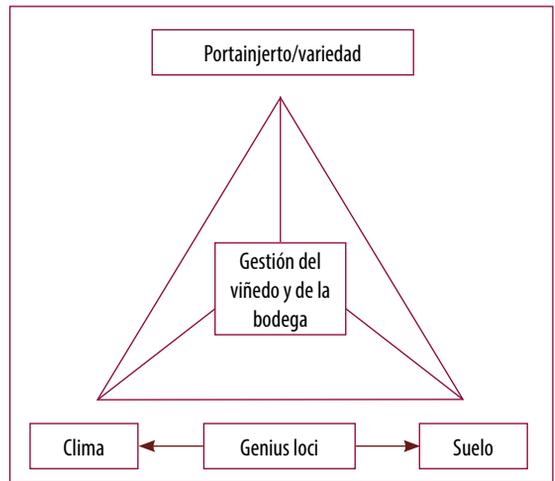
1) Los factores naturales, cuyo papel es decisivo: el clima, el suelo, las variedades, y la exposición. Estos permiten definir un área de producción que debe ser limitada.

2) Los factores debidos a la intervención del hombre, cuyo papel es más o menos importante: métodos y técnicas de cultivo y de vinificación.

Recientemente, a nivel mundial se adoptó por la OIV (2010b) la siguiente definición de terroir vitivinícola: «El terroir vitivinícola es un concepto que hace referencia a un espacio sobre el que se desarrolla un conocimiento colectivo de las interacciones entre un medio físico y biológico identificable y las prácticas vitivinícolas aplicadas, que confieren las características distintivas a los productos originarios de este espacio. El terroir incluye las características específicas del suelo, la topografía, el clima, el paisaje y la biodiversidad». El terroir se define, por lo tanto, como una zona geográfica singular y limitada. Los productos de terroir se caracterizan normalmente por su originalidad y tipicidad, especialmente en Europa.

Sobre la base de la definición oficial propuesta por la OIV, el conocimiento de los terroirs se realiza a través del estudio de diversos factores como el clima, el suelo, variedad de uva, portainjerto, y las prácticas culturales y enológicas (SEGUIN, 1986,

FIGURA 1. Factores que intervienen en el terroir vitivinícola (FREGONI, 2003b).



1988; RIOU *et al.*, 1995; FREGONI, 2003b). De esta manera, cada región vitícola puede ser representada por un territorio caracterizado por un potencial vitícola específico que influye en el funcionamiento del viñedo y puede jugar un papel importante en la calidad final del vino (MORLAT, 2001).

En la *Figura 1* viene la representación gráfica de los factores que tienen gran influencia en el terroir vitivinícola.

Los factores medioambientales que garantizan una viticultura de calidad deben permitir la sucesión regular de las diferentes fases del ciclo anual de la vid. En particular, durante la maduración deben maximizar la biosíntesis y acumulación de azúcares en las bayas y órganos perennes (MORLAT, 2001; VAUDOUR, 2003). Las variables más importantes a tener en cuenta varían en función del suelo de acuerdo con las condiciones climáticas y geo-pedológicas diferentes que interaccionan con las variedades específicas de cada región. Esto es un criterio determinante para los viñedos que tienden hacia los límites del cultivo de la vid (51° Lat Norte y 45° Lat Sur) como Alemania o el Norte de Francia. Sin embargo, se convierte en secundario en el caso de variedades que se caracterizan por una baja acumulación de antocianos en las bayas como Sangiovese, Nebbiolo, Garnacha, Pinot Noir, etc. En particular, el Sangiovese prefiere los climas cálidos, que se caracterizan por índices de Winkler entre 1.700 y 2.000, una ele-

vada amplitud térmica diaria, y una precipitación anual de 700–800 mm (GATTI et FREGONI, 2009). En estas condiciones, los mejores suelos son aquellos en los que se maximiza la síntesis y acumulación de antocianos así como en los que la uva está protegida de la sequía y de la insolación. Además, es importante tener en cuenta que la influencia del terroir sobre la calidad de la uva y el vino no puede explicarse únicamente por factores simples. El terroir es un sistema complejo identificable en una cadena de parámetros al final de los cuales se encuentra la respuesta de la vid (MORLAT, 1989). En este sentido, no es posible llevar a cabo el estudio del terroir según un enfoque analítico clásico considerando una única variable aislada.

