

¿Qué relación existe entre la calidad aromática del vino y la bioquímica de la vid?

What is the relationship between the aromatic quality of the wine and the biochemistry of the vine?

IRMA OFELIA MAYA-MERAZ¹ Y RAMONA PÉREZ-LEAL^{1,2}

Resumen

Cada una de las biomoléculas sintetizadas a través de distintas rutas del metabolismo primario de la vid, es capaz de formar metabolitos secundarios, como los compuestos aromáticos o volátiles. Actualmente se conocen las rutas de β -oxidación, lipooxigenasa y vía isoprenoide para los compuestos aromáticos provenientes de los lípidos, sin embargo, la vía isoprenoide también proviene a partir de la intervención de los carbohidratos. Los aminoácidos leucina, isoleucina, triptófano, metionina, cisteína y fenilalanina inducen a la síntesis de diversos compuestos aromáticos en frutas, como precursores directos o indirectos. A pesar de que existen estudios de los compuestos aromáticos en frutas, en uva para vino pudiera ser de mayor complejidad, ya que las uvas pueden desarrollar distintos tipos de compuestos aromáticos, dependiendo de la variedad, manejo agronómico y factores edafo-climáticos. Por lo que el objetivo de la presente revisión es resaltar la relación existente entre la calidad aromática del vino y la bioquímica de la vid, lo que podría beneficiar al viticultor en el manejo apropiado del viñedo para la obtención específica de ciertos compuestos.

Palabras clave: *Vitis vinifera*, aroma, metabolismo.

Abstract

The biomolecules synthesized through different routes of the primary metabolism of the vine, are capable of forming secondary metabolites, such as aromatic or volatile compounds. Currently the routes of β -oxidation, lipoxygenase and isoprenoid pathway are known for the aromatic compounds coming from lipids, however the isoprenoid pathway also comes from the intervention of carbohydrates. The amino acids leucine, isoleucine, tryptophan, methionine, cysteine and phenylalanine induce the synthesis of various aromatic compounds in fruits, as direct or indirect precursors. Although there are studies of aromatic compounds in fruits, in grapes for wine, it could be more complex, since grapes can develop different types of aromatic compounds, depending on the variety, agronomic management and edapho-climatic factors. Therefore, the objective of this review is to analyze the relationship between the aromatic quality of the wine and the biochemistry of the vine. This could benefit the vine grower in the proper management of the vineyard for the specific obtaining of certain compounds.

Keywords: *Vitis vinifera*, aroma, metabolism.

Introducción

La calidad de las uvas para vino es importante en cuanto al contenido de azúcares, acidez, pH y color. Los compuestos aromáticos suelen ser uno de los aspectos de alto valor considerados por la enología. Los compuestos aromáticos de los frutos son metabolitos secundarios sintetizados a partir de diferentes biomoléculas como carbohidratos, ácidos grasos y aminoácidos.

¹ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Ciudad Universitaria s/n, C.P. 31170. Chihuahua, Chih. México.

² Dirección electrónica del autor de correspondencia: rleal@uach.mx

Los ácidos grasos en las plantas se sintetizan a partir de la interacción de factores abióticos, principalmente luz y CO₂. La luz es captada a través de los plastos donde se elaboran moléculas de alta energía (ATP), mismas que serán utilizadas por otras rutas metabólicas para producir moléculas precursoras, tanto de metabolitos primarios como secundarios. El CO₂ fijado a través de estomas induce la formación de gliceraldehído-3-fosfato (G3P) como intermediario para carbohidratos y, a su vez, para la generación de isopentil pirofosfato (IPP) para de la síntesis de terpenos. Por otro lado, la biosíntesis de aminoácidos está más relacionada con la disponibilidad de nutrientes, principalmente nitrógeno y azufre. Por lo tanto, cada una de las biomoléculas a través de distintas rutas es capaz de formar metabolitos secundarios, como los compuestos aromáticos o volátiles. Actualmente se conocen las rutas de β-oxidación, lipooxigenasa y vía isoprenoide para los compuestos aromáticos provenientes de los lípidos, sin embargo, la vía isoprenoide también proviene a partir de la intervención de los carbohidratos. Los aminoácidos leucina, isoleucina, triptófano, metionina, cisteína y fenilalanina inducen a la síntesis de diversos compuestos aromáticos en frutas, como precursores directos o indirectos. A pesar de que existen estudios de los compuestos aromáticos en frutas, en uva para vino pudiera ser de mayor complejidad, ya que las uvas pueden desarrollar distintos tipos de compuestos aromáticos, dependiendo de la variedad, manejo agronómico y factores edafo-climáticos. Por lo que el objetivo de la presente revisión es resaltar la relación existente entre la calidad aromática del vino y la bioquímica de la vid. Lo que podría beneficiar al viticultor en el manejo apropiado del viñedo para la obtención específica de ciertos compuestos.

