IVES Technical Reviews viña & vino

terclimpro

https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2025.8495

Este artículo se publica en colaboración con la 2ª edición de TerclimPro (18-19 de febrero de 2025), Burdeos & Cognac, Francia.

Caracterización de la dinámica de acumulación del azúcar en la uva y de los factores que influencian este proceso a escala local

Laure de Rességuier[1], Lauren Inchboard[2], Amber K. Parker[3], Théo Petitjean[1], Cornelis van Leeuwen[1]

[1] EGFV, Univ. Bordeaux, Bordeaux Sciences Agro, INRAE, ISVV, F-33882 Villenave d'Ornon, France
[2] VITINNOV, Bordeaux Sciences Agro, ISVV, F-33175 Gradignan cedex, France
[3] Department of Wine, Food and Molecular Biosciences, Lincoln University, Lincoln 7647, New Zealand

Determinar la concentración de azúcar en las uvas es esencial para los viticultores, ya que esta permite evaluar el grado alcohólico del vino final y optimizar la fecha de la cosecha. Frente al cambio climático y el aumento de las temperaturas, es crucial entender los factores que afectan a la dinámica de acumulación del azúcar, para adaptar las prácticas vitícolas y mantener la calidad de los vinos. Este estudio busca analizar los factores de desarrollo y medioambientales implicados en la acumulación del azúcar en las uvas, utilizando datos recolectados en la región de Saint Émilion, Pomerol y sus apelaciones satélites (Burdeos, Francia)[1].

Caracterización de la dinámica de acumulación del azúcar

Se efectuó un seguimiento a 18 lotes situados en parcelas de merlot del 2012 al 2019 (con excepción del 2017, año marcado por una helada primaveral). Cada lote de seguimiento de la maduración estaba compuesto de 20 cepas dispuestas alrededor de un captor de temperatura previamente instalado para caracterizar la temperatura a escala local[2]. Como complemento a la temperatura, se evaluó el estado hídrico y la nutrición nitrogenada en una fecha próxima a la vendimia, a través de mediciones de discriminación isotópica del carbono ($\delta^{13}C$)[3] y de nitrógeno asimilable en el mosto (Nas) por métodos de cuantificación enzimática o titulación con formol. Se determinaron los estados fenológicos, y en particular el medio envero (BBCH 85)[4], mediante observaciones hebdomadarias en terreno, mientras que la masa de las bayas y la concentración de azúcar (medida por el método IRTF, FOSS Analytical, Francia) fueron seguidas cada semana desde el envero hasta una fecha próxima a la vendimia.

La dinámica de acumulación del azúcar a escala de una población de bayas sigue una curva sigmoidea que acaba en una meseta[5]. En este estudio se utilizó un modelo para caracterizar la dinámica de acumulación del azúcar en las uvas por parcela y por añada[6]. Este modelo permitió estimar el día del año en el que la concentración de azúcar alcanza el 95 % de su máximo (Día Meseta) y la concentración de azúcar (g/L) al momento en el que esta alcanza el 95 % de su máximo ([Azúcar] en la Meseta) (Figura 1). Además, entre el medio envero observado (Día Env) y el día modelado donde se alcanza el 95 % del máximo de azúcar (Día Meseta) se calculó la duración en días (Duración Env-Meseta) (Figura 1).

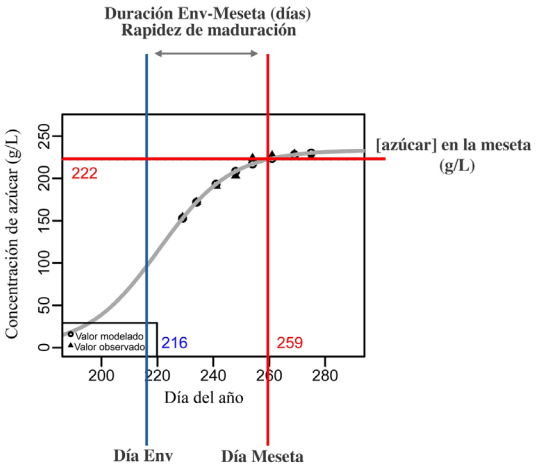


FIGURA 1. Modelado de la dinámica de acumulación del azúcar en la uva para el sitio 1 el año 2012 e indicadores de maduración retenidos. Líneas rojas: parámetros estimados; línea azul: parámetro medido.