Los factores climáticos

La insolación

La insolación es la variable climática que más relacionada está con la actividad fotosintética de la planta. En una hoja con buena insolación la fotosíntesis aumenta según un modelo asintótico, donde el punto de saturación corresponde a la intensidad de la luz, por encima de la cual ya no se produce un cambio en la actividad fotosintética. Esta condición se alcanza para un nivel dado de PAR (radiación fotosintéticamente activa) que varía entre 800 y 1.200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Esta tendencia asintótica no se ve afectada por la variedad, el medio ambiente y las prácticas de cultivo (PONI, 2002). Sobre la base de los conocimientos actuales casi el 85% de la radiación es absorbida por la hoja y el 9% es transmitida al interior de las hojas (SMART, 1985). En estas condiciones, en un día caracterizado por un cielo claro, la intensidad de la PAR es suficiente para asegurar un alto nivel fotosintético, no siendo por lo tanto un factor limitante de la fotosíntesis. Sin embargo, la superficie foliar más interna de la planta se caracteriza por niveles de fotosíntesis progresivamente más bajos.

A medio plazo, un número de hojas crece en régimen microclimático de sombreado caracterizado por una PAR inferior de 150–200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, alcanzándose más rápidamente el punto de saturación luminoso, incluso si su tasa fotosintética es menor que la de las hojas con una buena exposición (PALLIOTTI et al., 2000). Un período más largo, en el

ciclo anual de la vid, con la exposición prolongada de las hojas a la radiación directa induce a una disminución en la capacidad fotosintética y a una senescencia más rápida debido a la aparición de estrés térmico (SILVESTRONI et al., 1993). Esto es evidente para la superficie foliar que está orientada al Sur o en las formas de conducción horizontales.

La superficie foliar del viñedo se caracteriza por una población homogénea de hojas que alcanzan su máxima eficacia fotosintética entre la sexta y séptima semana de vida. Según la edad, la superficie foliar está normalmente dividida en tres niveles: basal, medio y apical. A lo largo del ciclo vegetativo de la vid, la capacidad de síntesis de los hidratos de carbono alcanza los valores más elevados en la parte apical de los sarmientos, siendo las condiciones térmicas óptimas que favorecen la actividad fotosintética temperaturas entre 30 y 32°C (PONI et al., 1994a). El umbral mínimo que garantiza el principio del ciclo vegetativo de la vid está fijado en 10°C, incluso si hay una gran variabilidad debido a la variedad y a la localización la vitícola (FREGONI, 2005).

La temperatura

La temperatura es muy importante debido a su participación en el metabolismo de la planta, sobre todo si existen elevadas temperaturas o heladas tardías de primavera (VAUDOUR, 2003; FREGONI, 2005). La temperatura, que tiene un efecto positivo en la actividad fotosintética, aumenta el contenido en azúcares de la uva (JACKSON y LOMBARD, 1993; ZAMBONI, 1996). La diferencia de temperatura entre el día y la noche no modifica significativamente el contenido en azúcares, pero la mayor acumulación de antocianos se produce para una temperatura de 25°C durante el día y 15°C por la noche (KLEWER y TORRES, 1972). Las temperaturas demasiado bajas o demasiado altas se asocian normalmente con una mala coloración de la uva. En particular, el efecto positivo de la luz sobre la síntesis de los antocianos va seguido de una degradación térmica que es totalmente negativa para las variedades caracterizadas por un bajo contenido en antocianos como el Pinot Noir y el Sangiovese (MABROUK e SINOQUET 1998; BERGQVIST et al., 2001; MORI et al., 2007). Las altas temperaturas son favorables a la formación de delphinidina y petunidina, en detrimento de la malvidina, debido a una ralentización de la actividad enzimática

ca en los granos de uva más expuestos al sol (STORCHI y TOMASI, 2005).

La calidad y síntesis de los aromas depende en gran medida de la variedad y de la temperatura, ya que la síntesis de los compuestos aromáticos aumenta hasta un máximo con la temperatura y después disminuye. Existe una correlación positiva entre la amplitud y la síntesis de terpenos y benzenoides (TOMASI *et al.*, 2006). Por el contrario, las pirazinas disminuyen durante la maduración y su concentración se ve favorecida por las bajas temperaturas y el sombreado de la uva (LACEY *et al.*, 1991).

La maduración normalmente se caracteriza por un aumento del pH, así como por la degradación de los ácidos orgánicos. La temperatura favorece la síntesis de los ácidos durante la fase herbácea del grano de uva. Por el contrario, juega un papel determinante en la degradación del ácido málico, que se produce más lentamente en las regiones frescas que en las regiones cálidas. La degradación del ácido málico se produce sobre los 30°C, siendo más sensible a la temperatura que el ácido tartárico que se degrada a los 37°C (FREGONI, 2005). La temperatura condiciona la elección de la variedad, ya que la maduración de la uva se produce durante la época más fresca de la estación pero suficientemente cálida para garantizar una buena madurez glucométrica, fenólica y aromática de la uva (JACKSON y LOMBARD, 1993).