Compuestos a partir de lípidos y carbohidratos

Los lípidos de los tejidos de las frutas intervienen para la síntesis de compuestos aromáticos a través de tres rutas, la β-oxidación, la lipooxigenasa y la vía isoprenoide, por acción enzimática. La β-oxidación interviene durante la madurez del fruto en la formación de los compuestos C₆ de cadena lineal, utilizando como sustrato comúnmente al ácido linoleico (C_{18:2}), mientras que la lipooxigenasa lleva a cabo la síntesis de compuestos aromáticos C₆

durante la madurez y después de la cosecha de los frutos a partir de ácido linoleico (C_{18:2}) y linoleico (C_{18:3}). Por otro lado, la vía isoprenoide es la única de las tres en la que intervienen moléculas provenientes de la glucólisis y G3P del ciclo de Calvin-Benson (carbohidratos) para iniciar la síntesis de terpenos en los plastos, sin embargo, cuando la vía isoprenoide se origina vía citosol, los compuestos para la formación de terpenos proviene a partir de los ácidos grasos provenientes del retículo endoplasmático. Por lo tanto, los carbohidratos que permiten la formación de compuestos volátiles se ven involucrados con las moléculas como G3P, el trisacárido de la gluconeogénesis de muchos otros compuestos estructurales y de reserva en el ciclo de Calvin-Benson y subproductos de la glucólisis, como el ácido pirúvico, los que en conjunto actúan para dar origen a las moléculas de isopentil pirofosfato en la vía isoprenoide (Espino-Díaz *et al.*, 2016).

β-oxidación y sus compuestos volátiles

De manera general, la β-oxidación tiene lugar en los peroxisomas mediante una serie de reacciones enzimáticas donde, a partir de ácidos grasos como oleico y linoleico, son utilizados como sustratos enzimáticos para la síntesis de compuestos aromáticos como ácidos butanoícos, hexanoícos y acético (Espino-Díaz *et al.*, 2016). La β-oxidación se lleva a cabo a partir de cuatro fases en reacción enzimática, la deshidrogenación, hidratación, deshidrogenación y tiólisis, la cual es la última fase, la responsable de acortar las cadenas de carbono en pares para conseguir moléculas de Acetil-CoA, las que, al reaccionar con los alcoholes de los ácidos producidos, se condensan a ésteres y acetatos.

Lipooxigenasa y sus compuestos volátiles

La ruta de la lipooxigenasa 'LOX', se presenta a partir de disrupción celular de los frutos, donde, a partir de enzimas acil-hidrolasas, liberan las moléculas, tanto de ácido linoleico como linoléico, y mediante las acciones de las enzimas LOX oxigenan los ácidos grasos para generar hidroperóxidos, donde las enzimas hidroperóxido-liasas permitirán la conversión hacia los primeros aldehídos como compuestos aromáticos, entre ellos son el nonenal, hexanal, hexenal y nonadienal; sin embargo, mediante isomerizaciones y por acción de las enzimas alcohol-deshidrogenasas

se sintetizan los alcoholes de sus correspondientes aldehídos, para después, por enzimas alcohol-deshidrogenasas, provocar la formación de sus ésteres C6 (Chen *et al.*, 2004). Sin embargo, a partir de la vía LOX, también por acción de enzimas óxido-aleno, son capaces, a partir de ácidos 13-hidroperóxidos, de ciclar y reconvertir en óxidos de aleno y con reducciones en β -oxidación, sintetizar ácido jasmónico (Figura 1) como compuestos aromáticos también de interés en uvas, sobre todo en variedades blancas (Baysal y Demirdöven, 2007).

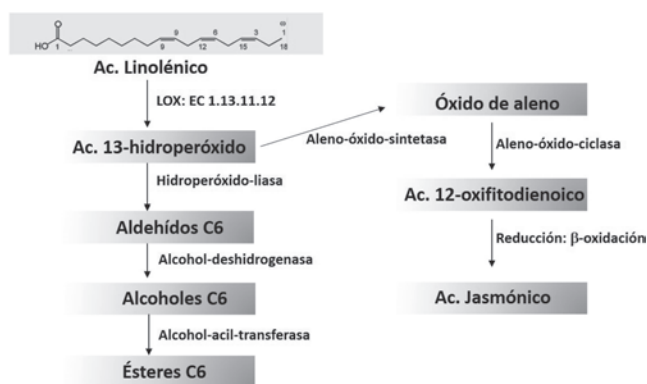


Figura 1. Ruta LOX en la formación de los principales grupos C6 de cadena lineal y de jasmonatos a partir de ácido linolénico (Adaptado de Baysal y Demirdöven, 2007).