¿Cuáles son los factores que influencian la dinámica de acumulación del azúcar?

Se utilizaron modelos lineares mixtos para explorar la influencia de diversos factores abióticos (temperatura promedio (Tprom) entre el medio envero y la meseta, $\delta^{13}C$ y Nas) y de desarrollo (masa de una uva y precocidad del medio envero) sobre los parámetros de la dinámica de acumulación del azúcar. La Tabla 1 presenta una síntesis de los resultados de estos análisis.

TABLA 1. Síntesis de los resultados estadísticos de los modelos lineares mixtos utilizados para explicar la masa de una uva, la precocidad de la meseta, la concentración de azúcar en la meseta y la duración de la acumulación de azúcar.

	Tprom Env-Meseta (°C)	$\delta^{13}C$ (‰)	Nas (mg/L)	Masa de una uva (g)	Día Env	Duración Env-Meseta (días)
Masa de una uva (g)	ns	** Peso ↘ cuando restricción ↗	ns	/	/	/
Precocidad meseta	*** Precocidad ↗ cuando Tprom ↗	* Precocidad ↗ cuando restricción ↗	ns	ns	** Precocidad meseta ↗ cuando precocidad Env ↗	/
[Azúcar] en la meseta (g/L)	** [Azúcar] ↗ cuando Tprom ↗	ns	ns	*** [Azúcar] ↘ cuando masa ↗	ns	*** [Azúcar] ↗ cuando duración ↗
Duración Env-Meseta (días)	*** Duración ↘ cuando Tprom ↗	ns	ns	ns	/	/

Nas = nitrógeno asimilable del mosto, Día Env = día en el que el 50 % de las uvas han alcanzado el estado de medio envero, $\delta^{13}C$: discriminación isotópica del carbono, 'ns' no significativo, '***' significativo a $p < 0,001$, '**' significativo a $p < 0,01$, '*' significativo a $p < 0,05$, '/': no tomado en cuenta en el modelo.

La precocidad de la meseta depende de la temperatura promedio y de la fecha del medio envero. Una temperatura promedio elevada acelera la maduración, avanzando la aparición de la meseta. También se observó un débil efecto del estado hídrico: la meseta es alcanzada con mayor precocidad en situación de restricción hídrica.

La concentración de azúcar al inicio de la mesta es principalmente influenciada por la duración del periodo de acumulación. Una maduración rápida se asocia con una menor concentración de azúcar en la meseta. También se demostró un efecto significativo de la masa de la baya: las más pesadas presentan una concentración de azúcar más baja.

Por último, la duración de la acumulación de azúcar es igualmente dependiente de la temperatura promedio: mientras más calor haga, más corta será la duración entre el medio envero y la meseta. No obstante, no se tomaron en cuenta otros factores tales como la heterogeneidad de maduración entre las uvas de un mismo racimo[7].

La traducción de este artículo al español ha sido ofrecida por la Universidad de La Rioja-Proyecto Enorregión-Campus Internacional del Vino. Plan de Transformación Gobierno de La Rioja