Como consecuencia del cambio climático, los mejores terroirs deben evitar las condiciones de sobremaduración de la uva, que se traducen en vinos con contenidos alcohólicos muy elevados y una acidez a veces insuficiente. Además de que no siempre se aprecia la modificación del bouquet del vino hacia notas de confitura.

La temperatura también se ve influenciada por otros factores, tales como la latitud, altitud, inclinación y exposición del viñedo. La viticultura se desarrolla entre el paralelo 4 y 51 del Hemisferio Norte, y entre el 6 y 45 del Hemisferio Sur (SCHULTZ y STOLL, 2010). Sobre la base de la latitud, es posible clasificar la viticultura como tropical, subtropical, templada o fría. En 2002, el 70,5% de la viticultura mundial se encontraba en zonas templadas, mientras que el 10% se practicaba en el Hemisferio Sur (FREGONI y GATTI, 2007). Un cambio de 100 metros de altitud produce una disminución de la temperatura de 0,6°C (KRIEDMANN y SMART, 1971). El viñedo euro-

peo está normalmente situado entre 100 y 300 metros de altitud, aunque en algunos países como Italia (Valle de Aosta, el Etna), Suiza (Visp Valley) y España (Andalucía) la viticultura se practica también a una altitud superior a 1.000 m. En algunas regiones asiáticas o de América del Sur, próximas al ecuador, la viticultura se desarrolla entre 1.500 y 3.500 m, ya que la altitud permite corregir el efecto de la latitud (VAUDOUR, 2003; FREGONI, 2005).

La exposición

La exposición u orientación de las laderas es un factor muy importante, ya que favorece la viticultura en condiciones climáticas extremas y mejora la calidad de las vendimias. La orientación permite modificar el balance energético del viñedo y la pendiente aumenta la radiación solar incidente (HANCOCK, 1999 y 2005). Estos aspectos llegan a ser más importantes al principio y hacia el final del ciclo vegetativo que durante los meses más cálidos. En particular, la altitud permite evitar los riesgos de las heladas tardías, así como producir la maduración de la uva en otoño (HUGGETT, 2005). Según HANCOCK (2005), en una ladera con pendiente hay que diferenciar tres bandas térmicas siendo la zona media más cálida que la meseta y el valle, donde hay acumulación de masa de aire frío. Estas diferencias influyen mucho en las fases fenológicas, como es el caso del Pinot Noir que se cultiva en el pueblo de Lirio (Oltrepò Pavese, al Oeste de Italia). En los viñedos del pueblo, que se extienden sobre las lomas de Scuropasso, junto al río, a 165 metros de altitud, el Pinot Noir brota entre 10 y 15 días más tarde que en los primeros cerros que se encuentran orientados al Sur a 200 m de altitud y solamente a 500 m de distancia. En las regiones del Norte y en los viñedos de altura la exposición Sur y Sur-Oeste es la más favorable para la calidad de la uva y el vino, como lo ponen de manifiesto algunos ejemplos muy significativos, tales como los viñedos de las lomas orientadas al Sur del Valle Medio del Loira y Borgoña en Francia.

Algunas variedades requieren orientaciones específicas. En Italia, el Nebbiolo se cultiva en las laderas orientadas al Sur del Valle de Aosta y de la Valtellina, pero también para una altitud menor en las laderas orientadas al Sur y al Oeste de Barolo y Barbaresco (Piamonte, Italia). Por el contrario, en algunos

casos, la orientación Norte es la preferida, como en el caso de las variedades para la producción de champagne (Pinot Noir y Chardonnay) en la Montagne de Reims (Champagne). Como consecuencia del cambio climático, las orientaciones que normalmente se han considerado menos recomendadas desde el punto de vista cualitativo, actualmente son las más valoradas para la producción de vinos blancos o, más en general, de vinos menos alcohólicos.

La proximidad a las masas de agua (océanos, mares, ríos, lagos, etc.) garantiza una reducción de los gradientes térmicos diarios. Son favorables para la viticultura porque durante la noche liberan el calor acumulado durante el día, limitando el enfriamiento de la atmósfera. Los bosques ejercen también esta influencia de la misma manera, si bien su efecto es más débil. Además, cerca de los bosques el porcentaje de humedad es mayor y por lo tanto el ambiente es más favorable para el desarrollo de la podredumbre.

