

Crecimiento y maduración de la uva de mesa: parámetros fisiológicos y de calidad

M.E. García-Pastor^{1*}, D. Valero¹, P.J. Zapata¹, D. Martínez-Romero¹, F. Guillén² & M. Serrano²

¹ Dept. Tecnología Agroalimentaria. EPSO, Universidad Miguel Hernández. Orihuela, Alicante. (maria.garcia211@goumh.umh.es)

² Dept. Biología Aplicada. EPSO, Universidad Miguel Hernández. Orihuela, Alicante.

Resumen

La uva de mesa (*Vitis vinífera* L.) es muy apreciada por los consumidores por su excelente calidad organoléptica y por el aporte de compuestos nutritivos y bioactivos relacionados con la salud humana. No obstante, algunas variedades como 'Crimson' y 'Magenta', a pesar de tener una piel morada, comparten una problemática similar y es la gran heterogeneidad en el color de las bayas, ya que algunas de ellas presentan una coloración muy escasa en el momento de la recolección, lo que supone un hándicap importante para su comercialización. Varios trabajos previos han intentado incrementar el color en estas variedades mediante diferentes tratamientos, con resultados diferentes dependiendo de la variedad, compuesto, concentración y estado de desarrollo en el que se aplica, siendo este último de capital importancia. Así pues, en este trabajo realizamos un estudio en profundidad, con la variedad de uva de mesa 'Magenta', de los cambios que se producen a lo largo del desarrollo de la uva en la planta, en diferentes aspectos fisiológicos (producción de etileno, tasa de respiración y niveles de poliaminas) y su relación con diferentes parámetros determinantes de la calidad organoléptica (color, firmeza, contenido en sólidos solubles totales). Los resultados obtenidos permitirán determinar los momentos claves del desarrollo de las uvas en los cuales sería más efectiva la aplicación de tratamientos encaminados a incrementar el color u otros parámetros de calidad deseados.

Palabras clave: *Vitis vinífera*, crecimiento, maduración, color, azúcares, etileno, poliaminas.

Abstract

Table grape (*Vitis vinífera* L.) is highly appreciated by consumers for its excellent organoleptic quality and the contribution of nutritional and bioactive compounds related to human health. However, some varieties like 'Crimson' and 'Magenta', despite having a purple skin, share a similar problem and is the great heterogeneity in the color of the berries, as some of them have very little color in the time of harvest, which is a major handicap for marketing. Previous studies have attempted to increase the color in these varieties by different treatments, with different results depending on the variety, compound, concentration and state of development in which it applies, the latter being of paramount importance. Thus, this paper conducted a in depth study, with the variety of table grape 'Magenta', changes that occur during the development of the grapes on the ground, in different physiological aspects (production of ethylene, respiration rate and polyamine levels) and its relation to different parameters determining the organoleptic (color, firmness, total soluble solids). The results will determine the key moments in the

development of the grapes, which would be more effective application of treatments designed to increase the color or other parameters desired quality.

Keywords: *Vitis vinifera*, growth, ripening, color, sugars, ethylene, polyamines.

Introducción

El desarrollo de la baya de la uva (*Vitis vinifera* L.) es un fenómeno complejo que presenta una curva tipo doble sigmoide con tres fases diferenciadas, dos fases de crecimiento rápido separadas por una fase en la que el crecimiento es lento y en la que se produce la maduración de las semillas (Conde et al., 2007). El cultivo de la uva de mesa ha aumentado considerablemente en los últimos años, así como el número de nuevas variedades. La producción actual de uva en Europa es de $2,91 \cdot 10^{13}$ toneladas, de las cuales 7480000 toneladas son producidas en España. Dicha producción ha incrementado un 14,4 % en la última década (FAOSTAT, 2016).

Los principales factores de calidad para los racimos incluyen peso y compacidad (relación entre el número de bayas y la longitud del raquis) (Tello e Ibáñez, 2014). Para las bayas, la uniformidad del color externo, tamaño y firmeza, y las características internas tales como el contenido de sólidos solubles (CSS), la relación CSS/acidez y el contenido en fitoquímicos, es decir, los polifenoles que contribuyen a las características organolépticas y tienen efectos beneficiosos para la salud (Xia et al., 2010), son algunos de los atributos de calidad más importantes.