Vía isoprenoide y sus compuestos volátiles

La vía isoprenoide comprende la formación de unidades de cinco carbonos (C5), conocidas como isopreno (metil butadieno), estas son parte del metabolismo secundario de las plantas. La principal molécula mediadora es el isopentil pirofosfato (IPP). El IPP se sintetiza a partir de dos rutas distintas, una dependiente del mevalonato y otra independiente (Figura 2). La primera parte de la Acetil-CoA citosólico o del retículo endoplasmático liso, mientras que la segunda ruta, también conocida como metileritritol en los plastos, se origina por la reacción entre el G3P y del piruvato descarboxilado o hidroxietanolamina, para la formación de ubiquinonas, esteroides, brasinoesteroides, fitohormonas, pigmentos y compuestos aromáticos de origen lipídico. Durante las reacciones de condensación a partir de la ruta del

mevalonato, el producto principal es el compuesto volátil geranil o farnesil. Tanto el geranil como el farnesil fosfatados son moléculas precursoras de monoterpenos, diterpenos, tetraterpenos y sesquiterpenos. Entre los compuestos aromáticos de origen terpenoides se encuentran el geraniol, farnesol, mentol, linalol, limoneno, mentol, ocimeno, miceno, pineno, alcanfor, nerolidol.

Compuestos a partir de aminoácidos

Los compuestos aromáticos de cadena ramificada son sintetizados a partir de algunos aminoácidos como precursores directos, los aminoácidos principales son leucina e isoleucina (Sanz *et al.*, 1997), donde reacciones enzimáticas de oxoglutarato-aminotransferasas se forman α -ceto ácidos del aminoácido correspondiente, para después, por acción de piruvato deshidrogenasa, se forme el primer aldehído ramificado y, de manera consecutiva, las enzimas alcohol deshidrogenasa y alcohol aciltransferasa, sintetizan los compuestos del grupo de alcoholes y aldehídos respectivamente (Figura 3). Se ha demostrado que a partir de la leucina se forman compuestos aromáticos como el 3-metil 1 butanol, sin embargo, en otras investigaciones (Maya-Meraz *et al.*, 2014) se demostró que la isoleucina es capaz de producir 2-metil 1 butanol, así como su respectivo éster 2 metil butil acetato.

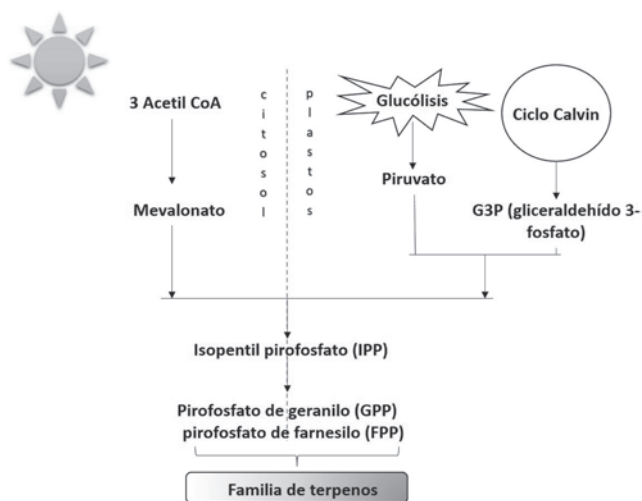


Figura 2. Síntesis de terpenos a través de la vía isoprenoide, vía citosol y a través de los plastos (Adaptado de Wink, 2010).

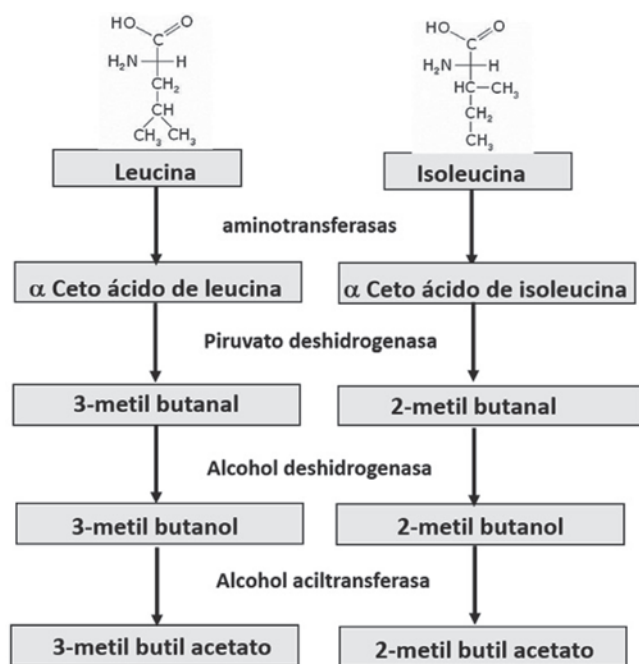


Figura 3. Síntesis de volátiles de cadena ramificada, a partir de aminoácidos, leucina e isoleucina como precursores directos (Adaptado de Sanz *et al.*, 1997).