La pluviometría

La vid europea (*Vitis vinifera* L.) se adapta mejor que la mayoría de las otras especies a la sequía y, normalmente, la pluviometría anual de las zonas de cultivo es suficiente para satisfacer sus necesidades. Es por ello por lo que en Europa el riego de las variedades de uva de vinificación está prohibido desde hace mucho tiempo y no representa una práctica habitual. Sin embargo, el cambio climático está llevando a una fase de subtropicalización de la vertiente mediterránea (SCHULTZ, 2000), y recientemente diferentes países (España, Francia, Italia, etc.) han contemplado la posibilidad de realizar riegos de apoyo. La mayoría de las regiones vitícolas que elaboran vinos de calidad se caracterizan por una pluviometría entre 700 y 800 mm, mientras que en aquellas en las que se elaboran vinos de calidad inferior, normalmente hay un exceso de agua (por lluvias o riego excesivo), o bien fuertes restricciones hídricas. El estudio de las características climáticas del mejor terroir para algunas variedades (Sangiovese, Pinot Noir, Garnacha, y Nebbiolo) ha mostrado una variación de 296 a 521 mm de pluviometría entre abril y octubre (GATTI et FREGONI, 2009). La importancia de este parámetro se valora por la ETM (evapotranspiración máxima característica del cultivo) con el cálculo del balance hídrico, al objeto de

conocer una eventual limitación hídrica (VAUDOUR, 2003).

Durante la época de parada vegetativa, las lluvias que caen entre el otoño y el invierno afectan indirectamente a la fisiología de la vid. Una porción es retenida por el suelo y está disponible para las raíces durante el ciclo vegetativo, la otra alimenta la reserva en profundidad de la capa freática. Durante la fase vegetativa, las lluvias favorecen las infecciones de mildiu y podredumbre, mientras que a lo largo de la maduración pueden favorecer la podredumbre gris de la uva, así como la rotura de los granos.

La pluviometría elevada y el riego excedentario retrasan la maduración y reducen el potencial cualitativo de los vinos en las zonas frías o templadas. Un efecto similar se obtiene a partir del estrés hídrico. Los mejores resultados se observan cuando las fases de estrés se alternan con las fases de alimentación hídrica normal. En general, el exceso hídrico favorece el vigor de la planta y el rendimiento, debido a la formación de granos de mayor tamaño. Si se produce un exceso de agua, la uva y el vino presentan una disminución de la acidez y del contenido en antocianos, cuya síntesis se ve limitada por el mayor sombreado que producen las hojas (SMART y COOMBE, 1983; BRAVDO *et al.*, 1985). La disponibilidad en agua se traduce también en un aumento del pH y del contenido en potasio. El retraso en la maduración, inducido por el riego, no siempre reduce la cantidad en azúcares, sobre todo si se aplica un riego moderado durante las estaciones más áridas. Algunos investigadores han puesto de manifiesto la mejor calidad de los vinos procedentes de viñedos con déficit hídrico entre el envero y la recolección en comparación con los procedentes de los viñedos sin limitación hídrica (JACKSON y LOMBARD, 1993).

Índices bioclimáticos

La zonificación de los terroirs es una práctica multidisciplinaria que es realizada conjuntamente por numerosos profesionales. El estudio climático no se realiza únicamente con las variables que son fácilmente disponibles, como los valores medios diarios o mensuales, sino que es necesario que estas variables estén relacionadas con un cultivo específico para tener en cuenta las exigencias del viñedo. Las investigaciones de la influencia del clima sobre la viticultura han permitido la puesta a pun-

to de numerosos índices bioclimáticos basados en la temperatura, la radiación solar y la pluviometría. Tienen en cuenta uno o varios factores al mismo tiempo, estando clasificados en mono, bi o tri factoriales (FREGONI, 2005). Estos índices permiten la descripción y la delimitación de las zonas climáticas en tres escalas diferentes: el macroclima que se utiliza para definir una zona climática muy extensa, el mesoclima para una escala local, y el microclima que se identifica a nivel de la parcela.

Los índices térmicos

Se llaman temperaturas activas aquellas que alcanzan valores por encima del cero vegetativo establecido en 10°C, y se calculan como la diferencia entre la temperatura media y 10°C. A la suma de las temperaturas activas entre el 1 de abril y el 31 de octubre se llama Índice de Winkler (AMERINE y WINKLER, 1944), y se utiliza para estimar el potencial térmico de una región vitícola, proporcionando información importante acerca de la elección de la variedad. Las variedades más tardías se plantarían en las regiones más cálidas, mientras que en las zonas frías deberían plantarse las variedades más tempranas.

Actualmente, se utiliza la suma de las temperaturas activas entre abril y septiembre, junio y septiembre, y agosto y septiembre para reflejar el tiempo entre las principales etapas fenológicas: brotación, floración, envero y madurez, ya que en la mayoría de los viñedos del Hemisferio Norte la recolección se realiza en el mes de septiembre (BAVARESCO *et al.*, 2007).