Así pues, en este trabajo realizamos un estudio en profundidad, con la variedad de uva de mesa ‘Magenta’, de los cambios que se producen a lo largo del desarrollo de la uva en la planta, en diferentes aspectos fisiológicos (producción de etileno, tasa de respiración y niveles de poliaminas) y su relación con diferentes parámetros determinantes de la calidad organoléptica (color, firmeza, contenido en sólidos solubles totales). Los resultados obtenidos permitirán determinar los momentos claves del desarrollo de las uvas en los cuales sería más efectiva la aplicación de tratamientos encaminados a incrementar el color u otros parámetros de calidad deseados.

Material y métodos

Material vegetal y determinaciones analíticas. Se utilizaron parras de la variedad ‘Magenta’ de una plantación comercial en Cieza (Murcia). Se recolectaron bayas en diferentes estados de desarrollo, de acuerdo con su tamaño y coloración. Una vez en el laboratorio, se realizaron 3 lotes de 15 bayas para cada estado de desarrollo en los cuales se determinaron la tasa de respiración y producción de etileno y parámetros de calidad como firmeza y color. Después, 5 bayas de cada lote o replicado se usaron para hacer zumo, en el cual se determinaron los sólidos solubles totales (SST) y la acidez total (AT) según se indica en Valverde et al. (2005) y el contenido en azúcares y ácidos orgánicos por HPLC (Serrano et al., 2005). El resto de las bayas de cada lote se homogeneizó para obtener una muestra homogénea en la cual se determinó el contenido en poliaminas, mediante benzoilación y cuantificación por HPLC (Serrano et al., 2004) y el contenido en fenoles totales, usando el reactivo de Folin-Ciocalteu y la actividad antioxidante mediante el sistema enzimático compuesto por el cromóforo sal diamonio del ácido 2,2'-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline- 6-sulfónico (ABTS), peroxidasa y su sustrato peróxido de hidrógeno, según se detalla en Zapata et al. (2014).

Resultados y discusion

Crecimiento de la baya. Se han identificado tres etapas de desarrollo de la uva (Keller, 2010; Winkler et al., 1974). La primera fase del desarrollo de la se inicia con la formación del fruto resultado de la fecundación y dura aproximadamente 60 días. Durante este periodo de tiempo el fruto crece a través de una rápida división celular y expansión de las células formadas. La segunda fase se caracteriza por una pausa en el crecimiento del fruto. En esta etapa los embriones contenidos en las semillas empiezan a crecer rápidamente. Al inicio de la fase llamada de retraso, los frutos han alcanzado al menos la mitad del tamaño que tendrán al final de su crecimiento y tiene una duración de 5 a 10 días. La tercera etapa inicia en el envero e incluye la etapa en la que el fruto se colorea y se endulza, ya que en esta etapa se acumulan los sólidos solubles (azúcares) y se reduce la presencia de ácidos en el fruto. Durante esta fase, las uvas duplican su tamaño y ocurren numerosos cambios. La uva utilizada en este experimento es una uva sin semillas, aunque su proceso de desarrollo en la parra también presenta una curva del tipo de la descrita para las variedades con semillas. En esta variedad la fase I de crecimiento corresponde a los estados del 1 al 4, la segunda fase se correspondería con los estados 4 y 5 a partir del estado 5 se iniciaría la fase III en la que se observa un crecimiento rápido del fruto hasta que la baya alcanza su tamaño definitivo en el estado 11 (Figura 1).

Tasa de respiración y producción de etileno. La tasa de respiración y la producción de etileno eran muy elevadas en el estado 1 de desarrollo y disminuyeron bruscamente hasta el estado 6. A partir del estado 6, la producción de etileno aumentó, presentando un pequeño pico en el estado 8, a partir del cual disminuyó hasta el último estado de desarrollo (Figura 2). La tasa de respiración aumentó también ligeramente en los estados 8 y 9 y posteriormente disminuyó. Este patrón de producción de etileno y tasa de respiración confirma el comportamiento no-climatérico de la uva, debido a la ausencia de picos climatéricos de respiración y etileno en los últimos estados de desarrollo asociados con la maduración (Coombe y Hale, 1973). En este sentido, varios estudios han indicado que el ácido abscísico (ABA) es la señal hormonal que inicia la maduración de la uva durante su desarrollo en la planta, puesto que la concentración de ABA aumenta considerablemente durante el cambio de color (envero), coincidiendo con un aumento en la concentración de antocianinas (Giribaldi et al., 2010; Wheeler et al., 2009; Kuhn et al., 2014).