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

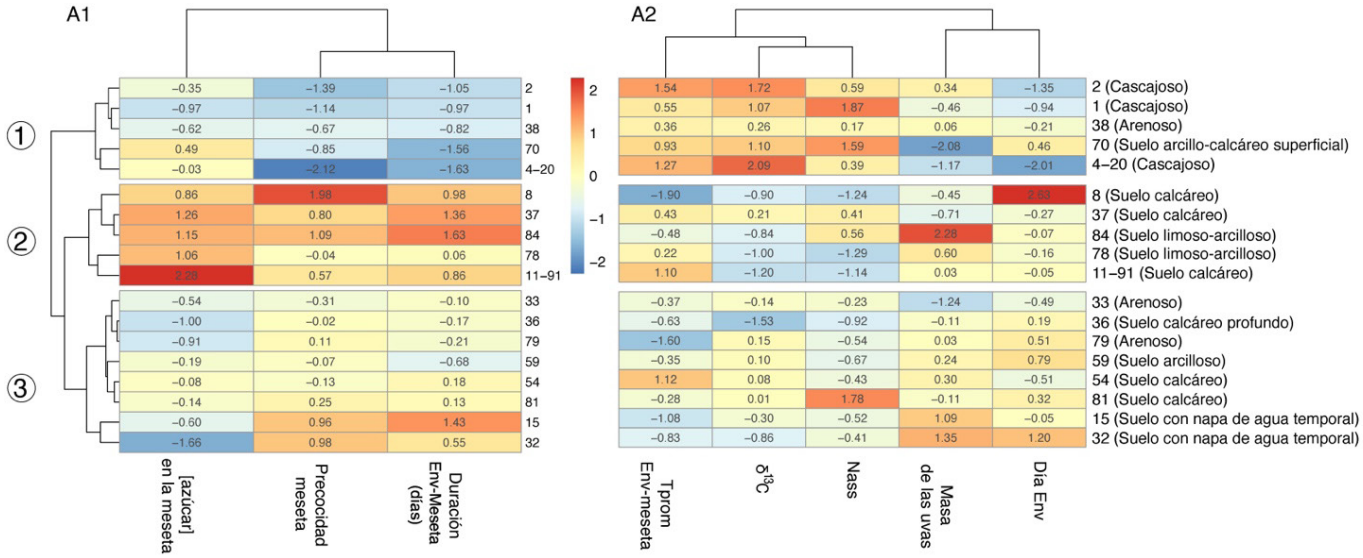


FIGURA 2. A1 - Heatmap con clasificación de los sitios en función de las variables de maduración. A2 - Heatmap con agrupamiento de las variables explicativas y clasificación de los sitios utilizando los grupos de las líneas del primer heatmap y agregando los tipos de suelos de los lotes.

El nitrógeno asimilable nunca fue identificado como una variable significativa en este estudio, y los resultados son similares al utilizar otro indicador de nutrición nitrogenada, como lo es el N-tester (datos no presentados).

Agrupamiento de las parcelas con una dinámica de maduración similar a escala del territorio estudiado

Con la finalidad de identificar zonas homogéneas en el territorio estudiado en cuanto a la dinámica de maduración, se utilizaron *heatmaps* combinados con una clasificación jerárquica ascendiente para agrupar las parcelas. Los *heatmaps*, o mapas de calor, permiten representar visualmente matrices de datos utilizando un código de color. Los valores elevados son generalmente representados por colores cálidos (rojo, naranja), mientras que los valores bajos son representados con colores fríos (azul, verde). Esta representación facilita la identificación de tendencias y variaciones en los datos. Se aplicó a los *heatmaps* una clasificación jerárquica ascendiente, que agrupa los elementos en función de su similitud, con el fin de reorganizar las parcelas y las variables de maduración (Figura 2, A1). Las variables explicativas (Tprom Env-Meseta, $\delta^{13}C$, Nas, Masa de las uvas y Día Env) fueron agregadas en un segundo *heatmap* (Figura 2, A2) y agrupadas en las columnas. Las líneas de este segundo *heatmap* fueron reorganizadas en función de los grupos de parcelas identificadas en el primer *heatmap* (Figura 2, A1), lo que permite visualizar los nexos entre las dinámicas de maduración de las parcelas y las variables explicativas. También se agregaron los tipos de suelo para completar la relación con el terruño.