1) Índice de Huglin

Se utiliza para establecer la disponibilidad térmica de la parcela. Se calcula entre el 1 de abril y el 30 de septiembre sobre la base de la temperatura activa y la temperatura máxima. Utiliza un factor de corrección relacionado con la duración del día, que depende de la latitud (*Cuadro 1*). En el Hemisferio Sur, se calcula entre el 1 de octubre y 31 de marzo. Muestra una buena correlación con el contenido en azúcar de diversas variedades (HUGLIN, 1986) y permite la evaluación del potencial térmico de una región vitícola. Además, ayuda a diferenciar las zonas que se caracterizan por una temperatura media igual pero con un gradiente diferente, proporcio-

CUADRO 1. Valor del coeficiente de corrección en función de la latitud

Coeficiente de Corrección	Latitud
1,02	De 40°1' a 42°0'
1,03	De 42°1' a 44°0'
1,04	De 44°1' a 46°0'
1,05	De 46°1' a 48°0'
1,06	De 48°1' a 50°0'

nando información para ser utilizada a la hora de elegir la variedad a plantar.

Se utilizó para predecir las variaciones de las variedades plantadas en Europa como consecuencia del cambio climático sobre la base de un valor medio calculado entre 1960 y 1990 en la estación experimental de Geisenheim (Alemania, 50° Lat N). Esta localidad es ideal para el cultivo de las variedades Muller Thurgau, Gewürztraminer, Pinot Gris, Riesling y Pinot Blanc. A causa del calentamiento climático, entre 1989 y 1999, este índice mostró un notable aumento, lo que permite el cultivo de variedades con altos requerimientos térmicos como es el caso del Sauvignon Blanc, Gamay, Pinot Noir y Chardonnay. En algunos casos, cuando este índice es próximo a 1.800, es posible evaluar la utilización de algunas variedades, como el Merlot y el Cabernet Franc, que están entre las variedades más precoces de las plantadas en la región de Burdeos (SHULTZ, 2000).

2) Índice de frescura nocturna

Se calcula teniendo en cuenta la relación existente entre el ambiente fresco de las noches y la biosíntesis de metabolitos secundarios durante la maduración de la uva. Para ello utiliza los valores medios de las temperaturas mínimas del aire durante el mes de septiembre en el Hemisferio Norte y marzo en el Hemisferio Sur (TONIETTO y CARBONNEAU, 2004).

Sobre la base de este índice, las regiones vitivinícolas se clasifican en 4 niveles:

- 1º. IF1 > 18°C: noches de clima cálido (Marsala, Málaga)
- 2º. IF2 > 14 y ≤ 18°C: noches de clima templado (Jerez, Montpellier, Madrid)
- 3º. IF3 > 12 y ≤ 14°C: noches de clima frío (Oporto, Burdeos)

4°. IF4 ≤ 12°C: noches muy frías (Vancouver, Colmar, Friburg, Reims, Angers)

3) Índice de Fregoni

Se obtiene mediante la integración de otros índices estudiados previamente por Fregoni. Al número de horas diarias, con temperaturas por debajo de 10°C, se suma la amplitud térmica diaria existente entre el envero y la recolección (FREGONI, 1973).

Este índice considera que el mes más importante para la maduración de la uva es el que precede a la vendimia, siendo el gradiente térmico muy importante para garantizar la síntesis y acumulación de antocianos (KLEWER y TORRES, 1972). Puede ser utilizado para la estimación de la calidad de la uva, y en particular para la madurez fenólica (FREGONI y PEZZUTTO, 2000). Se calcula sobre la base de la suma de la amplitud diaria de septiembre multiplicada por el número de horas por debajo de 10°C en el mismo mes. Utiliza como coeficiente multiplicador el número de días (dd) con temperatura mínima (Tmin) inferior a 10°C.

$$IFs = \sum(T_{max} - T_{min}) * dd \quad (T_{min} < 10^{\circ}C)$$

Permite evaluar los climas caracterizados por un gradiente térmico considerable y por noches frescas. Está calculado para el mes de septiembre en el Hemisferio Norte y para el mes de marzo en el Hemisferio Sur. Ha mostrado una correlación positiva con la calidad de las añadas en Montalcino (Italia), y en particular en las regiones frescas del viñedo chileno (FREGONI y PEZZUTTO, 2000; PSZCÓŁKOWSKI *et al.*, 2003; BAVARESCO *et al.*, 2008c).

Hidrología

La pluviometría acumulada puede ser considerada sobre una base anual o mensual. Como en el caso de la temperatura, es posible determinar la importancia de la pluviometría en función de los estados fenológicos. En el Hemisferio Norte, la brotación comienza en abril, la floración se produce en junio, el envero durante el mes de agosto, y la vendimia normalmente se realiza en septiembre. No obstante, este método requiere una verificación del ciclo de desarrollo de la vid para cada caso particular.

a) Índice de sequía:

Se define normalmente como el índice de balance hídrico, que está relacionado con la calidad potencial de las uvas (RIOU *et al.*, 1994). Tiene como objetivo poner en evidencia una condición hídrica, excedentaria o deficitaria, que dependa de la disponibilidad en agua del suelo y del clima.