Sin embargo, la concentración de antocianinas sigue aumentando hasta la maduración total, mientras que la concentración de ABA disminuye poco después del envero, lo que sugiere que el ABA dispara los cambios de color pero no es necesario para que se sigan acumulando antocianinas (Kuhn et al., 2014). Por otra parte, el etileno también podría estar implicado en este proceso, ya que se produce un pequeño pico asociado al inicio de los cambios de color (Figura 1) al igual que se observó en uvas Cabernet Sauvignon (Chervin et al., 2004) y Muscat Hamburg (Sun et al., 2010).

Parámetros de maduración: color, sólidos solubles y acidez total. Los cambios de color se inician a partir del estado 5 de desarrollo, coincidiendo con el inicio de la fase III de crecimiento de la baya, y son lentos hasta el estado 8 y mucho más acusados a partir de entonces (Figura 1). El aumento en el parámetro a^* del color indica los cambios de color de verde a rojo que se producen durante la maduración de las uvas de piel morada, como es el caso de la variedad Magenta (Figura 1) y que se deben a la acumulación de antocianinas, que se inicia en el envero (estados 6-7) y continua hasta la total maduración (Kuhn et al., 2014). Los derivados de la malvidina son las principales antocianinas en la mayoría de las variedades de *Vitis vinífera* (Lang et al., 2008).

A partir del estado 7 se puede apreciar un aumento en los °Brix que fue lento hasta el estado 10 y que aumentó de forma más acusada en los estados 11 y 12. Por el contrario, la acidez disminuyó bruscamente desde el estado 7 al estado 9 y a partir de este hasta la maduración total siendo el descenso ligeramente menor (Figura 3).

Azúcares y ácidos orgánicos individuales. En el estado 12 de desarrollo, que correspondía con el estado de maduración para la recolección comercial, se comprobó que los azúcares mayoritarios eran glucosa y fructosa, con concentraciones de $3,16 \pm 0,03$ y $6,26 \pm 0,17$ g 100 g⁻¹, respectivamente (Tabla 1), al igual que ocurre en otras variedades de *Vitis vinífera* (Shiraishi et al, 2010; Kuhn et al., 2014). La concentración de ambos azúcares varía significativamente dependiendo de la variedad (Eyduran et al., 2015).

Con respecto al contenido de ácidos orgánicos, fueron el málico y el tartárico los que se encontraron a mayor concentración ($0,32 \pm 0,01$ y $0,33 \pm 0,01$ g 100 g⁻¹, respectivamente) en las uvas en estado de maduración para la recolección comercial. Los ácidos ascórbico y oxálico se encontraron a una concentración de $10,1 \pm 0,70$ y $9,3 \pm 0,32$ mg 100 g⁻¹, respectivamente, mientras que el ácido fumárico se encontró a una concentración mucho más baja, $1,2 \pm 0,00$ mg 100 g⁻¹ (Tabla 1).

De forma general, el ácido tartárico es el mayoritario en uva pero existen variaciones en función de la variedad y fecha de recolección. Hay variedades en las cuales el ácido mayoritario es el ácido málico, como ocurre en nuestro caso. La influencia de la variedad en el contenido de ácidos orgánicos puede ser significativa como han observado otros autores anteriormente (Eyduran et al., 2015; Sabir et al., 2010; Rusjan et al., 2007; Parpinello et al., 2015).

Poliaminas. En los resultados obtenidos se observa como las tres poliaminas identificadas son putrescina, espermidina y espermina, por orden de elución. La espermidina se mantiene constante en los diferentes estados de desarrollo, con valores próximos a 3 nmoles g⁻¹. En cambio, conforme madura la uva tanto putrescina como espermina disminuyen desde el estado de desarrollo 4 ($88,61 \pm 2,34$ y $38,00 \pm 3,20$ nmoles g⁻¹, respectivamente) hasta el estado 8 ($9,37 \pm 0,99$ y $1,88 \pm 0,59$ nmoles g⁻¹, respectivamente), estabilizándose las concentraciones de ambas en los últimos estados de desarrollo o madurez comercial (datos no mostrados). La disminución en el contenido de poliaminas durante la maduración de la uva va acompañada de la regulación de genes que codifican las enzimas diamina oxidasa y la poliamina oxidasa, junto con un aumento significativo en su actividad enzimática y en el contenido de peróxido de hidrógeno. Estos resultados proporcionan, por primera vez, una fuerte evidencia del papel del catabolismo de las poliaminas en la maduración de la uva posiblemente a través de la interacción con otros reguladores del crecimiento (Agudelo-Romero et al., 2013).