Es importante dar realce a la gran cantidad de aminoácidos existentes, sin embargo, los aminoácidos como el triptófano y la fenilalanina tienen relación con la síntesis de diversos compuestos aromáticos. La fenilalanina tiene relación directa con la formación de polifenoles a través de la ruta fenilpropanoide, donde el ácido cinámico juega un rol como molécula precursora de diversos compuestos (Bousher *et al.*, 2008), entre ellos, algunos como la vainillina, que pudiera estar relacionado con los aromas que aparecen sobre todo en vinos tintos; a su vez, con los derivados benzoicos como ácidos caféico (González-Neves *et al.*, 2011) a través de enzimas hidrolasas y de la síntesis de ésteres fenólicos. Otros de los compuestos aromáticos que mencionan Sanz *et al.* (1997) a partir de múltiples revisiones, son las metoxipirazinas, provenientes del aminoácido metionina o fenilalanina. Las metoxipirazinas se han observado tanto en uvas como en vinos con aroma descriptor a pimienta morrón y aromas especiados; los aromas suelen ser herbáceos, deseable para uvas blancas, pero no para

las tintas. El grupo de metoxipirazinas se ha encontrado en variedades de uvas tintas de alto vigor, como la Cabernet Sauvignon y la Merlot (Robinson, 2006). Otros de los aminoácidos involucrados en la síntesis de compuestos aromáticos es la cisteína, este aminoácido tiene la característica de contener azufre en su molécula; está relacionado con la síntesis de los aromas de la familia *Allium*, como cebollas y ajos, entre otros; a su vez, con los aromas de las crucíferas como coliflor, repollos y brócoli (Kubec *et al.*, 1999), sin embargo, también se han detectado, en vinos provenientes de variedades de uva blanca como Sauvignon blanc y Verdejo, aromas como 4-metil-4-mercaptopentan-2-ona, 3-mercaptohexanol y acetato de mercaptohexanol, pero con aromas cítricos (López-Cordón, 2011). Por lo que, manejos en viñedos con aplicaciones de azufre podrían desarrollar aromas relacionados con la cisteína y sus compuestos aromáticos azufrados.

Importancia de los compuestos aromáticos en uvas para vino

La composición química y la calidad en los vinos proviene a partir de la calidad de la baya, de la fermentación y del añejamiento, dentro de la calidad de la baya de importancia enológica, en la actualidad se consideran los sólidos solubles, los polifenoles y los aromas (Antoniolli *et al.*, 2015). Tanto los polifenoles como los compuestos aromáticos son metabolitos secundarios producidos como mecanismos de defensa por las plantas, pero aprovechables para determinar la calidad de una uva y su vino; los metabolitos secundarios de interés, como los aromáticos, comienzan a sintetizarse a partir del envero de las uvas hasta su madurez y cosecha (Dokoozlian y Kliewer, 1996; Conde *et al.*, 2007). Los compuestos aromáticos del vino son primarios, secundarios y terciarios; los aromas primarios se originan a partir de las uvas, los aromas secundarios se sintetizan durante la fermentación por acción microbiológica, y los aromas terciarios evolucionan durante el añejamiento, ya sea en botella o en barricas. La mayoría de los estudios realizados

en compuestos aromáticos se centran en terpenos, aunque en la actualidad se incluyen estudios acerca de los aldehídos, alcoholes, ésteres, fenoles, norisoprenoides, pirazinas y tioles, provenientes tanto de rutas alternas de β -oxidación, lipoxigenasa, aminoácidos como precursores directos que son de alta importancia al proporcionar aromas herbáceos, a florados, cítricos y afrutados, característicos de cada varietal.

Los compuestos aromáticos en conjunto determinan la calidad aromática en las uvas en los vinos, sin embargo, es importante resaltar que así como los compuestos aromáticos pueden resaltar la calidad de un vino, también pueden ocasionar defectos en su calidad aromática. En los vinos tintos, de manera común, se desean aromas primarios afrutados, especiados o amaderados; mientras que en vinos blancos los aromas propios serán afrutados, herbáceos-vegetales, cítricos o florales. Aunque depende de los gustos del mercado y de las técnicas enológicas para diseñar el vino. En algunos casos, a vinos blancos se les propicia aromas amaderados, sin embargo, en vinos tintos los aromas herbáceos-vegetales indican defecto aromático. Para determinar el aroma descriptor de cada vino se evalúa la calidad de su uva y cepas para fermentación. El uso de kits aromáticos o narices electrónicas son técnicas comunes en enología para describir el aroma en los vinos, pero en investigación se evalúan mediante espectrofotometría de gases o gases-masas, en el que se identifican cada una de las moléculas responsables de determinado aroma, que en conjunto son las que se pueden encontrar en un solo fruto.