Este índice calcula la reserva de agua del suelo durante un período de seis meses. En el Hemisferio Norte, este período suele establecerse entre el 1 de abril y el 30 de septiembre, mientras que en el Hemisferio Sur, este índice se calcula entre el 1 de octubre y el 30 de marzo. En el Hemisferio Norte, se calcula a partir de la reserva inicial de agua (W0) de 200 mm a 1 de abril. A este valor se le añade el de la pluviometría de la estación (P), deducida la de la transpiración de la viña (Tv) y la de la evaporación del suelo (Es).

$$IS = W_{30 \text{ Septiembre}} = W0_{(1 \text{ de Abril})} + P - Tv - Es$$

Por otra parte, en el Hemisferio Sur se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IS = W_{31 \text{ Marzo}} = W0_{(1 \text{ de Octubre})} + P - Tv - Es$$

Humedad del aire

La humedad relativa del aire es un factor importante que hay que tener en cuenta en el estudio climático de una zona, ya que tiene vínculos importantes con las variables de funcionamiento de la vid y con la calidad de la uva. El mínimo de humedad, especialmente cuando se calcula sobre la base de los calurosos meses de julio y agosto, es un indicador de la demanda de evaporación del aire, que está relacionada con la intensidad del estrés hídrico al que está expuesta la planta. La humedad máxima del aire es muy importante en el período comprendido entre mayo y junio y durante la maduración de la uva. En el primer caso, una humedad muy alta favorece el desarrollo de las enfermedades criptogámicas de la vid como *mildiu*, *oidium* y *botrytis*, dado que en este período la planta brota y crece rápidamente y es muy sensible a estas enfermedades. En el segundo caso, el desarrollo de *mildiu* produce una pérdida significativa de la producción. Una infección por *botrytis*, debido a la oxidación producida por la lacasa, puede comprometer la calidad de la uva y el vino.

Los índices multifactoriales

El índice heliotérmico de BRANAS (1974) pone de manifiesto el potencial cualitativo de los terroirs vitícolas, ya que tiene en cuenta la temperatura activa y la duración diaria de la radiación solar. Se calcula como la suma del producto entre la temperatura activa y de horas de radiación diaria durante el período de desarrollo de la planta, es decir, entre abril y septiembre.

El coeficiente hidrotérmico de Selianinov (FREGONI, 2005) se calcula por la relación entre la pluviometría en mm y la suma de las temperaturas activas entre abril y septiembre, multiplicándose el resultado por 10. Este índice es importante para evaluar la susceptibilidad de un terroir a la podredumbre. Un procedimiento similar se adopta para el cálculo del índice de Ribéreau-Gayon y de Peynaud (FREGONI, 2005), utilizándose en este caso la diferencia entre la suma de las temperaturas activas y la pluviometría durante el ciclo de desarrollo de la vid (abril a septiembre).

Clasificación Climática Multicriterio (CCM)

El sistema CCM Geovitícola consiste en una clasificación climática para una macro-caracterización de las regiones vitícolas. Para su cálculo se consideran el balance hídrico potencial, las condiciones heliotérmicas durante el ciclo vegetativo de la vid, así como la temperatura durante el periodo de maduración de la uva. Esta clasificación se basa en los tres índices siguientes:

a) Índice de Sequedad (IS). Se utiliza como indicador de un estado de sequía o no a través de la descripción de cuatro niveles donde los dos primeros representan las condiciones de humedad y los otros dos las condiciones de sequía.

b) Índice Heliotérmico (IH). Corresponde al Índice Heliotérmico de Huglin. Los autores distinguen entre seis clases sobre la base correspondiente a un potencial de maduración diferente. Por ejemplo, las zonas muy frías (IH-3) son adecuadas para el cultivo de variedades blancas tempranas, mientras que las zonas frías (IH-2) para otras como el Pinot Noir y Cabernet Franc.

c) Índice de Frescor Nocturno (IF). Está diseñado para estimar las condiciones térmicas durante la maduración de la uva. Se comparte el concepto que

constituye la base del índice de Fregoni con el fin de mejorar las temperaturas mínimas nocturnas que representan un potencial de calidad, sobre todo en lo que respecta a la formación de los metabolitos secundarios de la baya. •