Conclusiones

Los resultados muestran que el inicio de los cambios de color se produce al mismo tiempo que los incrementos en sólidos solubles totales y la disminución de la acidez, lo que indica una co-ordinación en la evolución de los parámetros relacionados con la maduración. Además, estos cambios coincidían con un pequeño pico de producción de etileno y con el descenso brusco en la concentración de las poliaminas, putrescina y espermina, lo que parece indicar un papel de estas hormonas en la regulación del inicio de maduración de la uva.

Agradecimientos

Agradecemos a la empresa “El Ciruelo, S.L.” la provisión del material vegetal y el asesoramiento técnico durante el cultivo y la financiación al Ministerio Español de Economía y Competitividad y a la UE (fondos FEDER, AGL2015-63986-R).

Referencias

- Agudelo-Romero, P., Bortolotti, C., Salomé Pais, M., Fernández Tiburcio, A., Margarida Fortes, A. 2013. Study of polyamines during grape ripening indicate an important role of polyamine catabolism. *Plant Physiology and Biochemistry*, 67, 105-119.
- Chervin, C., El-Kereamy, A., Roustan, J.P., Latché, A., Lamon, J., Bouzayen, M. 2004. Ethylene seems required for the berry development and ripening in grape, a non-climacteric fruit. *Plant Science*, 167, 1301-1305.
- Conde, C., Silva, P., Fontes, N., Dias, A.C.P., Tavares, R.M., Sousa, M.J., Agasse, S., Delrot, S. and Gerós, H. 2007. Biochemical changes throughout grape berry development and fruit and wine quality. *Food*, 1, 1-22.
- Coombe, B.G., and Hale, C.R. 1973. The Hormone Content of Ripening Grape Berries and the Effects of Growth Substance Treatments. *Plant Physiology*, 51, 629-634.
- Eyduran, S., Akin, M., Ercisli, S., Eyduran, E. and Maghradze, D. 2015. Sugars, organic acids, and phenolic compounds of ancient grape cultivars (*Vitis vinifera* L.) from Igdır province of Eastern Turkey. *Biological Research*, 48, 2.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations - Statistics Division). 2016. Enlace web: <http://faostat3.fao.org/home/E>
- Giribaldi, M., Gény, L., Delrot, S., and Schubert, A. 2010. Proteomic analysis of the effects of ABA treatments on ripening *Vitis vinifera* berries. *Journal of Experimental Botany*, 61, 2447-2458.
- Keller, M. 2010. Managing grapevines to optimise fruit development in a challenging environment: a climate change primer for viticulturists. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16, 56-69.
- Kuhn, N., Guan, L., Wu Dai, Z., Wu, B.H., Lauvergeat, V., Gomès, E., Li, S.H., Godoy, F., Arce-Johnson, P., and Delrot, S. 2014. Berry ripening: recently heard through the grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 65, 4543-4559.
- Parpinello, G.P., Rombolà, A.D., Simoni, M., Versari, A. 2015. Chemical and sensory characterization of Sangiovese red wines: comparison between biodynamic and organic management. *Food Chemistry*, 167, 145-52.
- Rusjan, D., Korosec-Koruza, Z. 2007. Morphometrical and biochemical characteristics of red grape varieties (*Vitis vinifera* L.) from collection vineyard. *Acta Agriculturae Slovenica*, 89, 245-57.
- Sabir, A., Kafkas, E., Tangolar, S. 2010. Distribution of major sugars, acids and total phenols in juice of five grapevine (*Vitis spp.*) cultivars at different stages of berry development. *Spanish journal of agricultural research*, 2, 425-433.
- Serrano, M., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Valero, D. 2005. Chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry at different ripening stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 2741-2745.
- Serrano, M., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Guillén, F., Valero D. 2004. Role of calcium and heat treatments in alleviating physiological changes induced by mechanical damage in plum. *Postharvest Biology and Technology*, 34, 155-167.