Uvas tintas

Las variedades tintas más estudiadas en cuanto a sus compuestos aromáticos son Cabernet Sauvignon, Merlot, Tempranillo, Pinot noir, entre otras. Su importancia radica en la alta demanda y comercialización de sus vinos. Los aldehídos, alcoholes, ésteres, y terpenos se encuentran con mayor

frecuencia en uvas tintas (Cuadro 1), donde se observa que de los compuestos aromáticos reportados se tiene gran cantidad de aldehídos, alcoholes y ésteres, de la misma importancia que los terpenos. Por lo que se puede deducir que los aromas primarios afrutados como manzanas y moras provienen en la mayoría de los aldehídos, alcoholes y ésteres, mientras que los aromas cítricos y florales los proveen los compuestos aromáticos de los grupos alcoholes y terpenos; finalmente, los polifenoles, aparte de tener la función de antioxidantes, algunos de ellos también tienen la función de proveer aromas como la vainillina.

Uvas blancas

Los compuestos aromáticos característicos de las uvas blancas se basan en aromas que transfieran al vino compuestos con aspecto fresco, incluyendo aromas herbáceos, vegetales cítricos, a florados y dukes, aunque en algunas variedades, como Sauvignon blanc, se incluyen otra clase de compuestos aromáticos llamados tioles, provenientes del aminoácido cisteína (des Gachons *et al.*, 2000), compuestos como 4-mercapto-4-metilpentan-2-ona, 4-mercapto-4-metilpentan-2-ol y mercaptohexan-1-ol, relacionados con aromas de pomelo o cítricos (López-Cordón, 2011). Entre las variedades más comerciales a nivel mundial, según la OIV se encuentran: Chardonnay, Sauvignon blanc, Moscatel y Airen, aunque depende del sitio de cultivo, también se incluyen Riesling, Gewurztraminer y Malvasia. En el Cuadro 2 se muestran por grupo algunos compuestos volátiles más comunes de las variedades de uva blancas o sus vinos.

Conclusiones

Se demostró mediante la presente investigación que la bioquímica de la vid, así como su modificación, está directamente relacionada con la producción de moléculas importantes que resaltan la composición de los vinos.

Cuadro 1. Compuestos volátiles frecuentes en uvas tintas de mayor comercialización.

Varietal	Grupo	Compuesto	Descripción del aroma	Referencia
Cabernet Sauvignon	Aldehído	Hexanal	Manzana verde	Kalua y Boss, 2010; Canuti <i>et al.</i> , 2009; Fan <i>et al.</i> , 2009
		E-2-hexenal	Verde	
		Octanal		
		Nonanal		
		E-2-nonenal	Pepino	
		3 metil butanal 2,4		
		Hexadienal		
		Benzaldehído	Frutillas/moras	
		Decanal	Piel naranja	
		Alcohol	1-butanol,	
	1-Hexanol		Floral verde	
	3-hexenol		Herbáceo	
	3-octanol			
	3-octen-1-ol		Champiñón	
	2-etil-1-hexanol		Floral	
	2-heptanol			
	Nonanol		Floral rosas	
	1-pentenilalcohol			
	3-metilbutanol		Afrutado	
	Éster/ácidos	Metil-hexanoato		Kalua y Boss, 2010; Canuti <i>et al.</i> , 2009; Fan <i>et al.</i> , 2009; Salas-Salazar y Olivas, 2011
		Etil acetato	Piña	
		Etil butanoato	Manzana	
		Etil-2 metilbutanoato	Afrutado	
		Etil hexanoato	Floral/afrutado	
		Etil octanoato	Afrutado	
		Ác. 3-metilbutanico,	Ácido/rancio	
		Etil-2-pentilacetato	Floral/miel	
	Ác. Butanoico.	Queso		
	Terpenos	Geranil	Floral	Canuti <i>et al.</i> , 2009
		Nerol		
		Citronelol		
		Linalol	Floral cítrico	
		α -terpineol		
β -damascenone		Floral/dulce		
Fenol	Vainillin	Vainilla	Fan <i>et al.</i> , 2009	
Merlot	Aldehídos	Hexanal		Fan <i>et al.</i> , 2009
		E-2-hexenal		
		Decanal	Piel naranja	
		Benzaldehído	Frutillas	
		3-metilbutanal	Verde	
	Alcoholes	1-butanol	Alcohólico	Fan <i>et al.</i> , 2009
		3-metilbutanol	Afrutado	
		1-hexanol	Floral/verde	
		3-hexenol	Herbáceo	
		1-octen-3-ol	Champiñón	
2-etil-hexanol	Floral			
Nonanol	Floral rosas			
2-pentenilalcohol				


Cuadro 1. Compuestos volátiles frecuentes en uvas tintas de mayor comercialización (Continuación).