Se identificaron tres grupos distintos de maduración (Figura 2). El grupo 1 se caracteriza por una duración de medio envero - meseta rápida, una meseta precoz y una concentración de azúcar moderada en la meseta. Este grupo corresponde a parcelas situadas al oeste de la zona de estudio, sobre suelos mayoritariamente cascajosos o arenosos, sujetos a déficits hídricos. La temperatura de estos sectores durante el periodo de maduración es elevada, y las parcelas se caracterizan por concentraciones de nitrógeno asimilable superiores a las parcelas de los otros sectores. En este grupo, la maduración rápida se asocia con una menor concentración de azúcar final, posiblemente por motivo de una restricción de la fotosíntesis relacionada con un déficit hídrico en final de maduración no tomado en cuenta por el indicador de alimentación hídrica elegido ($\delta^{13}C$). El grupo 2 se distingue por una maduración lenta, una meseta tardía y una concentración elevada de azúcar en la meseta. Estos lotes se sitúan sobre suelos arcilloso-limosos profundos, menos sujetos a déficits hídricos. Finalmente, el tercer grupo presenta una baja concentración final de azúcar, así como una meseta y una duración de maduración promedios. Este agrupa parcelas más heterogéneas en cuanto a los terruños, que se caracterizan sin embargo por temperaturas durante la maduración y niveles de Nas inferiores al promedio, exceptuando dos parcelas.

Discusión y aplicaciones

Este estudio confirmó el gran impacto de la temperatura durante el periodo de maduración sobre la precocidad de la meseta de concentración de azúcar en la uva. Este también mostró la importancia de la duración de la maduración y de la masa de las bayas para la concentración de azúcar al inicio de la meseta. El método de análisis desarrollado en este estudio es reproducible y podría ser utilizado por unidades de producción, así como bodegas cooperativas o grandes propiedades, para agrupar las parcelas en función de sus dinámicas de maduración. Las uvas de parcelas con dinámicas similares podrán ser vinificadas en los mismos tanques o ser integradas en los mismos ensamblajes. Los factores explicativos de la maduración podrían ser completados con variables no medidas en este estudio, tales como los rendimientos, la edad de las parcelas, los portainjertos, los clones, u otros indicadores de nutrición mineral y del estado hídrico en preenvero, que son susceptibles de influenciar la dinámica de maduración. Estos resultados abren también perspectivas sobre la adaptación al cambio climático, utilizando por ejemplo cepajes más tardíos para retardar el inicio de la madurez o favoreciendo las prácticas vitícolas que buscan aumentar la masa de las bayas para limitar la concentración de azúcar en las uvas a la madurez. ■

1 de Rességuier, L., Inchboard, L., Parker, A. K., Petitjean, T., & van Leeuwen, C. (2024). Drivers of grape berry sugar accumulation in field conditions at local scale. *OENO One*, 58(4), Article 4. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2024.58.4.8195

2 de Rességuier, L., Mary, S., Le Roux, R., Petitjean, T., Quénol, H., & van Leeuwen, C. (2020). Temperature variability at local scale in the bordeaux area. Relations with environmental factors and impact on vine phenology. *Frontiers in Plant Science*, 11, 515. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00515

3 van Leeuwen, C., Bois, B., Brillante, L., Destrac-Irvine, A., Gowdy, M., Martin, D., Plantevin, M., de Rességuier, L., Santesteban, L. G., & Zufferey, V. (2023). Carbon isotope discrimination (so-called δ13C) measured on grape juice is an accessible tool to monitor vine water status in production conditions. *IVES Technical Reviews, Vine and Wine*. https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2023.7742

4 Meier, U. (2001). Stades phénologiques des mono-et dicotylédones cultivées (2e éd). Centre fédéral de recherches biologiques pour l'agriculture et les forêts.

5 Coombe, B. G., & McCarthy, M. G. (2000). Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6(2), 131-135. https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00171.x

6 Suter, B., Destrac Irvine, A., Gowdy, M., Dai, Z., & van Leeuwen, C. (2021). Adapting Wine Grape Ripening to Global Change Requires a Multi-Trait Approach. *Frontiers in Plant Science*, 12. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.624867

7 Coombe, B. G. (1980). Development of the grape berry. I. Effects of time of flowering and competition. *Australian Journal of Agricultural Research*, 31(1), 125-131. https://doi.org/10.1071/ar9800125

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.