- Shiraishi, M., Fujishima, H., Chijiwa, H. 2010. Evaluation of table grape genetic resources for sugar, organic acid, and amino acid composition of berries. *Euphytica*, 174, 1-13.
- Sun, L., Zhang, M., Ren, J., Qi, J., Zhang, G., and Leng, P. 2010. Reciprocity between abscisic acid and ethylene at the onset of berry ripening and after harvest. *BMC Plant Biology*, 10, 257.
- Tello, J., Ibáñez, J. 2014. Evaluation of indexes for the quantitative and objective estimation of grapevine bunch compactness. *Vitis*, 53, 9-16.
- Valverde, J.M., Valero, D., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S., Serrano, M. 2005. Novel edible coating based on Aloe vera gel to maintain table grape quality and safety. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 7807-7813.
- Wheeler, S., Loveys, B., Ford, C., Davies, C. 2009. The relationship between the expression of abscisic acid biosynthesis genes, accumulation of abscisic acid and the promotion of *Vitis vinifera* L. berry ripening by abscisic acid. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 15, 195–204.
- Winkler, A.J., Cook, J.A., Kliewer, W.M., Lider, L.A. 1974. *General Viticulture*. University of California Press, Berkeley.
- Xia, E.Q., Song, Y., Ai, X.X., Guo, Y.J., Xu, X.R., Li, H.B. 2010. A new high-performance liquid chromatographic method for the determination and distribution of linalool in *Michelia alba*. *Molecules*, 15, 4890-4897.
- Zapata, P.J., Martínez-Esplá, A., Guillén, F., Díaz-Mula, H.M., Martínez-Romero, D., Serrano, M., Valero, D. 2014. 1. Preharvest application of methyl jasmonate (MeJA) in two plum cultivars. 2. Improvement of fruit quality and antioxidant systems during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 98, 115-122.

Tablas y Figuras

Tabla 1. Concentración de azúcares (g 100 g⁻¹) y ácidos orgánicos individuales: málico, tartárico y cítrico (g 100 g⁻¹) y ascórbico, oxálico y fumárico (mg 100 g⁻¹) cuantificados por HPLC en el estado de desarrollo 12 en uva de mesa, variedad Magenta.

	Glucosa	Fructosa	Sacarosa	Ácido Málico	Ácido Tartárico	Ácido Cítrico	Ácido Ascórbico	Ácido Oxálico	Ácido Fumárico
E1	3,16 ±	6,26 ±	0,15 ±	0,32 ±	0,33 ±	0,03 ±	10,0 ±	9,3 ±	1,20 ±
2	0,03	0,17	0,02	0,01	0,01	0,00	0,70	0,32	0,00

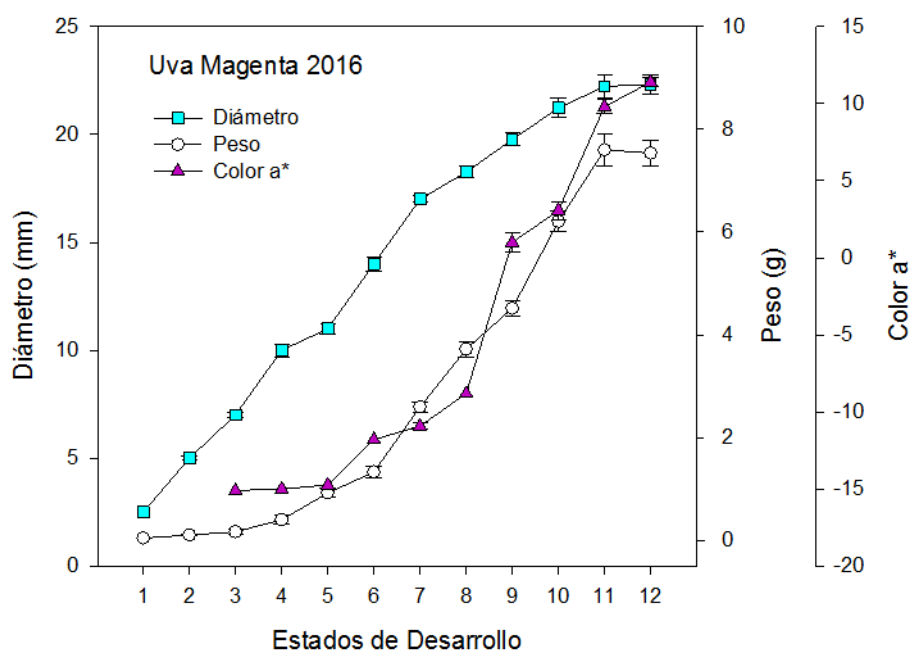


Figura 1. Evolución del diámetro (mm), peso (g) y color (parámetro a*) de la uva de mesa, variedad Magenta, en los diferentes estados de desarrollo.