Varietal	Grupo	Compuesto	Descripción del aroma	Referencia		
Pinot noir	Ésteres/ácidos	Etil acetato	Piña	Fan <i>et al.</i> , 2009; Salas-Salazar y Olivas, 2011		
		Etil butanoato	Manzana			
		Etil-2-metilbutanoato	Afrutado			
		Etil hexanoato	Floral/afrutado			
		Etil octanoato	Afrutado			
		Ác. Butanoico	Ácido/rancio			
		Etil decanoato	-----			
		Ác. 3-metilbutanico	Floral/miel			
	Terpenos	Etil-2-pentilacetato	Queso	Fan <i>et al.</i> , 2009		
		Linalol	Floral/cítrico			
		α -terpineol	Floral/durazno			
	Fenol	β -damascenone	Floral/dulce	Fan <i>et al.</i> , 2009		
		Vainillin	Vainilla			
	Aldehídos	Aldehídos	2-nonenal	Fang y Qian, 2012; Meng <i>et al.</i> , 2011		
			Hexanal			
			Trans-2-hexenal			
			Heptanal			
			Octanal			
Nonanal			Rosas			
Decanal			Piel de naranja			
Alcoholes			1-hexanol		Verde/afrutado	Fang y Qian, 2012; ; Meng <i>et al.</i> , 2011
			Benzyl-alcohol		Albaricoque	
			Pentenil-alcohol		Rosa dulce	
	Trans-3-hexenol					
Terpenos	Terpenos	Trans-2-hexenol	Fang y Qian, 2012			
		1-octen-3-ol				
		3-metilbutanol		Afrutado		
		Linalool		Floral fresco		
		Nerol		Cítrico		
		Geraniol		Floral		
		Eugenol		Cítricos		
Citronello	Especies/nuez					
Tempranillo	Fenol	α -terpenol.	--	López <i>et al.</i> , 2004		
		Vainillin	Vainilla			
	Aldehídos	Aldehídos	Hexanal		Afrutado	
			E-2-Hexenal		Verde	
			E-2-Decenal		Verde	
			E-2-Heptenal		Cerveza	
			Benzaldehído		Frutillas	
	Alcoholes	Alcoholes	Z-3-hexenol		Verde	López <i>et al.</i> , 2004
			1-octanol		Dulce	
	Ésteres/ácidos	Ésteres/ácidos	Etil acetato		Afrutado	López <i>et al.</i> , 2004
			Etil hexanoato		Floral/afrutado	
			Ác. Pentanoico		Dulce	
Ác. Hexanoico			Queso			
Ác. Octanoico			Graso			
Etil hexadecanoato			Hierbas aromáticas			
Fenoles	Fenoles	Guaiacol	Amaderado	López <i>et al.</i> , 2004		
		Etil cinamato	Flores blancas			
		Eugenol	Aflorado			
		Ac. Benzoico	Alorado			
		Vainillin	Vainilla			
		Isoeugenol	Mandarina			
		γ -decalactona	Coco		López <i>et al.</i> , 2004	
		γ -undecalactona	Especiado			

Cuadro 2. Compuestos volátiles frecuentes en uvas blancas de mayor comercialización.