Bibliografía

- AMERINE, M.A., WINKLER, A.J. Composition and quality of musts and wines of California grapes. (1944) *Hilgard*, 15, pp. 493–673.
- BAVARESCO L., PEZZUTTO S., GATTI M., MATTIVI F. (2007). Role of the variety and some environmental factors on grape stilbenes. *Vitis* 46 (2), 57–61. 188.
- BAVARESCO L., PEZZUTTO S., GATTI M., FREGONI M. (2008c). Relationships between the Fregoni bioclimatic index (IF) and wine quality. VII^{ème} Congrès International des Terroirs Viticoles, 19–23 mai, Nyon, Suisse. 134–141.
- BERGQVIST J., DOKOOZLIAN N., EBISUDA N. (2001). Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the central San Joaquin Valley of California. *Am. J. Enol. Vitic.* 52 (1), 1–7.
- BODIN F. (2003). Contribution à l'étude du terroir viticole en Anjou. Approche utilisant un modèle de terrain et une enquête auprès des vigneron. Thèse. Angers (FRA) : Université d'Angers. UFR Sciences.
- BRANAS J. (1974). Viticulture. Déhan, Montpellier.
- BRAVDO B., HEPNER Y., LOINGER C., COHEN S., TABACMAN H. (1985). Effect of irrigation and crop level on growth, yield and wine quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.* 36, 132–139.
- FREGONI M. (1973). Ecologia e viticoltura: adattamento degli obiettivi della produzione all'ambiente naturale. *Frutticoltura XXXV* (12), 9–25.
- FREGONI C., PEZZUTTO S. (2000). Principes et premières approches de l'indice bioclimatique de qualité de Fregoni. *Le Progrès Agricole et Viticole* 117, 390–396.
- FREGONI M. (2003a). L'origine e la scoperta dei terroir. In Fregoni M., Schuster D., Paoletti A. (Eds), Terroir Zonazione Viticoltura. Trattato internazionale. Phytoline, Rivoli Veronese (VR). 23–25.
- FREGONI M. (2003b). Definizione di terroir e di zonazione. In Fregoni M., Schuster D., Paoletti A. (Eds), Terroir Zonazione Viticoltura. Trattato internazionale. Phytoline, Rivoli Veronese (VR). 47–49.
- FREGONI M. (2005). Viticoltura di qualità. Tecnica Nuova. Milano.
- FREGONI M., GATTI M. (2007). Changements climatiques et désertification: la viticulture mondiale réagira en fonction des latitudes. Congrès sur le Climat et la Viticulture. Zaragoza, 10–14 Avril 2007.
- GATTI M., FREGONI M. (2009). Vitigno-terroir: le accoppiate vincenti. *VQ* 3: 18–24.
- HANCOCK J.M. (1999). Feature Review – Terroir. The Role of Geology, Climate, and Culture in Making of French Wines' by Wilson J.E. *Journal of Wine Research* 10 (1), 43–49.
- HANCOCK J.M. (2005). Geology of wine. In Selley R.C. et al., (Eds.). The Encyclopaedia of Geology Volume III, Elsevier, Amsterdam, 85–90.
- HUGGETT J.M. (2005). Geology and wine: a review. In Proceedings of the Geologists' Association. 117, 239–247.
- HUGLIN P. (1986). Biologie et Écologie de la Vigne. Payot, Lausanne, Switzerland
- JACKSON D.I., LOMBARD, B. (1993). Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality – A

- review. *Am. J. Enol. Vitic.* 44 (4), 409–430.
- KLIEWER W.M., TORRES R.E. (1972). Effect of Controlled Day and Night Temperatures on Grape Coloration. *Am. J. Enol. Vitic.* 23, 71–77.
- KRIEDMANN P.E., SMART R.E. (1971). Effect of irradiance, temperature and leaf water potential on photosynthesis of vine leaves. *Photosynthetica* 5, 6–15.
- LACEY M.J., ALLEN M.S., HARRIS R.L.N., BROWN W.V. (1991). Methoxypyrazines in Sauvignon blanc Grapes and Wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 42, 103–108.
- LAVILLE P. (1990). Le terroir, un concept essentiel à l'élaboration et à la protection des appellations d'origine comme à la gestion des vignobles: le cas de la France. *Bull. OIV.* 709–710, 217–241.
- LAVILLE P. (1993). Unités de terroir naturel et terroir. Une distinction nécessaire pour redonner plus de cohérence au système d'appellation d'origine. *Bull. OIV.* 745–746, 227–251.
- MABROUK H., SINOQUET H. (1998). Indices of light microclimate and canopy structure of grapevines determined by 3D digitising and image analysis, and their relationship to grape quality. *Aust. J. Grape Wine Res.* 4 (1), 2–13.
- MORI K., GOTO-YAMAMOTO N., KITAYAMA M., HASHIZUME K. (2007). Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature. *J. Exp. Bot.* 58 (8), 1935–1945.
- MORLAT R. (1989). Le terroir viticole: contribution à l'étude de sa caractérisation et de son influence sur les vins. Application aux vignobles rouges de la moyenne vallée de la Loire. Thèse Doc. Etat, Bordeaux II.
- MORLAT, R. (2001). Terroirs viticoles: Étude et valorisation. Chaintré: Oenoplurimedia Sarl. Collection Avenir Oenologie.
- OIV (2010b). Définition du «Terroir» Vitivinicole. Résolution OIV/VITI 333/2010.
- PALLIOTTI A., CARTECHINI A., FERRANTI F. (2000). Morpho-anatomical and physiological characteristics of primary and lateral shoot leaves of Cabernet Franc and Trebbiano Toscano grapevines under two irradiance regimes. *Am. J. Enol. Vitic.* 51, 122–130.
- PONI S. (2002). Microclima della chioma e parametri qualitative delle uve. *L'Informatore Agrario* 40, 73–78.
- PONI S., INTRIERI C., SILVESTRONI O. (1994a) Interactions of leaf age, fruiting, and exogenous cytokinins in Sangiovese grapevines under non-irrigated conditions. I. Gas exchange. *Am. J. Enol. Vitic.* 45, 71–78.
- PSZCZÓLKOWSKI PH., ALEMPARTE E., CÁRDENAS M.I. (2003). Aplicación del índice bioclimático de calidad de Fregoni simplificado en diversas áreas vitivinícolas de Chile: proposición del uso de su evolución. In Fregoni M., Schuster D., 205 Paoletti A. (Eds.), Terroir Zonazione Viticoltura. Trattato internazionale Phytoline, Rivoli Veronese (VR). 139–154.
- RIBÉREAU-GAYON P. (2003). Terroir et qualité de vin. In Fregoni M., Schuster D., Paoletti A. (Eds.), Terroir Zonazione Viticoltura. Trattato internazionale Phytoline, Rivoli Veronese (VR). 27–38.
- RIOU C., PIERI P., LE CLECH B. (1994). Water use of grapevines well supplied with water. Simplified expression of transpiration. *Vitis* 33, 109–115.
- RIOU C., MORLAT R., ASSELIN C. (1995). Une approche intégrée des terroirs viticoles. Discussions sur les critères de caractérisation accessibles. *Bull. OIV* 60, 93–106.
- SCHULTZ H.R. (2000). Climate change and viticulture: A European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects. *Aust. J. Grape Wine Res.* 6 (1), 2–12.
- SCHULTZ H.R., STOLL M. (2010). Some critical issues in environmental physiology of grapevines: Future challenges and current limitations. *Aust. J. Grape Wine Res.* 16 (Suppl. 1), 4–24.
- SEGUN G. (1986). 'Terroirs' and pedology of wine growing. *Experientia* 42 (8), 861–873.
- SEGUN G. (1988). Ecosystems of the great red wines produced in the maritime climate of Bordeaux. In Proceedings of the Symposium on Maritime Climate Winegrowing. L. Fuller-Perrine (Ed.), pp. 36–53. Department of Horticultural Sciences, Cornell University, Geneva, NY.
- SILLORET G. (1978). La notion de cru. *Bull. OIV* 571, 690–714.
- SILVESTRONI O., PONI S., INTRIERI C., FONTANA M. (1993). Effects of light regimes on chlorophyll concentration and gas-exchange in *Vitis vinifera* L. *Vitic. Enol. Sci.* 48, 96–100.
- SMART R.E., COOMBE B.G. (1983). Water relations of grapevines. In Kozłowski T.T (Ed.), Water deficits and plant growth, Vol. VII: Additional woody crop plants. 137–196.
- SMART R.E. (1985). Principles of Grapevine Canopy Microclimate Manipulation with Implications for Yield and Quality. A Review. *Am. J. Enol. Vitic.* 36, 230–239.
- STORCHI P., TOMASI D. (2005). Ecologia viticola e zonazioni. In Marenghi M. (Ed.), Manuale di viticoltura. Edagricole, Bologna.
- TOMASI D., PASCARELLA G., GAIOTTI F., SIVILOTTI P. (2006). Ambiente, conduzione e qualità aromatica delle uve. *L'Informatore Agrario* 14 (suppl), 12–14.
- TONIETTO J., CARBONNEAU A. (2004). A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agr. Forest Meteorol.* 124 (1–2), 81–97.
- VAUDOUR E. (2003). Les terroirs viticoles. Définitions, Caractérisation, Protection. Dunod, Paris
- tZAMBONI M. (1996). Maturazione dell'uva e previsione dell'epoca di vendemmia. *L'Informatore Agrario* 30, 55–59.