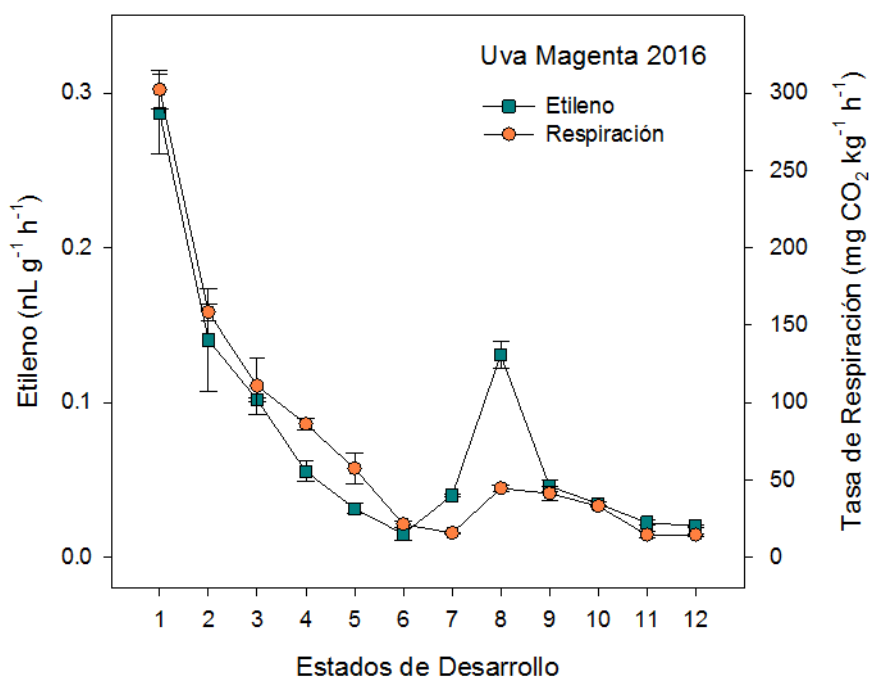


Figura 2. Evolución de la tasa de respiración ($\text{mg CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) y de producción de etileno ($\text{nL g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) de la uva de mesa, variedad Magenta, en los diferentes estados de desarrollo.

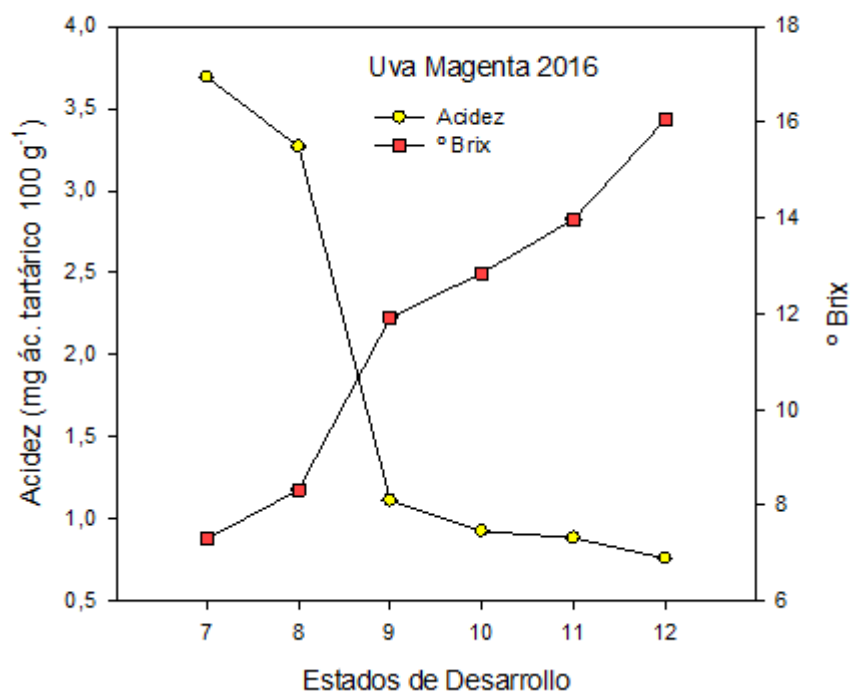


Figura 3. Evolução de la acidez total (mg ácido tartárico 100 g⁻¹) y de los sólidos solubles totales (°Brix) de la uva de mesa, variedad Magenta, en los diferentes estados de desarrollo.