Varietal/vino	Grupo	Compuesto	Descripción del aroma	Referencia	
Chardonnay (uva)	Aldehído	E-2-Hexenal	Verde	Martínez-Gil <i>et al.</i> , 2013	
		Alcohol	1-hexanol	Verde/afutado	Martínez-Gil <i>et al.</i> , 2013
	Z-3-hexenol	Verde			
	E-2-hexen-ol	Verde			
	Benzil alcohol	--			
	Terpenos	Linalol	Floral fresco	Martínez-Gil <i>et al.</i> , 2013	
		Geraniol	Floral		
		Hidroxilinalol	--		
		Nerol	Cítrico		
		Ác. Geránico	--		
	Fenoles	Metil salicilato	--	Martínez-Gil <i>et al.</i> , 2013	
		Ác. Benzoico	--		
		Metil vainillato	Vainilla		
		Tirosol	--		
Norisoprenoides	3-hidroxi- β -damascona	--	Martínez-Gil <i>et al.</i> , 2013		
	3-oxo- α -ionol	--			
Sauvignon Blanc (vino)	Alcoholes	2-metil-propanol		Swiegers <i>et al.</i> , 2009	
		3-metil-butanol			
		2-metil-butanol			
		1-hexanol			
	Ésteres/ácidos	Etil acetato	Afrutado	Swiegers <i>et al.</i> , 2009	
		Etil propanoato			
		Etil-2-metilpropanoato			
		2-metilpropil-acetato			
		Etil-butanoato			Manzana
		Etil-2-metilbutanoato			
		Etil-3-metilbutanoato			
		2-metilbutil-acetato			Plátano
		3-metilbutil-acetato			
		Etil-hexanoato			Floral/afutado
		Hexyl-acetato			Afrutado
		Etil-octanoato			
		2-pentenil-acetato			
		Ác. 2-metil-propanoico			
		Ac. 2-metil-butanoico			
		Ac. 3-metil-butanoico			
		Ac. Hexanoico			
		Ac. Octanoico			
	Ac. Decanoico				
	Fenol	2-fenil-etanol	Swiegers <i>et al.</i> , 2009		
	Sauvignon Blanc (uva)	Aldehídos	Hexanal	Verde	
			Heptenal		
			Nonanal		
		<i>Trans</i> -			
Pirazinas		2-etil-3-metoxipirazina	Aromas Pimiento morrón/ herbáceos		
		2-isopropil-3-metoxipirazina			
		2-isobutil-3-metoxipirazina			

Literatura citada

- ANTONIOLLI, A., A. Fontana, P. Piccoli and R. Bottini. 2015. Characterization of polyphenols and evaluation of antioxidant capacity in grape pomace of the cv. Malbec. *Food Chemistry* 178:172-178.
- BAYSAL, T. and A. Demirdöven. 2007. Lipoxygenase in fruits and vegetables: A review. *Enzyme and Microbial Technology* 40:491-496.
- BOUSHER, C., M. Steer and A. Tobin. 2008. Plant Biochemistry. Chapter 11: Phenolics. Garland Science, Taylor and Francis Group, LLC. First ed. 1-444.
- CANUTI, V., M. Conversano, H. L. Calzi, H. Heymann, M. A. Matthews, and S. E. Ebeler. 2009. Headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry for profiling free volatile compounds in Cabernet Sauvignon grapes and wines.
- CHEN, G., R. Hackett, D. Walker, A. Taylos, Z. Lin and D. Grierson. 2004. Identification of a specific isoform of tomato lipoxygenase (TomloxC) involved in the generation of fatty acid-derived flavor compounds. *Plant Physiol* 136:2641-2651.
- CONDE, C., P. Silva, N. Fontes, A. C. P. Dias, R. M. Tavares, M. J. Sousa, A. Agasse, S. Delrot and H. Gerós. 2007. Biochemical changes throughout grape Berry development and fruit and wine quality. *Global Science Books* 1(1):1-22.
- DES GACHONS, C. P., T. Tominaga, and D. Dubourdieu. 2000. Measuring the aromatic potential of *Vitis vinifera* L. Cv. Sauvignon Blanc grapes by assaying s-cysteine conjugates, precursors of the volatile thiols responsible for their varietal aroma. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48(8):3387-3391.
- DOKOZLIAN, N. K. and W. M. Kliewer. 1996. Influence of light on grape Berry growth and composition varies during fruit development. *J. Amer. Soc. hort. Sci.* 121(5):869-874.
- ESPINO-DÍAS, M., D. R. Sepúlveda, G. González-Aguilar, and G. I. Olivas. 2016. Biochemistry of Apple aroma: a review. *Food Technol. Biotechnol.* 54(4):375-394.
- FANG, Y. and M. Qian. 2005. Aroma compounds in oregon Pinot noir wine determined by aroma extract dilution analysis (AEDA). *Flavor and Fragrance Journal* 20:22-29.
- FAN, G., W. Lu, X. Yao, Y. Zhang, K. Wang, and S. Pan. 2009. Effect of fermentation on free and bound volatile compounds of orange juice. *Flavor and Fragrance Journal* 24:219-225.
- GONZÁLEZ-NEVES G., G. Gil, G. Favre and M. Ferrer. 2011. Potencial polifenólico de la uva: índices propuestos y posibles aplicaciones. *Comunicata Scientiae* 2(2):57-69.
- KALUA, C. M., and P. K. Boss. 2010. Comparison of major volatile compounds from Riesling and cabernet sauvignon grapes (*Vitis vinifera* L.) from fruitset to harvest. *American Journal of Grape and Wine Research* 16(2):337-348.
- KUBEC, R., V. Drhová, and J. Velíšek. 1999. Volatile compounds thermally generated from S-propylcysteine and S-propylcysteine Sulfoxide-aroma precursors of Allium vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47(3):1132-1138.
- LÓPEZ-CORDÓN, E. N. 2011. Compuestos azufrados volátiles y riesgos de reducción en vinos. *Artículos Técnicos Alimentaria* 425:115- 120.
- LÓPEZ, R., E. Ezpeleta, I. Sánchez, J. Chacho, and V. Ferreira. 2004. Analysis of the aroma intensities of volatile compounds release from mild acid hydrolysates of odourless precursors extracted from tempranillo and grenache grapes using gas chromatography-olfactometry. *Food Chemistry* 88(1):95-103.
- MARTÍNEZ-GIL, A. M., M. Angenieux, A. I. Pardo-García, G. L. Alonso, H. Ojeda, and M. R. Salinas. 2013. Glycosidic aroma precursors of Syrah and Chardonnay grapes after an oak extract application to the grapevines. *Food Chemistry* 138:956-965.
- MAYA-MERAZ, I.O., M. Espino-Díaz, F. J. Molina-Corral, G. A. González-Aguilar, J. L. Jacobo-Cuéllar, D. R. Sepúlveda and G. I. Olivas. 2014. Production of volatiles in fresh-cut Apple: effect of applying alginate coatings containing linoleic acid or isoleucine. *Journal of Food Science* 79(11):185-191.
- MENG, J., Y. Fang, J. Gao, A. Zhang, J. Liu, Z. Guo, Z. Zhang and H. Li. 2011. Changes in aromatic compounds of cabernet sauvignon wines during ageing in stainless steel tanks. *African Journal of Biotechnology* 10(55):11640-11647.
- ROBINSON, J. 2006. The Oxford Companion to Wine (3ª edición). Oxford University Press.
- SALAS-SALAZAR, N. A., and G. I. Olivas. 2011. El aroma de la manzana. *Interciencia* 36(4), 265-271.
- SANZ, C., J. M. Olias, and A. G. Pérez. 1997. Aroma biochemistry of fruits and vegetables. En Tomas-Barberan., F.A & Robins, R.J. (Eds) *Phytochemistry of Fruits and Vegetables*. Clarendon. Oxford, 125-155.
- SWIEGERS, J. H., R. L. Kievit, T. Siebert, K. A. Lattey, B. R. Bramley, I. L. Francis, E. S. King and I. S. Pretorius. 2009. The influence of yeast on the aroma of Sauvignon blanc wine. *Food Microbiology* 26:204-211.
- WINK, M. 2010. Introduction: biochemistry, physiology and ecological functions of secondary metabolites. *Annual Plant Reviews Volume 40: Biochemistry of Plant Secondary Metabolism, Second Edition*, 1-19. 

Este artículo es citado así:

Maya-Meraz, I. O. y R. Pérez-Leal. 2018. ¿Qué relación existe entre la calidad aromática del vino y la bioquímica de la vid? *TECNOCIENCIA Chihuahua* 12(3):134-142.

Resumen curricular del autor y coautores

IRMA OFELIA MAYA-MERAZ. Terminó su licenciatura en 2007, año en que fue otorgado el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias por el Instituto Tecnológico de Cuauhtémoc (ITCC). Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el área de Biotecnología en el 2011, por la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), donde actualmente cursa el programa de Doctorado en Ciencias Hortofrutícolas en el área de Fisiología Vegetal. Impartió clases durante el periodo 2011-2015 en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de Bioquímica de Plantas, Fisiología Vegetal, así como Fisiología y Tecnologías de Poscosecha. El área de especialización es Recubrimientos Comestibles y Precursores en la Bioquímica Aromática de Frutos y actualmente en la Fisiología del Estrés en Plantas, enfocado en metabolitos secundarios de la Vid. Ha dirigido 1 tesis de licenciatura y 4 como asesor en licenciatura y maestría. Es autora de 1 artículo científico, 1 artículo de divulgación, así como coautora en 1 capítulo de un libro científico arbitrado para Elsevier.

RAMONA PÉREZ LEAL. Obtuvo el título de Licenciado Químico Farmacéutico Biólogo en 1994 por la Universidad Autónoma de Sinaloa, y Maestría (2000) y Doctorado (2004) en Ciencias Hortícolas por la Universidad Autónoma Chapingo. Actualmente está adscrita a la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Ha publicado 23 Artículos científicos, 15 Libros y 9 capítulos de libro. Tiene 15 participaciones en congresos nacionales e internacionales. Ha participado en 15 Proyectos de investigación. Líder del cuerpo académico UACH-CA11 Frutales de Zona Templada. Actualmente se encuentra desarrollando proyectos de investigación en los campos de Fotoquímica, con énfasis en metabolismo secundario, es responsable del Laboratorio de Biología de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas.