

Tipicidad fenólica y sensorial del Malbec argentino

*Tesis presentada para optar al título de doctor de la Universidad de Buenos Aires, Área
Ciencias Agropecuarias*

Roy Alexander Urvieta

Licenciado en Enología – Universidad Tecnológica Nacional - 2015

Lugar de trabajo: Grupo de Bioquímica Vegetal, Instituto de Biología Agrícola
Mendoza, CONICET-FCA-UNCuyo y Catena Institute of Wine, Bodega Catena Zapata,
Mendoza, Argentina.



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis

Ariel Ramón Fontana

Bioquímico (Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Bioquímica y Ciencias
Biológicas; Santa Fé, Argentina)

Doctor en Química (Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia, Universidad
Nacional de San Luis; San Luis, Argentina)

Co-director

Elena Beatriz Coste

Ingeniera Zootecnista (Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas
de Zamora, Argentina)

Doctor en Tecnología de Alimentos (Universidad de Córdoba, España)

JURADO DE TESIS

JURADO

María Verónica Baroni

Lic. En Bioquímica (Universidad Nacional de Córdoba)
Doctor en Ciencias Químicas (Universidad Nacional de Córdoba)

JURADO

Diego Lijavetzky

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)
Doctor en Ciencias Biológicas (Universidad de Buenos Aires)

JURADO

Alejandro C. Olivieri

Lic. En Química Industrial (Universidad Católica de Santa Fe)
Doctor en Química (Universidad del Rosario)

Fecha de defensa de la tesis: 10 de abril de 2024

DEDICATORIA

A Anto y Ari, por su apoyo incondicional y por ser parte de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todos aquellos que contribuyeron, tanto directa como indirectamente a hacer realidad mi sueño de alcanzar el máximo grado académico. Es un honor y privilegio haber estado rodeado de personas sumamente inteligentes y, sobre todo, buenas personas.

Mi más sincero agradecimiento Laura Catena y Nicolás Catena por su inquebrantable apoyo, su generosidad y su visión para elevar el vino argentino.

A mi compañera de vida, Antonela, y a mi hija Ariadna: gracias por su apoyo constante durante todos estos años. Su paciencia ha sido invaluable, especialmente durante esos largos períodos en los que estuve ausente.

A Ariel Fontana, por su confianza y motivación constante en mi recorrido doctoral. Ha sido un privilegio tenerlo como director.

A Fernando Buscema, le agradezco por su energía contagiosa y su apasionada forma de trabajar.

A Ale Vigil. Al equipo de viticultura y enología de Catena Zapata que siempre estuvieron presente en la cosecha de las parcelas para el proyecto.

A mis padres, Estela y José, por su apoyo incondicional.

Mi agradecimiento a Hildegarde Heymann, por brindarme la oportunidad de aprender en su laboratorio, que considero uno de los más prestigiosos del mundo en análisis sensorial.

A Beatriz, le agradezco por darme la oportunidad de trabajar en su laboratorio y por aceptar ser mi co-directora.

Mi reconocimiento a Rubén Bottini por su confianza, revisiones y apoyo sostenido durante todo el doctorado.

A todo el equipo del Catena Institute of Wine: siempre estuvieron allí, y su presencia fue esencial en cada etapa.

A mis amigos, Pato Bianchetti, Tincho Morillas y Pantri Trentin: su amistad ha sido un pilar fundamental. Las llamadas cuando estaba de viaje realizando mi tesis doctoral me alegraban el día.

Al CONICET, le agradezco por la beca otorgada, la cual fue esencial para finalizar mi Doctorado.

Finalmente, agradezco al IBAM-UNCuyo por ofrecerme un espacio para realizar mi doctorado.

DECLARACIÓN

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en esta u otra institución.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping lines that form a stylized, abstract shape.

Lic. Enología Roy Alexander Urvieta

PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS

- **Urvieta, R.**, Buscema, F., Bottini, R., Coste, B., & Fontana, A. (2018). Phenolic and sensory profiles discriminate geographical indications for Malbec wines from different regions of Mendoza, Argentina. *Food Chemistry*, 265, 120-127. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814618308951>
- **Urvieta, R.**, Jones, G., Buscema, F., Bottini, R., & Fontana, A. (2021). Terroir and vintage discrimination of Malbec wines based on phenolic composition across multiple sites in Mendoza, Argentina. *Scientific Reports*, 11(1), 2863. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-82306-0>
- **Urvieta, R.**, Heymann, H., Cantu, A., Catania, A., Buscema, F., Bottini, R., & Fontana, A. (2024) Tracing the origin of Argentine Malbec wines by sensometrics. *npj Science of Food* 8, 14. <https://doi.org/10.1038/s41538-024-00252-3>

PRESENTACIONES EN CONGRESOS

2016- 2nd Latin American Metabolic Profiling Symposium 2016, Rosario, Argentina. “Phenolic profiling of Malbec wines from Mendoza: influence of terroir”. Urvieta Roy, Buscema Fernando, Bottini Rubén, Fontana Ariel.

2018 – Oral exposition in OIV Congress (Punta del Este, Uruguay) - Sensory, phenolic and volatile profiling of Malbec wines from different terroir of Mendoza. Urvieta Roy, Heymann Hildegard, Buscema Fernando, Bottini Rubén, Piccoli Patricia and Fontana Ariel.

DIVULGACIÓN CIENTÍFICA DE RESULTADOS

Un descubrimiento sobre el vino argentino fue reconocido por un prestigioso medio científico. (n.d.). Retrieved August 20, 2023, from https://www.clarin.com/gourmet/descubrimiento-vino-argentino-reconocido-prestigioso-medio-cientifico_0_mZtU_B4Kw.html

El Malbec argentino, protagonista del último hallazgo de la ciencia - Infobae. (n.d.). Retrieved August 20, 2023, from <https://www.infobae.com/tendencias/2021/02/03/el-malbec-argentino-protagonista-del-ultimo-hallazgo-de-la-ciencia/>

El terroir sí importa. Investigadores argentinos afirman su influencia - LA NACION. (n.d.). Retrieved August 20, 2023, from

<https://www.lanacion.com.ar/lifestyle/el-terroir-si-importa-investigadores-argentinos-afirman-su-influencia-nid19022021/>

“Groundbreaking” research proves existence of terroir - Harpers Wine & Spirit Trade News. (n.d.). Retrieved August 22, 2023, from https://harpers.co.uk/news/fullstory.php/aid/28350/Groundbreaking_research_proves_existence_of_terroir.html

CONICET Mendoza » Logran discriminar el terroir de vinos Malbec mediante análisis químicos. (n.d.). Retrieved August 20, 2023, from <https://www.mendoza.conicet.gov.ar/blog/logran-discriminar-el-terroir-de-vinos-malbec-mediante-analisis-quimicos/>

Comprueban la influencia del terruño en los vinos malbec | Agroempresario.com. (n.d.). Retrieved August 20, 2023, from <https://agroempresario.com/publicacion/40355/comprueban-la-influencia-del-terruño-en-los-vinos-malbec/?cat=494>

Los terroir de los Malbec en Mendoza, en la voz de los científicos que investigaron - Noticias de Mendoza - Memo. (n.d.). Retrieved August 20, 2023, from <https://www.memo.com.ar/economia/los-terroir-de-los-malbec-en-mendoza-en-la-voz-de-los-cientificos-que-investigaron/>

Scientists reveal Malbec terroir secrets in Mendoza - study - Decanter. (n.d.). Retrieved August 20, 2023, from <https://www.decanter.com/wine-news/malbec-terroir-study-mendoza-453171/>

La influencia del terruño en los vinos Malbec - Bacap Noticias. (n.d.). Retrieved August 20, 2023, from <https://bacap.com.ar/2021/02/24/la-influencia-del-terruño-en-los-vinos-malbec/>

Chemical signature of Malbec wines backs up concept of ‘terroir’ | New Scientist. (n.d.). Retrieved August 20, 2023, from <https://www.newscientist.com/article/2266898-chemical-signature-of-malbec-wines-backs-up-concept-of-terroir/>

Proof of Terroir? Researchers Dig Deep into Argentine Malbec | Wine Spectator. (n.d.). Retrieved August 20, 2023, from <https://www.winespectator.com/articles/proof-of-terroir-researchers-dig-deep-into-argentine-malbec>

Un estudio sobre el malbec mendocino fue reconocido en un prestigioso medio científico - MDZ Online. (n.d.). Retrieved August 20, 2023, from <https://www.mdzol.com/mdz-divinos/2021/2/11/un-estudio-sobre-el-malbec-mendocino-fue-reconocido-en-un-prestigioso-medio-cientifico-137098.html>

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	III
DECLARACIÓN	V
PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS	VI
PRESENTACIONES EN CONGRESOS.....	VI
DIVULGACIÓN CIENTIFICA DE RESULTADOS.....	VI
ÍNDICE DE CUADROS	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ABREVIATURAS.....	XVI
CAPÍTULO 1.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL	2
1.1.1. <i>Vitivinicultura en Argentina: Historia y protagonismo de la variedad Malbec</i>	2
1.1.2. <i>Diversidad química de los vinos e impacto en la calidad.....</i>	6
1.2. COMPUESTOS FENÓLICOS.....	10
1.2.1. <i>No-flavonoides</i>	<i>11</i>
1.2.1.1. <i>Ácidos Hidroxicinámicos</i>	<i>11</i>
1.2.1.2. <i>Ácidos hidroxibenzoicos.....</i>	<i>13</i>
1.2.1.3. <i>Estilbenos</i>	<i>14</i>
1.2.2. <i>Flavonoides</i>	<i>15</i>
1.2.2.1. <i>Flavan-3-ols y taninos condensados.....</i>	<i>15</i>
1.2.2.2. <i>Flavonoles</i>	<i>17</i>
1.2.2.3. <i>Antocianos.....</i>	<i>19</i>
1.3. ANÁLISIS SENSORIAL DESCRIPTIVO.....	21
1.4. ANTECEDENTES DEL MALBEC.....	26
1.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	31
1.6. OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE TRABAJO	33
1.6.1. <i>Objetivos generales.....</i>	<i>33</i>
1.6.2. <i>Objetivos específicos.....</i>	<i>33</i>
1.6.3. <i>Hipótesis de trabajo</i>	<i>33</i>
CAPÍTULO 2.....	35
2.1. LOCALIZACIÓN DE LOS VIÑEDOS Y PROCEDIMIENTOS DE VINIFICACIÓN	36
2.2. PROTOCOLO DE VINIFICACIÓN Y ANÁLISIS ENOLÓGICOS BÁSICOS DE MOSTOS Y VINOS.....	38
2.2.1. <i>Vinificación</i>	<i>38</i>
2.2.2. <i>Análisis de mostos y vinos.....</i>	<i>43</i>
2.3. TERRACLIMATE	43
2.4. PERFIL DE COMPUESTOS FENÓLICOS	44
2.4.1. <i>Determinación de CPs por HPLC-DAD.....</i>	<i>44</i>
2.4.1.1. <i>Antocianos.....</i>	<i>45</i>
2.5. ANÁLISIS SENSORIAL DESCRIPTIVO.....	46
2.5.1. <i>Procedimiento experimental</i>	<i>47</i>

2.6.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	54
2.6.1	<i>Análisis estadístico de compuestos fenólicos</i>	54
2.6.2.	<i>Análisis estadístico de datos sensoriales</i>	55
CAPÍTULO 3.....		57
3.1.	INTRODUCCIÓN	58
3.2.	<i>TERRACLIMATE</i>	58
3.3.	ANÁLISIS DE MOSTOS Y VINOS	67
CAPÍTULO 4.....		78
4.1.	INTRODUCCIÓN	79
4.1.	OBJETIVOS	81
4.2.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	81
4.2.1.	<i>Discriminación de los departamentos de acuerdo con la añada</i>	81
4.2.1.1.	<i>Añada 2016</i>	81
4.2.1.2.	<i>Añada 2017</i>	86
4.2.1.3.	<i>Añada 2018</i>	91
4.2.2.	<i>Discriminación de vinos de acuerdo a la añada</i>	93
4.2.3.	<i>Correlación entre la composición fenólica y las características específicas de cada origen</i>	102
4.2.4.	<i>Identificación de parcelas únicas en Mendoza y su relación con las IGs</i> 110	
4.3.	CONCLUSIONES	115
CAPÍTULO 5.....		117
5.1.	INTRODUCCIÓN	118
5.2.	OBJETIVOS	120
5.3.	CONDICIONES EXPERIMENTALES.	120
5.4.	ANÁLISIS DE LOS DATOS	120
5.5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	121
5.5.1.	<i>Añada 2016</i>	121
5.5.2.	<i>Añada 2017</i>	128
5.5.3.	<i>Añada 2018</i>	135
5.5.4.	<i>Discriminación de regiones, departamentos e IGs usando los descriptores sensoriales independientemente de la añada</i>	143
5.6.	CONCLUSIONES	146
CAPÍTULO 6.....		148
	DISCUSIÓN GENERAL	149
	CONCLUSIONES Y PERSPETIVAS FUTURAS	151
BIBLIOGRAFÍA.....		153

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1. Derivados de los ácidos hidroxicinámicos presentes en la uva y vinos: formas de éster de tartrato y ácido libre (adaptado de Waterhouse et al., 2016)_____	13
Cuadro 2.1. Información de las parcelas seleccionadas en las regiones de Valle de Uco, Primera zona y zona este de la provincia de Mendoza. _____	40
Cuadro 2.2. Régimen de movimientos de extracción durante la maceración _____	42
Cuadro 2.3. Procedimientos de entrenamiento del panel de cata de Malbec. _____	48
Cuadro 2.4. Composición de los patrones de referencia sensorial utilizados para definir los atributos de aroma, sensaciones táctiles y sabores en vinos de la cosecha 2016. __	50
Cuadro 2.5. Composición de los patrones de referencia sensorial utilizados para definir los atributos de aroma, sensaciones táctiles y sabores en vinos de la cosecha 2017. __	51
Cuadro 2.6. Composición de los patrones de referencia sensorial utilizados para definir los atributos de aroma, sensaciones táctiles y sabores en vinos de la cosecha 2018. __	53
Cuadro 3.1. Datos de temperatura mínima promedio (°C) obtenidos desde la ubicación de las parcelas estudiadas en las añadas 2016, 2017 y 2018. _____	60
Cuadro 3.2. Datos de temperatura máxima promedio (°C) obtenidos de acuerdo a la ubicación de las parcelas estudiadas en las añadas 2016, 2017 y 2018. _____	62
Cuadro 3.3. Datos de índices climáticos y precipitaciones obtenidos de acuerdo a la ubicación de las parcelas estudiadas en las añadas 2016, 2017 y 2018. _____	64
Cuadro 3.4. Características químicas [Media] del mosto y cantidad de repeticiones de vinificaciones de diferentes parcelas de Mendoza. _____	69
Cuadro 3.5. Características químicas [Media ± Desviación estándar] del mosto diferentes parcelas de Mendoza. _____	73
Cuadro 4.1. Concentraciones de antocianos [media (mg/L) ± SD] en vinos Malbec añada 2016 de diferentes departamentos de Mendoza. _____	84
Cuadro 4.2. Concentraciones de LMW-CPs [media (mg/L) ± SD] en vinos Malbec añada 2016 de diferentes departamentos de Mendoza. _____	85
Cuadro 4.3. Concentraciones de antocianos [media (mg/L) ± SD] en vinos Malbec añada 2017 de diferentes departamentos de Mendoza. _____	89
Cuadro 4.4. Concentraciones de LMW-CPs [media (mg/L) ± SD] en vinos Malbec añada 2017 de diferentes departamentos de Mendoza. _____	90
Cuadro 4.5. Concentraciones de antocianos [media (mg/L) ± SD] en vinos Malbec añada 2018 de diferentes departamentos de Mendoza. _____	94

Cuadro 4.6. Concentraciones de LMW-CPs [media (mg/L) \pm SD] en vinos Malbec añada 2018 de diferentes departamentos de Mendoza. _____	95
Cuadro 4.7. Concentraciones de antocianos [media (mg/L) \pm SD] en vinos Malbec de Mendoza en tres añadas consecutivas. _____	97
Cuadro 4.8. Concentraciones de LMW-CPs [media (mg/L) \pm SD] en vinos Malbec de Mendoza en tres añadas consecutivas. _____	98
Cuadro 4.9. Matriz de confusión usando PLS-DA con 66% de los datos para entrenar y 33% de los datos para testear el modelo. _____	100
Cuadro 5.1. p-valor de MANOVA de tres vías por Zonas, departamentos e IGs en la añada 2016. _____	122
Cuadro 5.2. p-valor de ANOVA con modelo pseudomixto con descriptores sensoriales de vinos 2016. _____	122
Cuadro 5.3. p-valor de MANOVA de tres vías por Zonas, departamentos e IGs en la añada 2017. _____	128
Cuadro 5.4. p-valor de ANOVA con modelo pseudomixto con descriptores sensoriales de vinos 2017 _____	128
Cuadro 5.5. p-valor de MANOVA de tres vías por Zonas, departamentos e IGs en la añada 2018. _____	135
Cuadro 5.6. p-valor de ANOVA con modelo pseudomixto con descriptores sensoriales de vinos 2018. _____	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ilustración simple de la baya de uva utilizada para describir los tejidos y la composición fenólica. Adaptado de Coombe, 1987; Waterhouse et al., 2016.	11
Figura 1.2. Estilbenos seleccionados en vino: resveratrol, piceído, pterostilbeno y viniferina.	14
Figura 1.3. El sistema de anillo central de los flavonoides con una estructura C ₆ -C ₃ -C ₆	15
Figura 1.4. Flavanoles monoméricos en las uvas.....	16
Figura 1.5. Flavanoles encontrados en vinos.....	18
Figura 1.6. Estructura de antocianos.....	20
Figura 2.1. Mapa que ilustra los departamentos de la provincia de Mendoza en los que se ubican las áreas vitivinícolas del Valle de Uco, Primera Zona y Zona este.	36
Figura 2.2. Imagen de satélite del Valle de Uco con la localización de los departamentos de Tunuyán, San Carlos y Tupungato. Se detalla la ubicación de las parcelas de estudio en cada IG.	37
Figura 2.3. Imagen de satélite de la Primera zona y zona este con la localización de los departamentos de Luján de Cuyo, Maipú y Rivadavia. Se detalla la ubicación de las parcelas de estudio en cada IG.....	37
Figura 3.1. Acumulación de grados días promedio (GDD) en Mendoza obtenidos a partir de datos desde 1958 hasta 2019 con una resolución temporal mensual y una resolución espacial de ~ 4 km (1/24 grado). Clasificación de clases de GDD obtenido por Amerine & Winkler (1962) junto con los límites superior e inferior para la Región I y la Región V (Ver texto)	66
Figura 4.1. Análisis de variables canónicas (CVA) de CPs medidos en vinos Malbec de cosecha 2016 de 6 departamentos de Mendoza, Argentina. Cada punto es la media de réplicas de una parcela. Las elipses que se superponen no son significativamente diferentes entre sí con un nivel de confianza del 95 %. Identificación de compuesto: Del3G = Delfinidina 3-O-glucósido, Cya3G = Cianidina 3-O-glucósido, Pet3G = Petunidina 3-O-glucósido, Peo3G = Peonidina 3-O-glucósido, Mal3G = Malvidina 3-O-glucósido, Del3acet = Delfinidina 3-O-acetilglucósido, Pet3acet = Petunidina 3-O-acetilglucósido, Peo3acet = Peonidina 3-O-acetilglucósido, Mal3Acet = Malvidina 3-O-acetilglucósido, Pet3pCou = Petunidina 3-O-p-cumaroilglucósido, Peo3pCou = Peonidina 3-O-p-cumaroilglucósido, Mal3pCou = Malvidina 3-O-p-cumaroilglucósido,	

GallicAcid = Ácido galico, OHTyrosol = OH-tyrosol, Tyrosol = Tyrosol, Catechin = (+)-Catequina, SyringicAcid = Ácido siríngico, Epicatechin = (-)-Epicatequina, Astilbin = Astilbina, CafeicAcid = Ácido cafeico, pCoumaricAcid = Ácido p-cumárico, FerulicAcid = Ácido ferúlico, Polydatin = Polidatina (trans-piceid), transResveratrol = Trans-resveratrol, Quercetin3G = Quercetina-3-glucósido, Quercetin = Quercetina, Gallocatechin = (-)-Gallocatequina.....	86
Figura 4.2. Análisis de variables canónicas (CVA) de CPs medidos en vinos Malbec de cosecha 2017 de 6 departamentos en Mendoza, Argentina. Cada punto es la media de réplicas de una parcela. Las elipses que se superponen no son significativamente diferentes entre sí con un nivel de confianza del 95%.....	91
Figura 4.3. Análisis de variables canónicas (CVA) de CPs medidos en vinos Malbec de cosecha 2018 de 6 departamentos en Mendoza, Argentina. Cada punto es la media de réplicas de una parcela. Las elipses que se superponen no son significativamente diferentes entre sí con un nivel de confianza del 95%.....	96
Figura 4.4. (A) Biplot de análisis de componentes principales de CPs combinados medidos en réplicas de fermentación individuales de vinos Malbec de las cosechas 2016, 2017 y 2018. Las elipses que se superponen no son significativamente diferentes entre sí al nivel del 95 %. (B) Gráfico PLS-DA de distintas cosechas. Las muestras de 2016 se representan con color azul, 2017 con color naranja y 2018 con color gris.....	99
Figura 4.5. PLS-DA usando todas las parcelas de estudio con clasificación por Zonas (A y B) y por departamentos (C y D). A efectos comparativos, todas las regiones se clasificaron como IG.	105
Figura 4.6. Gráfico de pesos de cada variable en el primer y segundo componente de PLS-DA por Zonas (a y b) y departamentos (c y d). Los colores indican la clase con un valor de expresión media máxima para cada CP.....	106
Figura 4.7. Análisis de conglomerados de IGs usando la composición fenólica de los 3 años de estudio. Los valores y los colores de las celdas indican una concentración relativa para cada IG; el azul corresponde al valor mínimo y el rojo al valor máximo (“mapa de calor”).....	107
Figura 4.8. Relación entre GGD y la proporción de antocianinas di-/tri-hidroxiladas en los tres años de estudio. La figura fue generada usando R-package emmeans - 'emmeans'.....	108
Figura 4.9. Análisis de conglomerados con datos de vinos Malbec de 23 parcelas de tres regiones de Mendoza utilizando concentraciones de CPs.....	111

- Figura 4.10. A. Análisis canónico de la varianza con los coeficientes de varianza 1 y 2 explicando el 60% de la variabilidad. B. Análisis canónico de la varianza con los coeficientes de varianza 1 y 3. Los círculos indican intervalos de confianza del 95%. 114
- Figura 5.1. PCA con todas las variables y clasificación “Zonas” con vinos 2016. (A) Elipses de confianza construidas con base en la distribución multivariada de la prueba de Hotelling para $p < 0,05$ indicando intervalos de confianza del 95%; (B) vectores de carga. 124
- Figura 5.2. PCA con todas las variables y clasificación “Departamentos” con vinos 2016 (A) Elipses de confianza construidas con base en la distribución multivariada de la prueba de Hotelling para $p < 0,05$ indicando intervalos de confianza del 95%; (B) vectores de carga. 124
- Figura 5.3. Análisis de conglomerados por departamentos con descriptores sensoriales de los vinos 2016. Los valores y los colores de las celdas indican una concentración relativa para cada departamento; el azul corresponde al valor mínimo y el rojo al valor máximo (“mapa de calor”). 125
- Figura 5.4. Análisis de conglomerados de IGs con descriptores sensoriales de vinos 2016. Los valores y los colores de las celdas indican una concentración relativa para cada IGs; el azul corresponde al valor mínimo y el rojo al valor máximo (“mapa de calor”). 127
- Figura 5.5. PCA incluyendo todas las variables y clasificación por “Zonas” con vinos añada 2017. (A) Elipses de confianza construidas con base en la distribución multivariada de la prueba de Hotelling para $p < 0,05$ indicando intervalos de confianza del 95%; (B) vectores de carga. 130
- Figura 5.6. PCA con todas las variables usando como categoría de clasificación “Departamentos” con vinos añada 2017. (A) Elipses de confianza construidas con base en la distribución multivariada de la prueba de Hotelling para $p < 0,05$ indicando intervalos de confianza del 95%; (B) vectores de carga. 131
- Figura 5.7. Análisis de conglomerados de departamentos con descriptores sensoriales de vinos 2017. Los valores y los colores de las celdas indican una concentración relativa para cada departamento; el azul corresponde al valor mínimo y el rojo al valor máximo (“mapa de calor”). 132
- Figura 5.8. Análisis de conglomerados de IGs con descriptores sensoriales de vinos 2017. Los valores y los colores de las celdas indican una concentración relativa para

cada IGs; el azul corresponde al valor mínimo y el rojo al valor máximo (“mapa de calor”).	133
Figura 5.9. PCA con todas las variables y clasificación por Zonas con vinos 2018. (A) Elipses de confianza construidas con base en la distribución multivariada de la prueba de Hotelling para $p < 0,05$ indicando intervalos de confianza del 95%; (B) vectores de carga.	137
Figura 5.10. PCA con todas las variables usando como clasificación departamentos con vinos 2018. (A) Elipses de confianza construidas con base en la distribución multivariada de la prueba de Hotelling para $p < 0,05$ indicando intervalos de confianza del 95%; (B) vectores de carga.	137
Figura 5.11. Análisis de conglomerados de departamentos con descriptores sensoriales de vinos 2018. Los valores y los colores de las celdas indican una concentración relativa para cada departamento; el azul corresponde al valor mínimo y el rojo al valor máximo (“mapa de calor”).	141
Figura 5.12. Análisis de conglomerados de IGs con descriptores sensoriales de vinos 2018. Los valores y los colores de las celdas indican una concentración relativa para cada IGs; el azul corresponde al valor mínimo y el rojo al valor máximo (“mapa de calor”).	142
Figura 5.13. MFA con variables sensoriales de 3 años usando Zonas (a y b), departamentos (c y d) e IGs (e y f) como variable de clasificación. En los gráficos de corrección se muestra un MFA de consenso (a, c y e), la longitud de la línea está inversamente relacionada con la fuerza de acuerdo.	146

ABREVIATURAS

ANOVA	<i>Análisis de la varianza</i>
Astilbin	<i>Astilbina</i>
BER	<i>Tasa de Error Equilibrada</i>
CafeicAcid	<i>Ácido cafeico</i>
Catechin	<i>(+)-Catequina</i>
CPs	<i>Compuestos fenólicos</i>
CVA	<i>Análisis de variables canónicas</i>
Cya3G	<i>Cianidina 3-O-glucósido</i>
DA	<i>Análisis sensorial descriptivo</i>
Del3acet	<i>Delfinidina 3-O-acetilglucósido</i>
Del3G	<i>Delfinifina 3-O-glucósido</i>
Epicatechin	<i>(-)-Epicatequina</i>
FerulicAcid	<i>Ácido ferúlico</i>
GallicAcid	<i>Ácido galico</i>
Gallocatechin	<i>(-)-Gallocatequina</i>
GDD	<i>Acumulación de grados días promedio</i>
Mal3Acet	<i>Malvidina 3-O-acetilglucósido</i>
Mal3G	<i>Malvidina 3-O-glucósido</i>
Mal3pCou	<i>Malvidina 3-O-p-cumaroilglucósido</i>
MANOVA	<i>Análisis multivariante de varianza</i>
OHTyrosol	<i>OH-tyrosol</i>
ORAC	<i>Capacidad de absorbanza de radicales del oxígeno</i>
PCA	<i>Análisis de componentes principales</i>
pCoumaricAcid	<i>Ácido p-cumárico</i>
Peo3acet	<i>Peonidina 3-O-acetilglucósido</i>
Peo3pCou	<i>Peonidina 3-O-p-cumaroilglucósido</i>
Peonidina 3-O-glucósido	<i>Peonidina 3-O-glucósido</i>
Pet3acet	<i>Petunidina 3-O-acetilglucósido</i>
Pet3G	<i>Petunidina 3-O-glucósido</i>
Pet3pCou	<i>Petunidina 3-O-p-cumaroilglucósido</i>

PLS-DA	<i>Los cuadrados mínimos parciales</i>
	<i>Análisis discriminante</i>
Polydatin	<i>Polidatina (trans-piceid)</i>
Quercetin	<i>Quercetina</i>
Quercetin3G	<i>Quercetina-3-glucósido</i>
SyringicAcid	<i>Ácido siríngico</i>
transResveratrol	<i>Trans-resveratrol</i>

Tipicidad fenólica y sensorial del Malbec argentino

RESUMEN

Esta tesis doctoral presenta un análisis integral del terroir de vinos Malbec de Mendoza, Argentina. Profundiza tanto en la composición química, a través de compuestos fenólicos (CPs), como en los atributos sensoriales mediante el análisis sensorial descriptivo (DA). La relevancia que tiene el origen de los vinos para la industria vitivinícola radica en que es un elemento muy utilizado en la comunicación y entendimiento del efecto que el lugar (terroir) donde se cultivan las vides modifica la composición química y sensorial de los vinos. Considerando la relevancia económica y cultural que tiene la variedad Malbec para la vitivinicultura Argentina y en los últimos años a nivel mundial, resulta crucial entender su comportamiento en distintos ambientes de la región productora de esta variedad. En este sentido, se analizaron 232 vinos provenientes de 29 parcelas ubicadas en 14 indicaciones geográficas (GIs) de entornos ambientales contrastantes a lo largo de tres cosechas consecutivas (2016-2018). Estos vinos se elaboraron bajo condiciones estandarizadas y los datos de perfiles químicos y sensoriales obtenidos por DA se evaluaron mediante herramientas sensométricas y quimiométricas. Los resultados demostraron que tanto el terroir como el año de cosecha influyen en las características distintivas de los vinos. Los CPs como el ácido p-coumárico, delfinidina-3-O-glucósido, ácido cafeico, quercetina y peonidín-3-O-glucósido, se asociaron con la discriminación de parcelas específicas. A nivel sensorial, ciertos descriptores variaron anualmente debido al efecto de la cosecha, pero también se identificaron descriptores consistentes a lo largo de los años que reflejan la tipicidad de los vinos Malbec. En conjunto, estos resultados ofrecen una perspectiva innovadora sobre la influencia del terroir y el año de cosecha en el perfil de los vinos, proporcionando a productores y consumidores un mensaje claro respaldado por evidencia científica y contribuyendo al posicionamiento y comunicación internacional de los vinos argentinos.

Palabras clave: Malbec, vino, terroir, análisis sensorial descriptivo, clasificación, compuestos fenólicos, tipicidad

Phenolic and sensory typicity of Argentinean Malbec

ABSTRACT

This doctoral thesis presents a comprehensive analysis of the terroir of Malbec wines from Mendoza, Argentina. It delves into both the chemical composition, through phenolic compounds (PCs), and sensory attributes using descriptive sensory analysis (DA). The significance of wine origin for the wine industry lies in its frequent use in communication and understanding the effect that the location (terroir) where the vines are grown changes the chemical and sensory composition of wines. Considering the economic and cultural relevance that the Malbec variety has for Argentine viticulture, and in recent years globally, it is crucial to understand its behavior in different environments of the producing region of this variety. In this regard, 232 wines from 29 parcels located in 14 geographical indications (GIs) of contrasting environmental settings were analyzed over three consecutive vintages (2016-2018). These wines were produced under standardized conditions, and the chemical and sensory profile data obtained by DA were evaluated using sensometric and chemometric tools. The results showed that both terroir and the vintage year influence the distinctive characteristics of the wines. PCs such as p-coumaric acid, delphinidin-3-O-glucoside, caffeic acid, quercetin, and peonidin-3-O-glucoside were associated with the discrimination of specific parcels. Sensorially, certain descriptors varied annually due to the vintage effect, but consistent descriptors were also identified over the years, reflecting the typicity of Malbec wines. Together, these results offer an innovative perspective on the influence of terroir and vintage year on the wine profile, providing producers and consumers with a clear message supported by scientific evidence and contributing to the international positioning and communication of Argentine wines.

Keywords: Malbec, wine, terroir, sensory descriptive analysis, classification, phenolic compounds, typicity

Capítulo 1

Introducción general

1.1.Introducción general

1.1.1. Vitivinicultura en Argentina: Historia y protagonismo de la variedad Malbec

La vitivinicultura argentina posee una historia que se extiende por más de cuatro siglos, fusionando la tradición de los inmigrantes europeos con los conocimientos de los pueblos originarios (Carbonari, M. 2008). Esta combinación ha dado lugar a la industria vitivinícola más destacada de América del Sur. En los últimos años, este sector se ha convertido en uno de los más dinámicos de la economía nacional, impulsado por inversiones tanto nacionales como extranjeras que han ganado fuerza desde los años 90. En la actualidad, Argentina ocupa el séptimo puesto como productor mundial de uvas y el quinto lugar en elaboración de vinos, representando aproximadamente el 5% del total mundial (www.oiv.int, 2019).

A partir de la década del '90, Argentina inició un proceso de reconversión en su industria vitivinícola, que incluyó la exploración de mercados en el exterior y comenzando plantaciones de viñedos pensando en vinos de alta calidad. Esta estrategia permitió contar con una materia prima adecuada para la producción de vinos de excelente calidad. Además de la renovación de los viñedos, se implementaron avances tecnológicos en las etapas de producción, elaboración y comercialización, mediante el aporte de conocimiento de personal capacitado que se encargó de asesorar a las empresas vitivinícolas.

Gracias a los procesos de reconversión primaria y tecnológica, la vitivinicultura argentina ha logrado incorporar a un mayor número de pequeños y medianos productores. Esto ha creado un modelo en el que conviven productores de diversas escalas, destacando la búsqueda de la viabilidad económica como un factor de fortaleza y la diferenciación en comparación con otras industrias vitivinícolas altamente concentradas de las demás regiones del mundo.

La vitivinicultura argentina se extiende mayoritariamente a lo largo de 2400 kilómetros, al pie de la Cordillera de los Andes, abarcando un amplio espectro de zonas en Argentina. Se desarrolla entre los 22° y 42° de latitud sur, desde Jujuy hasta Río Negro, lo que le confiere una gran diversidad climática y de suelos. El 2 de agosto de 2013 se publicó en el Boletín Oficial, el texto de la ley N° 26870 que declara al Vino Argentino como la Bebida Nacional. Argentina es el primer país vitivinícola en conseguir esta declaración que resalta el valor cultural de nuestra bebida y su rol importante en la identidad nacional.

En Argentina, además de las variedades clásicas y reconocidas a nivel mundial, como el Cabernet Sauvignon, Pinot Noir y Chardonnay, la variedad Malbec representa al país en el escenario internacional impulsando la comercialización de sus vinos.

En la actualidad, Argentina cuenta con 220831 hectáreas de viñedos cultivados, y el Malbec ocupa el 22% de esa superficie, con 41294 hectáreas. Es, por tanto, la variedad con mayor presencia en el país, seguida de las uvas Criolla y Bonarda. Aunque el Malbec se cultiva en todas las provincias vitivinícolas de Argentina, es en Mendoza donde se concentra la mayor superficie, con 36.686 hectáreas, lo que representa el 85% del total nacional (Instituto Nacional de Vitivinicultura, 2021).

En términos económicos, las exportaciones de Malbec de Argentina al mundo en 2022 alcanzaron los USD 508 millones, experimentando un crecimiento del 652% desde 2005. Los principales mercados para estas exportaciones son Estados Unidos, Reino Unido y Brasil. Es importante destacar que la variedad Malbec representa aproximadamente el 64,3% de las exportaciones totales de vinos argentinos (<http://www.observatoriova.com>, 2023).

La variedad Malbec tiene su origen en Cahors, una localidad ubicada en el sudoeste de Francia, donde también se la conoce como Cot. Sin embargo, el Malbec no solo estuvo presente en Cahors, sino que también fue ampliamente cultivado en Burdeos, donde es una de las seis variedades permitidas en la región. Históricamente, el Malbec se utilizaba en Burdeos para aportar intensidad de color y carácter frutal a los vinos. La filoxera, un insecto que daña las raíces de las vides, afectó gravemente todos los viñedos de Europa en los años 1850. En Francia, la superficie de Malbec se redujo significativamente debido a la devastación causada por la infección con filoxera. Así, si bien en 1958 se cultivaban en Francia alrededor de 10750 hectáreas de Malbec, después del ataque de la filoxera (1988), solo quedaban aproximadamente 5280 hectáreas plantadas. (Kerridge & Antcliff, 1999).

Actualmente, en Francia, la mayor cantidad de Malbec se encuentra en Cahors, donde las regulaciones de denominación de origen (Appellations Controlée regulations) exigen un mínimo del 70% de la variedad en los blends finales.

La expansión del Malbec por el mundo, fuera de Francia, se inició en el siglo XVIII. En el Cono Sur de América, en las décadas de 1840 y 1850 la variedad llegó y comenzó a cultivarse en las Quintas Normales de Santiago de Chile y Mendoza (Lacoste, 2015).

En Argentina, el 17 de abril de 1853 se presentó el proyecto ante la legislatura provincial de Mendoza, con el objetivo de fundar una Quinta Normal y una Escuela de Agricultura, promovida por el entonces presidente Domingo Faustino Sarmiento. A partir de ese momento, el Malbec se arraigaría definitivamente en Mendoza, expandiéndose la cantidad de viñedos y la adaptación a sus suelos y climas, tomando fuerza en su nuevo terruño.

El Malbec se adaptó bien a los suelos y climas de Argentina en general, y de Mendoza en particular. A comienzos del siglo XX, la mayor parte de los viñedos de Mendoza ya estaban formados por la entonces llamada “uva francesa”, que era el nombre común del Malbec en aquella época. En 1962 se registraron 58600 hectáreas de Malbec en Argentina, pero una crisis motivó una fuerte reducción de todos los viñedos nacionales, y del Malbec en particular. La vitivinicultura argentina inició su recuperación a partir de 1990, apoyada en el Malbec como bandera de la industria.

Bajo la influencia de las condiciones edafoclimáticas de Mendoza, el Malbec es una variedad de maduración media con fechas de cosecha entre marzo y abril. Manifiesta yemas basales fértiles, y una productividad baja a media, con rendimientos promedios a los 80 a 120 quintales por hectáreas, dependiendo de la región cultivada. Se caracteriza por su alta sensibilidad a las heladas, aunque tiene una buena tolerancia a enfermedades tales como oídio, peronóspora y podredumbre de los racimos (Rodríguez et al., 1999). Se adapta muy bien a la conducción vertical con posicionamiento ascendente de los brotes como los sistemas Guyot y Cordón Bilateral (VSP), no así a los de follaje descendente como el sistema Ginebra Cortina Doble (GDC).

Desde el punto de vista enológico, el Malbec es una variedad muy versátil y apta para la elaboración de diferentes estilos de vinos. Se utiliza tanto para producir vinos tintos jóvenes y frescos, como para la elaboración de vinos de guarda, que pueden envejecer y desarrollar complejidad con el tiempo. Además, se emplea en la producción de vinos rosados y espumantes, brindando características únicas a cada estilo. Uno de los factores más importantes que influyen en la calidad y el precio final de los vinos Malbec es el lugar donde se encuentran los viñedos, lo cual se conoce como terroir o terruño. Esta interacción compleja entre la planta, el suelo y el clima de cada región vitivinícola otorga características distintivas al Malbec, y en general a todas las variedades de vid, contribuyendo a su calidad y valor en el mercado.

Si bien la "calidad" es una variable muy difícil de cuantificar de manera objetiva, podemos afirmar que Argentina ha logrado posicionarse en el mercado vitivinícola

internacional gracias a la diversidad de sus vinos. Hace apenas décadas, se hablaba del "Malbec" como un tipo de vino característico de la región de Mendoza. Sin embargo, en la actualidad, la respuesta a la pregunta "¿Qué Malbec?" ha evolucionado debido a la gran diversidad de climas, suelos y selecciones de plantas que existen en el país. Esta diversidad ha permitido que se ofrezcan una amplia gama de opciones en términos de vinos Malbec. Cada región y subregión vitivinícola en Argentina aporta características únicas a sus vinos, lo que ha llevado a una mayor variedad de perfiles de sabor y estilos.

En este contexto, la identificación del origen geográfico de los vinos ejerce una atracción indudable desde el punto de vista comercial. Especialmente cuando se refiere a tipologías de vinos de calidad superior producidos en regiones específicas, generando criterios para establecer el precio de los vinos y, al mismo tiempo, garantizando estándares de calidad.

Tim Atkin MW, reconocido crítico que prueba vinos de Argentina todos los años, en el reporte del año 2019 menciona "Argentina ha pasado a ser un país que elabora principalmente vinos de estilo internacional....., empujando los límites y abrazando la diversidad". Julia Harding de Jancisrobinson.com menciona que "Argentina tiene una comprensión cada vez más refinada de los viñedos y la compleja interacción del clima, los suelos, la elevación y la exposición, que brinda a los productores mendocinos una paleta tan rica de sabores y estilos". Observando la tendencia de los mercados donde los vinos de menor precio tienen una disminución en ventas mientras que los vinos de mayor precio tienen un crecimiento sostenido, hecho relacionado a la madurez de los consumidores y los comentarios/puntajes de los "wine-critics", las bodegas más importantes de Argentina apuestan a elaborar vinos provenientes de lugares más específicos. El entendimiento de cómo el lugar donde se cultivan las uvas para elaborar un vino influye en los perfiles sensoriales y las características químicas de los vinos se vuelve esencial para respaldar la tendencia actual y proporcionar un sustento científico a la razón por la cual Argentina, principalmente Mendoza, cuenta con una gran diversidad de vinos. A diferencia de otras regiones del mundo, como la Borgoña y Burdeos en Francia, con siglos de conocimiento empírico adquirido en la producción de vinos, en la actualidad la ciencia se convierte en una herramienta clave para acelerar la comprensión de los vinos provenientes de las nuevas regiones vitivinícolas mundiales. Así, el desarrollo de estudios químicos y sensoriales permitirá justificar científicamente y con evidencias confiables en un periodo de tiempo más acotado, y más en un contexto de cambio climático, las diferencias y similitudes de los vinos de estas nuevas regiones.

Argentina no es la única región que está invirtiendo en comprender el terroir. En 2017, Wine Australia anunció una inversión de 5,3 millones de dólares australianos para estudiar la influencia del terroir en los vinos Shiraz (Charles & Collins, 2017). Además, la Universidad de California, Davis, inició un proyecto similar en 2016 centrado en el Pinot Noir de California y Oregón, Estados Unidos (Byer, 2019).

1.1.2. Diversidad química de los vinos e impacto en la calidad

La calidad en los vinos es un parámetro complejo de definir, ya que implica una construcción que involucra tanto factores inherentes al propio vino como elementos externos. Las características sensoriales y químicas del vino son los principales factores que determinan la calidad, pero esta percepción puede ser influenciada por información externa, como el lugar de origen, la historia del elaborador y el precio. Es importante destacar que la percepción de calidad puede variar significativamente entre las personas debido a sus preferencias individuales y sus experiencias previas.

Se ha encontrado en repetidas ocasiones que el precio es un factor clave en la elección de un vino (Mueller et al., 2010) y este efecto es particularmente significativo cuando las propiedades no están disponibles en la elección del producto. Los precios más altos están relacionados con vinos de mayor calidad. El tipo de empresa que embotelló el vino (enólogo, comerciante de vinos, historia de la bodega) ha demostrado ser una señal extrínseca importante involucrada en la evaluación de la calidad (Danner et al., 2017). Por ejemplo, en el caso de Francia, vinos embotellados por una cooperativa es un factor que disminuye la percepción de la calidad del vino, probablemente debido a la trayectoria histórica vinculada a las cooperativas en Francia (Humbert & Jacket, 2010).

El enfoque en torno a la calidad del vino también implica la ausencia de defectos, como altos niveles de ácido acético, oxidación, reducción, presencia de tricloroanisoles o etilfenoles. Por ejemplo, en Austria, los vinos solo pueden comercializarse como "Qualitätswein" (vinos de calidad) después de haber pasado por una evaluación química y sensorial que cumple con ciertas variedades de uva y una denominación de origen específica (www.austrianwine.com/our-wine/wine-law). Algunas limitaciones en este tipo de metodología es que están cubriendo un límite mínimo de la calidad, y dejando un margen muy alto por encima de ese nivel mínimo.

Algunos actores de la industria consideran que la calidad de un vino está relacionada con su precio y su demanda en el mercado. En el mercado global, los

precios de los vinos pueden variar considerablemente. Según el comparador de vinos más importante del mundo, WineSearcher, el vino más caro del mundo es el Domaine de la Romanee-Conti Grand Cru de la región de Cote de Nuits en Francia, con un precio medio de 13664 dólares. Algunas añadas de este vino pueden alcanzar precios de hasta 90551 dólares. Si bien los precios de estos vinos son elevados, su demanda sigue siendo alta, e incluso son vendidos antes de ser elaborados. ¿Qué es lo que hace que estos vinos sean tan especiales y buscados? En el caso del Romanée-Conti, su calidad se basa en el concepto de terroir, es decir, en el lugar específico donde se cultivan las uvas. Estos vinos son reconocidos como ejemplos de alta calidad e irreproducibles, enfocándose en el hecho de que ese lugar en particular produce vinos únicos.

Respecto a la diversidad química en los vinos, se puede definir el vino como una solución hidroalcohólica con una acidez media, cuyo pH varía entre 3 y 4. En su composición predominan componentes como el agua y el etanol, que representan aproximadamente el 97% del total. En el porcentaje restante, se encuentran los componentes responsables del sabor y el color del vino, los cuales pueden estar presentes en concentraciones inferiores a 10 mg/L. Por otro lado, los componentes odorantes, como los compuestos volátiles, se encuentran en niveles de partes por billón ($\mu\text{g/L}$) y trillón (ng/L). Estos compuestos confieren al vino una composición muy compleja y, en un solo producto, se pueden identificar cientos de descriptores sensoriales que también están presentes en otros alimentos, como el café, la cerveza, las frutas, los vegetales, los quesos y las especias.

El número de compuestos identificados en vinos ha crecido con los avances tecnológicos en la química analítica. En 1969 se reportaban alrededor de 400 compuestos volátiles en vinos y otras bebidas alcohólicas, mientras que en 1983 el número había crecido a 1300 (Ebeler, 2001). Si bien es importante conocer la composición química, el objetivo no es aumentar ese número de compuestos encontrados, sino conocer como cada familia de compuestos están relacionados directa o indirectamente con su percepción organoléptica o descriptores sensoriales asociados, aspectos de control de calidad, entendimiento de procesos biológicos, seguridad alimentaria y encontrar/definir marcadores de calidad.

La mayoría de los compuestos minoritarios tienen un rol en el sabor o flavor. Flavor es un término utilizado en la ciencia sensorial, y es definido como la “percepción resultante de la estimulación de las papilas gustativas y los órganos olfativos quimiostéticos dentro de la cavidad oral” (Lawless & Heymann, 2010). En otras

palabras, todo lo que un degustador puede percibir en la boca, por ejemplo, olfato y sabor. Todos estos estímulos son estudiados dentro de la ciencia sensorial.

La evaluación sensorial estudia cómo las respuestas humanas son provocadas por estímulos químicos y físicos (Robinson et al., 2014) y se ha definido como un método científico utilizado para analizar, medir e interpretar las respuestas a los productos según la percepción a través de los sentidos de la vista, olfato, tacto, gusto y oído (Lawless & Heymann, 2010). Desde hace varios siglos, se han aislado y analizado componentes de alimentos y bebidas para identificar y cuantificar los compuestos químicos responsables de la percepción del olfato y gusto en las personas. Existen muchos estudios que proporcionan información sobre la composición química de los vinos a través de herramientas analíticas avanzadas, pero ninguno puede sustituir a los humanos en la capacidad de traducir las complejas interacciones sensoriales (vista, olfato y gusto) que se producen al tomar una copa de vino. Estas interacciones son tan complejas que los compuestos volátiles pueden interactuar entre sí para disminuir el impacto sensorial entre ellos, actuar de manera sinérgica, o simplemente producir un aroma con características diferentes a cualquier compuesto individual (Noble & Ebeler, 2002). Por ejemplo, una bebida dulce es percibida con más fruta que una bebida sin azúcar (Bonnans & Noble, 1993). Aromas y compuestos fenólicos han sido de gran interés en los últimos años, con grandes avances en el desarrollo de técnicas analíticas junto con métodos que acoplan técnicas analíticas/sensoriales (Pittari et al., 2021).

En busca de comprender el concepto calidad, se han llevado a cabo estudios que han medido diversas variables para encontrar una relación con la aceptabilidad por parte de los consumidores. Dentro de la literatura disponible, varios trabajos han descubierto que los aromas frutales y la presencia de notas de madera, así como la sensación de astringencia en boca de los vinos tintos, se asocian positivamente con su calidad. Por otro lado, se ha observado que los aromas animales (como los producidos por el ataque de la levadura *brettanomyces*), los aromas vegetales o los aromas relacionados con el sotobosque están asociados a una percepción negativa de calidad (Lattey et al., 2010; Robinson et al., 2010; Varela & Gámbaro, 2006).

Inclusive, la interpretación de la presencia de distintos descriptores en la calidad no parece ser sencilla. Por ejemplo, Sáenz-Navajas et al. 2012 realizó una observación en la categoría del descriptor “fruta”, donde lo separa en fruta seca y fresca. La característica de fruta fresca mantiene una vinculación positiva con la calidad, pero fruta seca parece depender de la categoría de vino, principalmente dada por el precio al que

pertenecen. En vinos “Premium” de alto precio y variedad Tannat de Uruguay, el carácter de “fruta seca” está vinculado con la calidad, pero si está presente en vinos españoles de alto y bajo estándar tiene una correlación negativa (Sáenz-Navajas et al., 2012; Varela & Gámbaro, 2006). Esto sugiere la existencia de diferentes atributos de calidad que evocan juicios positivos o negativos de los expertos dependiendo de las diferentes categorías de vinos de distintos segmentos de precios.

En un estudio reciente, se emplearon técnicas de análisis descriptivo, análisis de compuestos volátiles y composición elemental para investigar su relación en la aceptabilidad de los vinos. Para ello, se utilizó un conjunto de 27 vinos comerciales de la variedad Cabernet Sauvignon de California, Estados Unidos (Hopfer et al., 2015). Los resultados presentados revelaron una correlación significativa entre los puntajes otorgados por expertos y los puntajes obtenidos en competencias de vinos. Otros estudios también han encontrado una correlación entre el precio y la aceptabilidad (D’Alessandro & Pecotich, 2013), pero emplean un enfoque de diseño diferente al utilizado por Hopfer et al., (2015). En cuanto a los descriptores asociados a la aceptabilidad, los expertos mencionan que la presencia de aromas frutales es un componente de calidad, por lo que no resulta sorprendente que los resultados muestren una correlación positiva entre la presencia de notas frutales y las puntuaciones otorgadas por los expertos. Además, al correlacionar el precio con los descriptores, se encontraron correlaciones positivas con características como sabor amargo, sensación de calor en boca (alcohol), astringencia, aroma alcohólico y *Brettanomyces* (aroma a establo, sudor de caballo).

Los descriptores amargo y astringente están vinculados a la concentración de ciertos compuestos fenólicos, y esto podría explicar la corrección con el precio. En relación con estos resultados, otro estudio muestra que Cabernet Sauvignon y Shiraz con altos precios tienen mayor concentración de compuestos fenólicos (Mercurio et al., 2010).

Así como los compuestos fenólicos están vinculados con gustos y sensaciones táctiles en boca, también son los responsables del color de los vinos tintos. Un grupo de compuestos fenólicos llamados antocianos son los responsables del color rojo en las uvas tintas y vinos jóvenes. En variedades de *Vitis vinífera*, los antocianos se encuentran como monoglucósidos, siendo malvidina-3-*O*-glucósido como el compuesto más abundante del grupo. En la variedad Malbec, la concentración relativa de malvidina-3-*O*-glucósido es la más elevada, seguida de la petunidina-3-*O*-glucósido (Fanzone et al.,

2010a). Estos compuestos y sus concentraciones relativas son similares a otras variedades en el mundo, como Grenache, Syrah, Carignan Noir, Cencibel, Mourvedre, Counoise y Alicante Bouchet (Ky et al., 2014). A pesar de la importancia de estos compuestos en el color, no existe una relación directa entre el contenido de antocianos y el color observado en el vino, el cual depende de varios factores, entre ellos el pH, la co-pigmentación y la polimerización de los compuestos fenólicos. El proceso de co-pigmentación, responsable de la mejora en la absorbancia en vinos tintos jóvenes, implica la asociación de glucósidos de antocianos con otros compuestos fenólicos, particularmente glucósidos de flavonoles como la quercetina-3-*O*-glucósido, el kaempferol-3-*O*-glucósido y la miricetina-3-*O*-glucósido (Boulton, 2001).

1.2. Compuestos fenólicos

La mayoría de los compuestos fenólicos (CPs) que se encuentran en los vinos provienen de las uvas, aunque también una baja proporción pueden provenir de las barricas de roble utilizadas para la elaboración de algunos estilos de vinos. La importancia de los CPs en los vinos radica en su contribución en la estabilidad, capacidad antioxidante y propiedades organolépticas, siendo la capacidad antioxidante un factor determinante en el proceso de añejamiento. Los compuestos antioxidantes presentes en el vino ayudan a proteger contra la oxidación y degradación a los componentes sensibles al oxígeno durante el envejecimiento (Singleton & Esau, 1969). La mayoría de los CPs son no volátiles, aunque algunos pueden tener características odorantes y ser volátiles, como 3-etil-fenol, cuyo mayor origen es la contaminación con la levadura *Brettanomyces bruxellis*.

Al igual que los alcoholes alifáticos y el agua, los fenoles participan en interacciones de puente hidrógeno y son ácidos débiles. Sin embargo, debido al efecto inductivo de captura de electrones del anillo de benceno, un protón fenólico es más ácido, con un pKa de aproximadamente 10 (cf. etanol pKa = 15,9), pero al pH del vino (3-4), la ionización de los fenoles es baja para ser un factor importante en las reacciones de oxidación (Asenstorfer et al., 2003).

Las familias de CPs que se encuentran en vinos son muy diversas y su composición depende de factores como: variedad de uva (genética), variación inter-varietal (Ren R et al., 2023), ambiente (sitio, clima, suelo, exposición al sol, altitud) y prácticas culturales y de elaboración (factor humano).

Estos compuestos pueden ser clasificados de varias formas, pero la más común es basada en la estructura de su esqueleto carbonado, dividiéndose en compuestos no-flavonoides y flavonoides. Cada grupo se divide en diferentes familias químicas, cuyas características varían y dan propiedades específicas a los vinos, como color, sabor, aroma y estabilidad en el tiempo (Cheynier et al., 2006). En las uvas, los CPs se encuentran principalmente distribuidos en las pieles, semillas y escobajo, aunque también hay concentraciones menores en la pulpa (Adams, 2006).

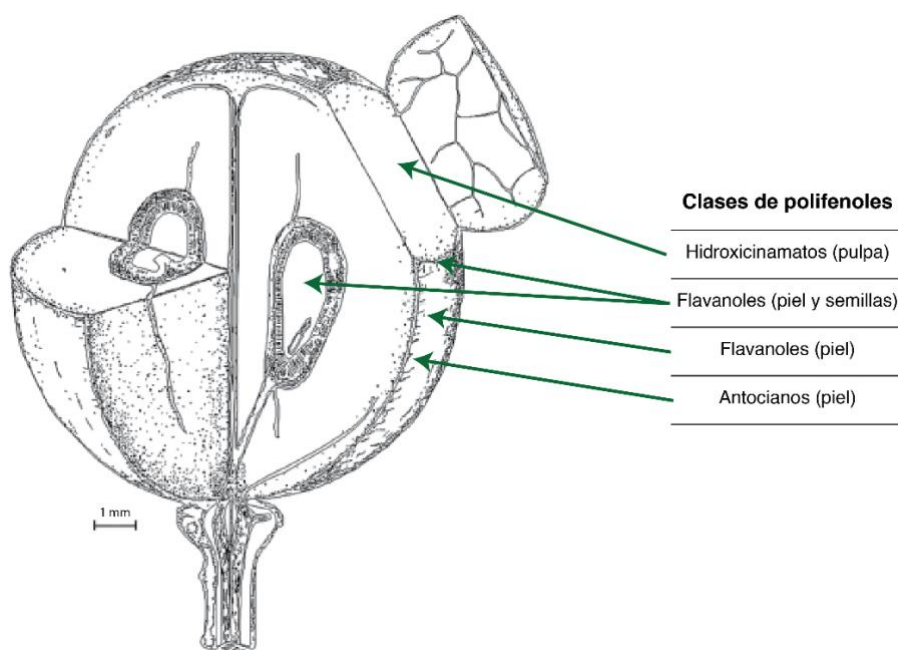


Figura 1.1. Ilustración simple de la baya de uva utilizada para describir los tejidos y la composición fenólica. Adaptado de Coombe, 1987; Waterhouse et al., 2016.

1.2.1. No-flavonoides

Los compuestos no flavonoides incluyen compuestos importantes en vinos, particularmente ácidos hidroxicinámicos, estibenos y ácidos benzoicos. Los dos primeros mencionados se encuentran en la uva, mientras que los ácidos benzoicos se encuentran en la uva y también pueden ser aportados por el roble.

1.2.1.1. Ácidos Hidroxicinámicos

Son ácidos fenólicos que incluyen un doble enlace conjugado entre el anillo fenólico y el grupo carboxilato. Los principales son los ácidos cumárico, cafeico y ferúlico.

Los nombres más adoptados para estos ésteres son ácido-p-coutárico, ácido caftárico y ácido fertárico. No son compuestos exclusivos de las variedades tintas, sino que se encuentran en todos los vinos ya que proviene de la pulpa de las uvas. Según

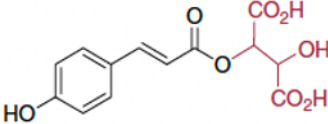
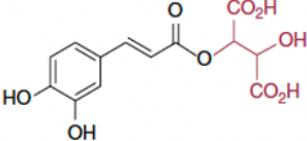
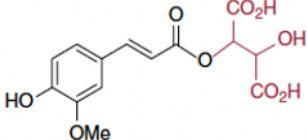
varios autores, las plantas producen predominantemente la forma *trans* de ácidos hidroxicinámicos, pero la luz activa la isomerización a la forma *cis* y, por lo tanto, ambos isómeros se encuentran en cantidades variables en el vino (Baranowski & Nagel, 1981).

Todos los alimentos de origen vegetal contienen ácidos hidroxicinámicos, aunque los ésteres de tartrato son relativamente inusuales. Su presencia es evidencia de que su origen es la pulpa de la uva. Estos compuestos desempeñan diversas funciones en las plantas, como la protección contra el estrés oxidativo y la defensa contra patógenos (Gislason et al., 2011). En el caso específico de los ésteres de tartrato, su presencia en la pulpa de la uva se debe a la interacción entre los ácidos hidroxicinámicos y el ácido tartárico, que también se encuentra en la uva.

A nivel sensorial, estos compuestos poseen propiedades gustativas amargas y astringentes en agua, pero un trabajo de Vérette et al., (1988) muestra que los niveles de concentración de estos compuestos en vinos están por debajo de los niveles de percepción.

Asimismo, no tienen un impacto relevante en el color en el espectro visible (Zamora, 2003). Sin embargo, participan en la acilación de los antocianos (particularmente los ácidos p-cumárico y cafeico), influyendo indirectamente en el color del vino a través de su participación en el fenómeno de co-pigmentación (Boulton, 2001). También actúan como precursores en la formación de piranoantocianos (Rentsch et al., 2009). Por su parte, los ácidos ferúlico y cumárico pueden generar defectos olfativos debido a su degradación microbiana originando fenoles volátiles. También el ácido cafeico (y su éster tartárico) es de los principales sustratos de la oxidación enzimática de los mostos, formando quinonas muy reactivas que pueden provocar la oxidación de antocianos y taninos (Singleton, 1987).

Cuadro 1.1. Derivados de los ácidos hidroxicinámicos presentes en la uva y vinos: formas de éster de tartrato y ácido libre (adaptado de Waterhouse et al., 2016)

Nombre	Estructura	Niveles representativos (jugo/vino, mg/L)
Ácido coutárico ácido cumárico, éster de tartrato		20/15
Ácido cafárico ácido cafeico, éster de tartrato		170/40
Ácido fertárico ácido ferúlico, éster de tartrato		5/4

1.2.1.2. Ácidos hidroxibenzoicos

Dentro de los ácidos hidroxibenzoicos, el principal es el ácido gálico. El ácido gálico no se encuentra en las uvas, pero se genera en el vino por la hidrólisis de los ésteres de galato que se encuentran en los taninos condensados e hidrolizables. El ácido gálico se puede encontrar en vinos con mucho tiempo de añejamiento, principalmente en vinos tintos con concentraciones aproximadas de 70 mg/L, y en vinos blancos en 10 mg/L (Waterhouse et al., 2016). Sus propiedades organolépticas pueden ser amargor y astringencia (Hufnagel & Hofmann, 2008), y en forma libre se oxida muy fácilmente formando una quinona.

Por otra parte, los vinos añejados en contacto con madera poseen taninos hidrolizables, que consisten en poliésteres de ácido gálico (galotaninos) o ácido elágico (elagitaninos), los cuales por hidrólisis pueden originar los correspondientes ácidos (Zamora, 2003).

1.2.1.3. Estilbenos

El principal estilbeno en uvas es el resveratrol, producido en la planta como glucósido, principalmente en respuesta a ataques fúngicos en la planta como *Botrytis* (Joshi & Devi, 2009). También puede ser sintetizado en respuesta a diferentes tipos de estrés abiótico (radiación UV y estrés hídrico). Muchas formas de resveratrol han sido encontradas, incluidas los isómeros *cis* y *trans* como así también sus glucósidos. En las plantas de vid, particularmente en las uvas, se biosintetiza la forma *trans* y la luz provocaría la isomerización *cis/trans*. Los derivados de resveratrol se encuentran en la piel de la uva, y es por ello que los vinos tintos tienen mayor concentración, aunque también están en otros tejidos de la vid, pero que no tienen relevancia en la elaboración de vinos. Los niveles de estos compuestos pueden variar según las condiciones ambientales y variedad de uva, con concentraciones que se encuentran en una media de 7 mg/L para vinos tintos, 2 mg/L en vinos rosados y 0,5 mg/L en vinos blancos (Romero-Pérez et al., 1996).

El resveratrol ha sido identificado como un componente del vino que puede reducir el riesgo a padecer enfermedades cardíacas o cáncer, con gran interés luego de un informe publicado en 1997 en la revista *Science* (Jang et al., 1997). En la vinificación, el resveratrol y su derivado O-metilado, el pterostilbeno, tienen una importante actividad como antimicrobianos, principalmente contra levaduras nativas y bacterias acéticas (Pastorkova et al., 2013).

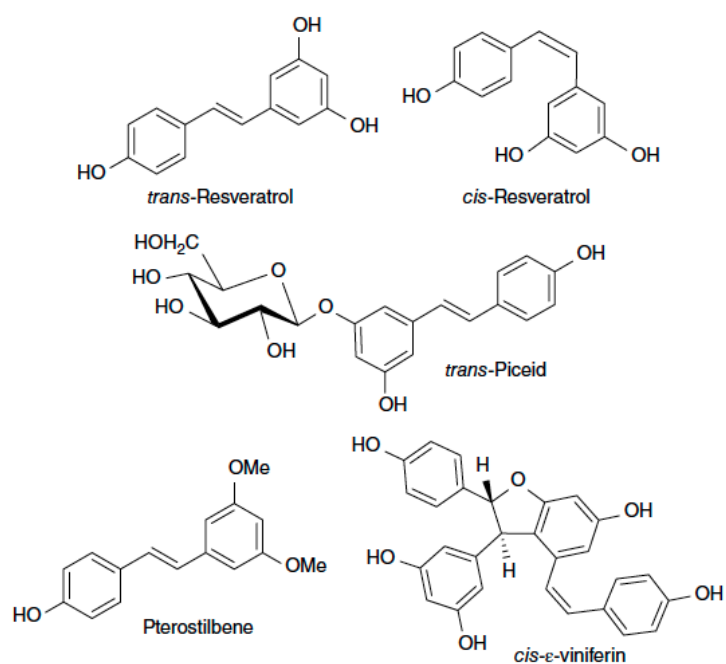


Figura 1.2. Estilbenos seleccionados en vino: resveratrol, piceído, pterostilbeno y viniferina.

1.2.2. Flavonoides

Los flavonoides se caracterizan por un sistema de tres anillos con un anillo central que contiene oxígeno (Anillo C) con diferentes estados de oxidación que definen la clase de compuesto flavonoide (Figura 1.3). Se fusiona a un anillo aromático (Anillo A) y se une a otro anillo aromático con un enlace simple (Anillo B). Estos compuestos tienen gran importancia como descriptores sensoriales en vinos, incluyendo la astringencia y el amargor (Preys et al., 2006).

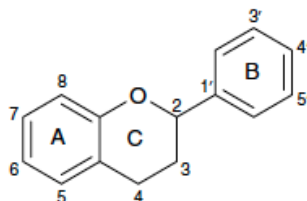


Figura 1.3. El sistema de anillo central de los flavonoides con una estructura C₆-C₃-C₆.

Dentro de esta categoría de CPs, los más importantes en vinos son los siguientes:

1.2.2.1. Flavan-3-ols y taninos condensados

Son la clase más abundante de flavonoides. El término “flavan” indica un anillo C saturado, y el sufijo “-3-ol” indica un grupo -OH en la posición C3. Incluyen las catequinas monoméricas simples, pero en las pieles y semillas de las uvas la mayoría existen en la forma proantocianidinas oligoméricas y poliméricas. Estos compuestos constituyen aproximadamente la mitad de los CPs en el vino tinto pero las concentraciones son menores en vinos blancos (Singleton & Esau, 1969).

Esta familia de compuestos es la que se encuentra en mayor cantidad en uvas, principalmente en semillas y pieles de las bayas. Los flavanoles están muy extendidos en los alimentos, y las principales fuentes de la dieta occidental son chocolate, té y manzanas. Los flavanoles con un grupo de alcohol en la posición 4 existen en niveles muy bajos, siendo altamente reactivos y pocas veces reportados. Los flavan-3-oles son notables por el hecho de que las posiciones 2 y 3 pueden tener isómeros con formas *cis* y *trans* en relación con el anillo B, una situación única en esta subclase. Esto da lugar a la existencia de variantes del anillo C, con la forma *cis* señalada por el prefijo “epi-“ cuando existen dos formas naturales. Las formas naturales tienen estereoquímica (2R), pero en las condiciones de bajo pH del vino, el C2 puede equilibrarse debido a la protonación ácida en el oxígeno del anillo C. Por lo tanto, en el vino, la forma (2S)

también existe, lo que lleva a la racemización parcial de las catequinas (Nay et al., 2000).

Hay 5 flavanoles monoméricos diferentes que se encuentran en las uvas, catequina, epicatequina, epigalocatequina, epicatequina galato y galocatequina (Figura 1.4). Los perfiles de los flavanoles en las uvas no son los mismos en todas las variedades, y las cantidades son distintas entre la semilla y la piel (Mattivi et al., 2009).

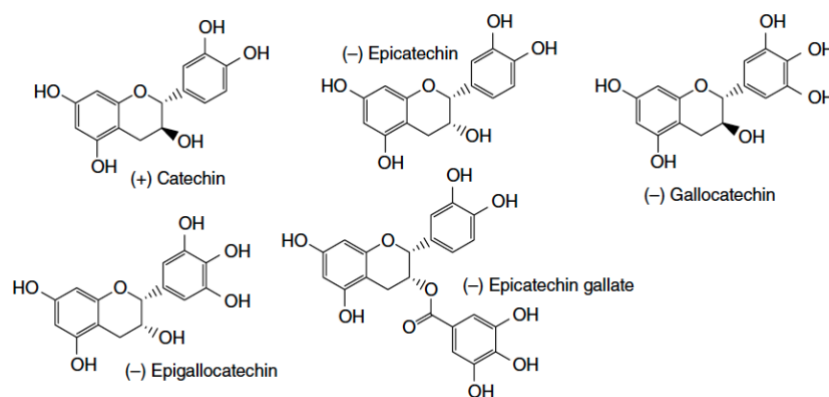


Figura 1.4. Flavanoles monoméricos en las uvas.

Las proantocianidinas (oligómeros y polímeros) reciben este nombre dada su propiedad de liberar antocianidinas por calentamiento en medio ácido a partir de la ruptura del enlace interflavánico (Porter et al., 1985). En la uva se distinguen dos grupos de proantocianidinas dependiendo de la naturaleza de la antocianidina liberada (cianidina o delphinidina) en medio ácido (reacción de Bate-Smith): las procianidinas, compuestas por (+)-catequina y (-)-epicatequina, y las prodelfinidinas, compuestas por (+)-galocatequina y (-)-epigallocatequina. Las primeras se encuentran sólo en las semillas de las bayas, mientras que los hollejos poseen ambos grupos de compuestos (Monagas et al., 2005).

Las proantocianidinas también se distinguen por el número de unidades de flavanoles que forman la cadena y por la naturaleza del enlace interflavánico. El término “oligómero” se refiere generalmente a moléculas con un número de unidades promedio o grado medio de polimerización (mDP) entre 2 y 5, mientras que los polímeros (taninos condensados) consisten en moléculas con un mDP > 5. En general, los hollejos se caracterizan por presentar polímeros de cadena larga, mientras que las semillas contienen proantocianidinas con un grado de polimerización menor y una

mayor proporción de unidades galoiladas (13-29%) en comparación con los hollejos (3-6%) (Mcrae & Kennedy, 2011).

Una porción significativa, que ronda entre el 25–50% de los CPs en un vino tinto típico, existe como oligómeros y polímeros (taninos condensados) de flavonoles (Harbertson et al., 2009). La condensación forma enlaces covalentes entre las subunidades flavan-3-ol, siendo los enlaces más comunes 4 → 8 (es decir, procianidina B1) y 4 → 6 posiciones (es decir, procianidina B5). La epicatequina es la unidad predominante en los taninos condensados de uvas y vino, y la catequina es la siguiente más abundante (a menudo se encuentra en la posición terminal, es decir, aquellas unidades sin enlace en la posición 4).

Las proantocianidinas en vinos tienen un rol clave en la percepción de calidad, sus características sensoriales y su potencial de añejamiento. Estos compuestos pueden reaccionar con los antocianos y formar compuestos más estables y han sido correlacionados con la percepción de astringencia en vinos tintos (Preys et al., 2006).

1.2.2.2. Flavonoles

Es un grupo de compuestos que poseen un grupo ceto en la posición C4 y también una insaturación entre C2 y C3 (una “flavona”) como un grupo -OH en C3. Los flavonoles se encuentran en la piel de las bayas, donde parecen funcionar como protector solar, y sus concentraciones se incrementan por la alta exposición a la luz solar de las bayas (Price et al., 1995).

Los flavonoles son un grupo de flavonoides no poliméricos. El número de agliconas de flavanol es limitado, conociéndose hasta el momento solo 6 en uvas y vinos. Poseen una gran diversidad de glucósidos, tanto en términos de posición como de tipo de sustituyente de azúcar. Las principales en la uva incluyen quercetina, miricetina, liricitina y kaempferol, con niveles menores de isorhamnetina y siringetina (Figura 1.5).

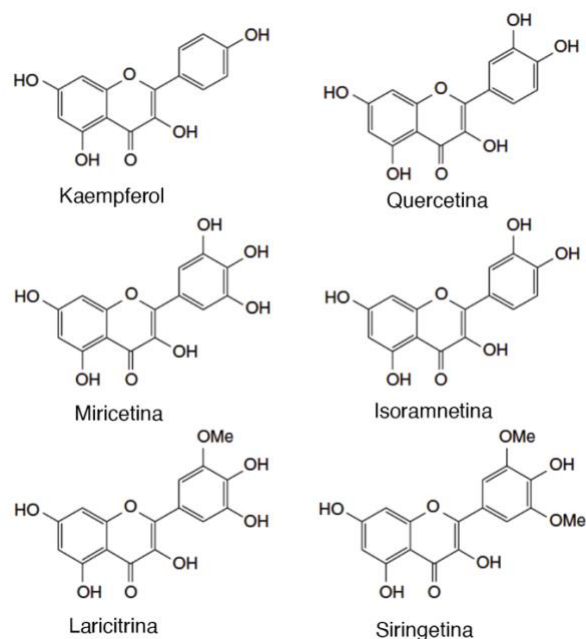


Figura 1.5. Flavonoles encontrados en vinos

Estos compuestos tienen un efecto fotoprotector en uvas sin madurar, por lo cual sus concentraciones totales muestran un aumento mayor y consistente en respuesta a la exposición al sol (Price et al., 1995).

Esta clase de compuestos siempre está presente en forma glucosídica en las plantas, incluidas las bayas, donde se encuentran en la piel. Los glucósidos principales en las uvas incluyen los 3-O-glucósidos, así como los 3-O-glucurónidos, siendo los que aparecen en el vino, aunque también se encuentran los flavonoles libres resultado de procesos de hidrólisis que ocurren durante la elaboración del vino. Las concentraciones de flavonoles en los vinos dependen de la extracción de la piel, por lo que los vinos blancos tienen mucha menos concentración que los tintos.

Las condiciones ambientales influyen en la concentración de flavonoles. Un estudio realizado en la variedad Pinot Noir demostró que los racimos expuestos a la luz solar presentaron mayores concentraciones de flavonoles en las bayas (Price et al., 1995). Resultados similares se encontraron en Merlot, donde se observó un aumento de diez veces entre los grupos expuestos al sol comparados con bayas sombreadas, mientras que la exposición a mayores temperaturas no tuvo efecto (Spayd et al., 2002). La exposición a la luz solar regula los genes que codifican la actividad de la enzima flavonol sintasa. Dado que los flavonoles absorben fuertemente la luz ultravioleta a 360 nm y se encuentran principalmente en la capa más externa de las células de la baya, la

principal hipótesis es que la planta produce estos compuestos como un protector solar natural. Debido a que los flavonoles se correlacionan con la exposición al sol de las uvas y se ha demostrado que dicha exposición se relaciona con muchos otros parámetros de calidad, las concentraciones de flavonoles se han propuesto como un marcador general de calidad para las uvas tintas (Ritchey & Waterhouse, 1999).

Como se mencionó anteriormente, los flavonoles, particularmente la quercetina, tienen un fuerte efecto en la co-pigmentación con los antocianos, lo cual contribuye a la estabilidad del color de los vinos tintos a lo largo del tiempo (Boulton, 2001). En sabor, estos compuestos están relacionados al amargor, aunque todavía falta evidencia sólida para lograr una buena vinculación en matrices complejas como el vino.

1.2.2.3. Antocianos

Los antocianos son compuestos fenólicos (CPs) responsables del color de los vinos tintos, cuyas tonalidades no se limitan exclusivamente al rojo, ya que la misma depende de su estructura química, el pH del medio y la presencia de otros compuestos como sulfitos o componentes de la matriz del vino. En condiciones ácidas, los antocianos pueden presentarse rojos, mientras que en entornos más alcalinos tienden a ser incoloros o de tonalidad azul. Su impacto en el sabor no es significativo, pero la intensidad del color en los vinos otorgada por estos compuestos (dependiente de su concentración) está generalmente asociada a su calidad. A lo largo del proceso de añejamiento del vino, los antocianos no solo contribuyen al color inicial, sino que también participan en reacciones químicas con otros compuestos presentes en el vino. Específicamente, durante este periodo, los antocianos pueden reaccionar para formar piranoantocianos, compuestos con mayor estabilidad que gradualmente se convierten en los principales responsables del color de vinos añejos, mucho más estables ante cambios de pH.

Asimismo, sus reacciones con los taninos condensados crean pigmentos estables en el tiempo que también se asocian con la calidad y el potencial de añejamiento (Boulton, 2001).

Los antocianos derivan de las pieles, y se extraen durante la fermentación y maceración. El etanol es un buen solvente para la extracción de CPs, y durante la fermentación típica de 4 a 10 días, una buena parte de los CPs son extraídos en vinos tintos (Casassa & Harbertson, 2014). Como el vino blanco deriva únicamente del jugo, los niveles de flavonoides son muy bajos, menor al 5% comparados con el vino tinto.

En general, aproximadamente el 50% de los CPs son extraídos durante el proceso de maceración, el resto quedan en el orujo remanente luego del prensado. Se encuentran principalmente en los hollejos de las bayas, aunque también pueden estar presentes en la pulpa de algunas variedades llamadas tintoreras como Aspirant Bouchet y Alicante Bouchet (Monagas & Bartolomé, 2009).

En las concentraciones normalmente encontradas en los vinos tintos (0,3-1,2 g/L), los antocianos no contribuyen intrínsecamente a la astringencia y pueden tener un impacto significativo en las propiedades gustativas (Vidal et al., 2004).

El color rojo percibido se debe a la absorción de luz verde visible a una longitud de onda de 520 nm. Esta absorción resulta del sistema de anillo flavonoide A-C completamente conjugado de 10 π -electrones, que es de naturaleza aromática y también se encuentra conjugado de forma cruzada con el anillo B. Si esta conjugación se interrumpe, se pierde el color, como ocurre cuando los antocianos reaccionan con bisulfito, agua u otros nucleófilos. La estructura y química de los antocianos se vuelven aún más complejas debido a la capacidad de unirse de manera covalente o no covalente a los componentes comunes del vino.

En la mayoría de los vinos tintos añejos, los pigmentos estabilizados son las principales fuentes de color, aunque se pueden detectar pequeñas cantidades de antocianos monoméricos en algunos vinos con más de 5 años.

En cuanto a los antocianos identificados en las uvas y vinos de la especie *Vitis vinifera*, se encuentran los 3-O-monoglucósidos y los 3-O-monoglucósidos acilados de los antocianos delphinidina, cianidina, petunidina, peonidina y malvidina (Figura 1.6). Estos antocianos presentan diferencias en el número y la posición de los sustituyentes hidroxilos y metoxilos en el anillo B. Además, se produce la acilación de estos compuestos en el carbono 6 de la molécula de glucosa mediante la esterificación con ácidos acético, p-cumárico y cafeico (Monagas & Bartolomé, 2009).

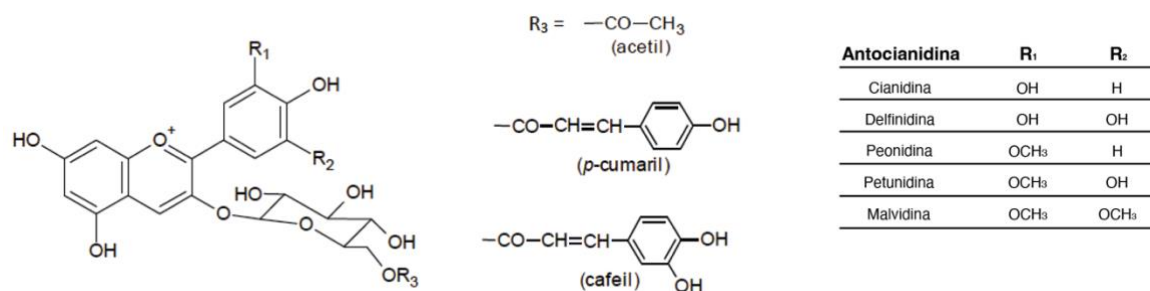


Figura 1.6. Estructura de antocianos.

Los perfiles de antocianos son diferentes entre las variedades de uva, lo que ha llevado a intentar utilizar estos perfiles para autenticar las uvas utilizadas para producir vinos tintos jóvenes (Eder et al., 1994). Por ejemplo, Pinot Noir es una variedad con una intensidad de color baja comparado con Malbec o Cabernet Sauvignon, lo cual es evidente por su falta de formas de glucósidos acilados. La malvidina 3-O-glucósido (Mal3G) y sus derivados dominan el perfil de antocianos en la mayoría de las uvas y vinos tintos, por lo que la mayoría de las investigaciones se centran en la reactividad e interacciones de esta antocianina.

Las antocianos presentes en el vino y soluciones similares existen en varias formas en un equilibrio dependiente del pH y las proporciones relativas afectan fuertemente la intensidad del color rojo. El anillo C, cargado positivamente del catión flavilium (2-phenylchromenylium o benzopyrylium) es electrófilo, y las posiciones C2 y C4 pueden reaccionar con los nucleófilos presentes en el vino. Las reacciones comunes son con agua y SO₂; en ambos casos, el color rojo de la forma flavilium se pierde cuando se interrumpe la conjugación de doble enlace. A medida que aumenta el pH de una solución, el catión flavilium se equilibra como un ácido, reaccionando con el agua para convertirse en una especie neutra incolora, la pseudo-base de carbinol. El pKa del equilibrio de flavilium-pseudobase es 2,7, por lo que a un pH de vino típico de 3,7, el 90% del grupo de antocianos se vuelve incoloro (Brouillard et al., 1997). A pH bajo, todas las formas se convierten en el catión flavilium, lo que facilita la cuantificación de los antocianos por absorción de luz a 520 nm.

El pH es muy importante en la intensidad del color, pero también existen otros factores que afectan la composición y la estabilidad de estos compuestos en soluciones como el vino. Así se puede mencionar la estructura y concentración del pigmento, la temperatura, presencia de co-pigmentos (como flavonoles), oxígeno, azúcares y SO₂, entre otros. Durante la elaboración de vinos tintos, los antocianos participan en reacciones de oxidación, hidrólisis y condensación, produciéndose cambios significativos en el color (Waterhouse et al., 2016).

1.3. Análisis sensorial descriptivo

El área de la evaluación sensorial creció rápidamente en la segunda mitad del siglo XX junto con la expansión de las industrias de alimentos procesados y productos para consumo. La evaluación sensorial comprende un conjunto de técnicas para la

medición precisa de las respuestas humanas a los alimentos y minimiza los efectos potencialmente sesgados de la identidad de la marca y otras influencias de información sobre la percepción del consumidor. Como tal, intenta aislar las propiedades sensoriales de los alimentos y proporciona información importante y útil a los desarrolladores de productos, científicos de alimentos y empresas sobre las características sensoriales de sus productos (Lawless & Heymann, 2010).

La evaluación sensorial se ha definido como un método científico utilizado para evocar, medir, analizar e interpretar esas respuestas a los productos tal como se perciben a través de los sentidos de la vista, el olfato, el tacto, el gusto y el oído (Stone & Sidel, 1985). Los principios y prácticas de la evaluación sensorial involucran cada una de las cuatro actividades mencionadas en esta definición. En el caso de "evocar" o "producir", la evaluación sensorial brinda pautas para la preparación y el suministro de muestras en condiciones controladas para minimizar los factores de sesgo. En una prueba sensorial se utilizan cabinas o box individuales con condiciones de luz y temperaturas adecuadas, para que las percepciones sean propias y no estén influenciadas por otras personas o ambientes (Varela y Ares, 2014). Las muestras están etiquetadas con números aleatorios y sin información sobre el producto. Otro ejemplo es que los productos se pueden dar en diferente orden a cada participante para ayudar a medir y contrarrestar los efectos secuenciales de ver un producto tras otro. Se pueden establecer procedimientos estándar para la temperatura de la muestra, el volumen y tiempo, según sea necesario para controlar la variación no deseada y mejorar la precisión de la prueba.

En la etapa de "medir", la evaluación sensorial es una ciencia cuantitativa en la que se recopilan datos numéricos para establecer mediciones específicas entre las características del producto y la percepción humana. Los métodos sensoriales se basan en gran medida en las técnicas de investigación conductual para observar y cuantificar las respuestas humanas. Por ejemplo, podemos evaluar la proporción de veces que las personas pueden discriminar pequeños cambios de producto o la proporción de un grupo que expresa una preferencia por un producto sobre otro. Otro ejemplo es hacer que las personas generen respuestas numéricas que reflejen su percepción de qué tan fuerte puede probar en boca u oler un producto. Las técnicas de investigación conductual y psicología experimental ofrecen pautas sobre cómo deben emplearse dichas técnicas de medición, cuáles son sus posibles dificultades y responsabilidades.

El tercer proceso en la evaluación sensorial es el "análisis". El análisis de los datos es una parte crítica de las pruebas sensoriales. Los datos generados por

observadores humanos a menudo son muy variables y pueden existir muchas fuentes de variación en las respuestas humanas que no se pueden controlar por completo en una prueba sensorial. Los ejemplos incluyen el estado de ánimo, motivación de los participantes, sensibilidad fisiológica innata a la estimulación sensorial, su historia pasada y su familiaridad con productos evaluados.

Si bien es posible que se realicen algunas pruebas de detección de estos factores, pueden controlarse solo parcialmente, y los paneles de humanos son, por su propia naturaleza, instrumentos heterogéneos para la generación de datos. Con el fin de evaluar si las relaciones observadas entre las características del producto y las respuestas sensoriales son reales, y no simplemente el resultado de una variación incontrolada de las respuestas, se utiliza una batería de métodos estadísticos para analizar los datos. De la mano con el uso de análisis estadísticos, otro tema importante es usar un buen diseño experimental, de modo que las variables de interés se investiguen de una manera que permita sacar buenas conclusiones.

La cuarta y última etapa es la “interpretación de los resultados”. Un ejercicio de evaluación sensorial es necesariamente un experimento. En los experimentos, los datos y la información estadística solo son útiles cuando se interpretan en el contexto de hipótesis, conocimientos previos e implicaciones para las decisiones y acciones a tomar. Se deben sacar conclusiones que sean juicios razonados basados en datos, análisis y resultados. Las conclusiones implican la consideración del método, las limitaciones del experimento, antecedentes y el marco contextual del estudio.

Dentro de las técnicas de análisis sensorial, se distinguen tres enfoques: discriminativas, descriptivas y afectivas. El primero, conocido como método analítico, tiene como objetivo principal determinar si existen diferencias perceptibles entre los productos evaluados. En cambio, la técnica descriptiva se utiliza para obtener información detallada sobre las características sensoriales de productos específicos. Por último, la técnica de evaluación afectiva se basa en pruebas hedónicas, que permiten medir el grado de agrado o preferencia de un producto en relación con otro.

En este trabajo de investigación de tesis doctoral, la técnica seleccionada es el método descriptivo (DA). Es una de las técnicas más poderosas y sofisticadas dentro de la ciencia sensorial. La información obtenida puede ser recolectada para caracterizar productos, conocer si existen diferencias entre ellos, saber cuáles características son las más discriminantes, y la información puede relacionarse con la indagación de

aceptación del consumidor y con medidas instrumentales mediante técnicas estadísticas como la regresión y la correlación.

El análisis descriptivo sensorial permite la calificación y cuantificación de los atributos del producto por un panel de jueces entrenados (Meilgaard, 1991). Los atributos del producto pueden ser aromas, sabores, textura, retrogusto, apariencia y sonido (Murray et al., 2001).

La principal fortaleza de la técnica DA radica en la capacidad del investigador para establecer relaciones entre múltiples productos para múltiples variables. En la práctica, DA es una herramienta mediante la cual se pueden establecer comparaciones entre datos sensoriales y químicos, se pueden mapear las preferencias del consumidor, administrar el control de calidad y probar las variables de procesamiento (Murray et al., 2001).

Los pasos básicos en el diseño y la realización de un panel DA incluyen: 1) selección de jueces, 2) generación de atributos, 3) formación de conceptos y, finalmente, 4) calificación y cuantificación de los productos. Las formas en que se llevan a cabo estos pasos dependen del objetivo. La cantidad de jueces entrenados es importante, autores como Lawless & Heymann, 2010 determinaron que en DA deberían usarse al menos 8, pero preferiblemente 10 jueces. La participación de jueces es voluntaria y se tienen que cumplir los códigos de ética para resguardar la información y salud de los participantes.

La generación de atributos implica capacitación en el lenguaje común que describe los productos de manera integral y precisa. En general, esto lo genera el propio panel a través de sesiones en donde se prueban los productos, o en este caso muestras de vinos (o un subconjunto de estos) que se utilizan para la generación de términos. La lista final de atributos se decide por consenso y debe definirse con precisión, conteniendo suficientes términos para describir completamente los productos, pero no debe ser tan grande ya que puede volverse difícil o fatigante para los jueces al realizar el análisis. La formación de conceptos a menudo ocurre durante la fase de generación de atributos e incluye el uso de estándares para asegurar la alineación adecuada de ideas (Civille & Lawless, 1986). Según lo descrito por Rainey, (1986) un estándar de referencia se define como "cualquier producto químico, ingrediente, especia o producto" que puede ser reproducido en cualquier momento y lugar. La opinión de los jueces sobre la idoneidad y precisión de los estándares de referencia se puede obtener

pidiendo a los jueces que usen una escala de calificación. Este procedimiento ayuda a la creación y selección de estándares de referencia (Murray et al., 2001).

Los métodos actuales utilizados para el análisis descriptivo incluyen *Flavor Profile Method*, *Texture Profile Method*, *Quantitative Descriptive Analysis*, *Spectrum Method*, *Quantitative Flavor Profiling*, *Free-choice Profiling*, *Flash Profile* y *Generic Descriptive Analysis* (Lawless & Heymann, 2010). El análisis descriptivo genérico puede combinar técnicas de diversas metodologías para diseñar un estudio apropiado para un objetivo o producto específico. En este estudio se utilizó análisis sensorial descriptivo genérico, que toma información de varios métodos para adaptarse al diseño experimental.

En el análisis de vinos, la técnica de análisis sensorial descriptivo es muy usada para conocer como distintos métodos de elaboración afectan el producto final. Por ejemplo, como la maceración extendida afecta la percepción sensorial en Cabernet Sauvignon (Casassa et al., 2013) o como cambian los descriptores sensoriales en vinos blancos con el agregado de robles alternativos (Cejudo-Bastante et al., 2011).

En el ámbito científico, la técnica de análisis sensorial descriptivo es la herramienta más utilizada para evaluar estudios de terroir. La ventaja más importante respecto a otros métodos es la cantidad de muestras y la reproducibilidad, ya que no es un método comparativo entre muestras o productos, sino que los atributos del producto se miden en base a estándares sensoriales definidos. En los estudios orientados al terroir, el investigador desea obtener información cuantitativa de los atributos sensoriales de múltiples vinos de una región específica o varias. DA permite a un investigador cuantificar múltiples atributos para múltiples vinos simultáneamente y los datos se pueden utilizar para analizar los vinos individualmente o en grupo. Por lo tanto es una herramienta útil en la cuantificación de descriptores de vinos específicos de regiones definidas.

Muchos autores han usado el análisis sensorial descriptivo para entender el terroir en regiones famosas de todo el mundo, como Sauvignon Blanc de Nueva Zelanda y Francia, donde pudieron identificar descriptores asociados a cada país e identificar descriptores asociados a la aceptabilidad (Parr et al., 2010). En el caso de Pinot Noir se utilizó para identificar los descriptores sensoriales asocciados a distintas regiones de California (Cantu, et al., 2021). Heymann & Noble, (1987) estudiaron como el año de implantación de la planta de vid y el clima afecta el carácter frutado y aroma vegetal en vinos comerciales Cabernet Sauvignon de California, Estados Unidos.

En varias partes de Europa, la importancia del concepto terroir define el precio y la percepción de calidad de los vinos y son reguladas por leyes de Denominación de Origen. Si bien esto pasa en otras regiones del mundo, incluido Argentina, en Europa las regulaciones son más estrictas. Ante estas regulaciones, varios autores han propuesto usar técnicas de análisis sensorial descriptivo y técnicas como “Just-About-Right” para determinar la “Tipicidad” de cada región.

1.4. Antecedentes del Malbec

Tal como se mencionó anteriormente, el Malbec es de origen francés y es la variedad más cultivada en Argentina. Gracias a su adaptación a los distintos ambientes de nuestro país, se han logrado obtener vinos que son reconocidos en todo el mundo. Si bien el 80% de la superficie cultivada se encuentra en Mendoza, también hay viñedos con la variedad Malbec desde Río Negro hasta Jujuy.

Desde hace varios años se viene estudiando la variedad Malbec con diferentes enfoques, ya sea agronómico incluyendo las selecciones clonal y masal (Muñoz et al., 2014), riego (Shellie & King, 2020), la influencia de la radiación UV-B en las plantas (F. Berli et al., 2008) o el tipo de suelo (Mezzatesta et al., 2022). Desde un punto enológico, se evaluaron distintos manejos en la elaboración para poder conocer y aprovechar mejor la calidad enológica de las uvas de la variedad.

El primer estudio publicado en vinos Malbec fue realizado en Francia por Salagoity-Auguste & Bertrand, 1984. Posteriormente otros autores evaluaron la influencia del tiempo de maceración en el contenido de fenoles totales, taninos condensados totales y color utilizando técnicas espectrofotométricas UV-VIS (Vila et al., 2005). Otros estudios han realizado mediciones de composición fenólica en uvas y vinos evaluando el impacto del raleo de racimos (Matus et al., 2006). También se han publicado resultados del efecto del añejamiento en roble en la composición fenólica en vinos de la variedad (Catania et al., 2011). En la bibliografía actual hay dos estudios que aportan al entendimiento de la composición fenólica del Malbec y su tipicidad. Fanzone et al., 2010, evaluaron cómo influye el lugar donde se encuentran cultivadas las uvas en la composición de vinos Malbec, mostrando que se pueden discriminar ciertas regiones grandes de Mendoza usando los niveles de concentración de compuestos fenólicos. Este estudio, analizó vinos elaborados en diversas bodegas de Mendoza. Una de las desventajas de obtener vinos de varios elaboradores de vinos, es que las condiciones de cosecha (grado de madurez) de la uva y las condiciones de elaboración en las diversas

bodegas no fueron estandarizadas. Las decisiones de cosecha y vinificación desempeñan un papel fundamental en la calidad del vino, en general, y en la composición fenólica, en particular. La fecha de cosecha, la temperatura de maceración, la intensidad y la duración de la misma, la cepa de levadura empleada, las condiciones de prensado y el uso del roble pueden modificar las características sensoriales y químicas de los vinos. Por lo que un control exhaustivo de estas variables sería esencial para poder cuantificar de la mejor manera el efecto del origen geográfico de las uvas, y por lo tanto de los vinos producidos.

Otro estudio publicado más recientemente seleccionó 16 viñedos de California, Estados Unidos y 26 viñedos en Mendoza, Argentina. Los vinos fueron elaborados en condiciones estandarizadas y se midió el perfil de antocianos individuales y CPs de bajo peso molecular. Si bien es un trabajo muy completo, solo considera un año de estudio, hace foco en la comparación y discriminación de dos países y sub-regiones muy extensas y con diversidad intrínseca (Buscema & Boulton, 2015).

Ambos estudios son los trabajos más completos hasta el momento para comprender el Malbec argentino, pero tienen la limitación de abarcar pocos años de estudio, lo que impide conocer la influencia de la añada en las mismas parcelas o regiones. Este sería un factor relevante en el establecimiento de la tipicidad de la variedad en una región debido al probado efecto de las distintas condiciones climáticas de cada añada sobre la composición de los vinos.

Otros estudios en Malbec que han trabajado en condiciones experimentales en distintas regiones vitivinícolas incluyeron el estudio del efecto de la exposición a la radiación UV-B en distintas altitudes. Mendoza cuenta con gran variabilidad climática, y dentro de esa variabilidad está la altitud del cultivo de los viñedos, que abarca desde los 500 msnm hasta los 1600 msnm. Al estar en distinta altitud la radiación que llega a la superficie de la tierra es distinta. La radiación solar que llega a la superficie de la Tierra incluye radiación infrarroja (longitudes de onda superiores a 700 nm), radiación fotosintéticamente activa (PAR, 400–700 nm), UV-A (315–400 nm) y UV-B (280–315 nm). UV-B representa solo el 0,5% de la energía solar total que pasa a través de la atmósfera (absorbida principalmente por la capa de ozono en la estratósfera y por los gases atmosféricos), pero tiene suficiente energía para causar grandes efectos fotobiológicos en las plantas (Jansen, 2002). El ángulo solar, la elevación del sol sobre el cenit, la altitud y las condiciones climáticas locales como la cobertura de nubes, la reflexión de la superficie y la contaminación atmosférica son factores que afectan en

gran medida las cantidades de UV-B que llegan a la superficie (McKenzie et al., 2007). El efecto de la altitud está relacionado con la masa de la columna atmosférica (gases, vapor de agua, gotas de agua y aerosoles) que deben atravesar los rayos solares; es decir, a grandes altitudes hay menos masas de aire y, por lo tanto, mayores niveles de UV-B solar.

F. Berli et al., (2008) mostraron que los altos niveles de UV-B solar aumentan los CPs totales (incluidos los flavonoides y no flavonoides), las antocianos y el estilbeno *trans*-resveratrol en las pieles de bayas del cv. Malbec. Estos resultados se obtuvieron en un experimento a campo con plantas Malbec expuestas a diferentes niveles de UV-B, es decir, bajo luz solar con UV-B y sin UV-B durante la maduración de la uva, en tres ubicaciones diferentes de Mendoza a 500, 1000 y 1500 msnm (donde la altitud explica las diferencias solares UV-B en el tratamiento UV-B). Se ha registrado que la radiación UV-B aumenta los fenoles de la piel de las bayas (principalmente flavonoles, flavanonoles y flavanoles), que protegen los tejidos de las plantas y podría contribuir a mejorar calidad de los vinos (F. J. Berli et al., 2011a). Además, F. J. Berli et al., (2015) encontraron que el tratamiento con altos niveles de UV-B durante todo el crecimiento vegetativo de la planta aumentó la capacidad de absorción de radicales del oxígeno (ORAC) de los extractos de piel de las bayas.

En términos generales, los estudios en Malbec mencionados muestran que los CPs totales en vinos oscilan en un rango de 1900 a 3500 mg/L, los antocianos totales de 260 a 800 mg/L y la intensidad de color de 9 a 25 (A420+A520+A620) (Fanzone et al., 2010a), lo cual muestra una gran variabilidad para este cultivar. Los niveles de CPs totales están por encima de los valores encontrados para los vinos elaborados en escala piloto de Malbec de Mendoza (Buscema & Boulton, 2015) y Cabernet Sauvignon de California (Frankel et al., 1995) y Burdeos (Chira et al., 2011). Sin embargo, las concentraciones encontradas por Buscema & Boulton (2015) son comparables a las encontradas en los vinos Cabernet Sauvignon a escala piloto de California, que no recibieron ninguna crianza de roble (Oldfield, 2001). Posiblemente, la pequeña escala utilizada en el estudio o la diferencia en la metodología de medición de Buscema & Boulton (2015) y por Oldfield (2001) condujo a una menor concentración total de fenoles. En cuanto a los antocianos totales, los niveles son comparables a los reportados para vinos elaborados en escala piloto de Malbec de Mendoza y Cabernet Sauvignon a escala comercial y piloto de California.

Buscema & Boulton (2015) realizaron un perfil de antocianos individuales, y muestra concentraciones de antocianos monoglucosidados en Malbec en los rangos de 12 a 67,8 mg/L de delfinidina-3-glucósido, desde 1,6 a 15,5 mg/L de cianidina-3-glucósido, desde 17,7 a 83,5 mg/L de petunidina-3-glucósido, desde 3,5 a 23,5 mg/L de peonidina-3-glucósido y desde 189,9 a 408,8 mg/L de malvidina-3-glucósido.

Las concentraciones de antocianos acetilados encontrados variaron de 2,9 a 11,0 mg/L para delfinidina-3-(6-acetil)glucósido, de 2,7 a 19,2 mg/L para cianidina-3-(6-acetil)glucósido, de 1,9 a 7,7 mg/L para petunidina-3-(6-acetil)glucósido, de 6,4 a 10,8 mg/L para peonidina-3-(6-acetil)glucósido, y de 32,9 a 68,7 mg/L para malvidina-3-(6-acetil)glucósido. En el caso de los derivados cumarilados, las concentraciones oscilaron entre 0,7 y 5,3 mg/L para el delfinidina-3-(6-p-cumaroil)glucósido, de 0,6 a 5,2 mg/L para el cianidina-3-(6-p-cumaroil)glucósido, de 0,4 y 2,0 mg/L para petunidina-3-(6-p-coumaroil)glucoside, de 1,3 a 4,8 mg/L para peonidina-3-(6-p coumaroil)glucósido y de 19,3 a 31,8 mg/L para el malvidina-3-(6-p-cumar-oil)glucósido.

Recurriendo a análisis más complejos, algunos estudios han clasificado provincias y variedades de Argentina con análisis químicos (antocianos y compuestos inorgánicos) utilizando herramientas quimiométricas, pero utilizando muestras comerciales, un año de estudio y sin tener en cuenta el sitio específico del origen de las uvas (Di Paola-Naranjo et al., 2011).

La trazabilidad de las muestras utilizadas es un factor importante en los estudios de terroir, ya que el suelo, elevación, clima y método de elaboración (distintas vasijas de fermentación, tipo de levadura utilizada, tiempo y temperatura de extracción y uso de roble) pueden influir en los perfiles químicos y sensoriales de los vinos. Otros estudios han mostrado que existen diferencias en la concentración de compuestos volátiles y características sensoriales en vinos Malbec de distintos países, donde la complejidad de los Malbec provenientes de Mendoza (Argentina) es mayor a los provenientes de California (EEUU), inclusive mostrando diferencias significativas dentro de cada región, probablemente influenciadas por el terroir (Heymann, Ebeler, et al., 2015; King et al., 2014). Los estudios mencionados anteriormente son utilizados como base en la planificación y ejecución de esta tesis. Sin embargo, es necesario estudiar la interacción del ambiente (origen y año de estudio) con el perfil químico y sensorial en la variedad Malbec de Mendoza para encontrar la tipicidad fenólica y sensorial de cada una de las regiones estudiadas, donde los trabajos mencionados anteriormente abordan cada factor de manera independiente, sin tener en cuenta los demás.

En términos de características sensoriales del Malbec, páginas especializadas en vinos o críticos (winecritics) definen al Malbec como una variedad donde predominan aromas a ciruela, arándanos, vainilla, tabaco dulce y chocolate en boca con alta concentración, sabor dulce y acidez media (<https://winefolly.com/grapes/malbec/>). Sin embargo, es muy difícil generalizar las características de una variedad que proviene de regiones con gran variabilidad de clima y suelo. Hasta el momento existen pocos estudios publicados con análisis sensorial descriptivo en Malbec, aunque los mismos han permitido entender la variabilidad de la variedad.

Goldner & Zamora (2007) realizaron un trabajo de análisis sensorial descriptivo de 46 vinos de la cosecha 2004 provenientes de 7 grandes regiones de Argentina (Valles Calchaquíes, Este de Mendoza, Sur de Mendoza, Valle de Uco, Neuquén, Río Negro, Alto Río Mendoza y San Juan). Los resultados mostraron que los vinos provenientes de los Valles Calchaquíes tenían intensos aromas a hierbas, especias, pimienta dulce y picante en contraste con San Juan, que mostró aromas frutales, frutilla, miel y cítricos. La zona Este de Mendoza y el Valle de Uco se asociaron a los atributos de frutas cocidas, pasas, flores y dulzura, opuestos al Sur de Mendoza y Patagonia, que se caracterizaron por la acidez, el amargor, la persistencia y la astringencia, y en menor medida por los aromas frutales. Alto Río Mendoza se caracterizó por la acidez, el pimiento dulce y el amargor. La intensidad de ciruela y cuerpo fue similar para todos los vinos analizados; indicando que estos atributos son característicos de la uva Malbec. Si bien es una caracterización general, llama la atención que los vinos provenientes del Valle de Uco y Zona Este estén relacionados en sus características sensoriales, ya que ambas regiones son muy contrastantes en sus variables climáticas y edafológicas.

Otro estudio realizado por King et al. (2014) realizaron el análisis sensorial descriptivo en 16 vinos de California y 26 vinos de Mendoza elaborados en condiciones estandarizadas. Los resultados mostraron que los vinos Malbec de Mendoza se caracterizaron por aromas de frutas rojas, frutas secas y chocolate, con sabor dulce y sensación en boca caliente, mientras que los vinos Malbec de California se caracterizaron por aromas de fruta artificial, pomelo/cítrico y sabor amargo.

Estos resultados fueron el comienzo de la caracterización del Malbec de Mendoza y su comportamiento en otros países. Si bien esta información es muy útil y proporciona bases científicas para comprender que los Malbec de Argentina tienen características distintas a otras regiones del mundo, así como diferencias entre provincias y regiones dentro de Argentina, resulta necesario generar información sobre regiones más

específicas de acuerdo con los requerimientos mundiales relacionados a indicaciones geográficas. También es importante conocer si el efecto del año tiene relevancia en la percepción sensorial del Malbec.

1.5. Análisis estadístico

En este estudio se recopilan una amplia gama de datos climáticos, perfil de compuestos fenólicos y sensoriales. En diversas áreas de la ciencia, especialmente en biología, la acumulación de datos ha aumentado significativamente en la última década. Actualmente, la secuenciación completa de genomas se ha vuelto mucho más habitual, reflejando un cambio hacia métodos que buscan ofrecer una comprensión holística de las muestras, a menudo descrita como obtener una 'huella dactilar'. Como resultado, el análisis de una sola muestra puede generar datos significativos, a menudo en el rango de megabytes. Estas muestras, que pueden ser mezclas complejas de fluidos corporales, muestras ambientales, cultivos celulares, o productos industriales y de control de calidad, se analizan utilizando diversas técnicas espectroscópicas.

La química analítica tiene a la estadística como una herramienta fundamental e imprescindible. La relación ha dado lugar al desarrollo de la Quimiometría, una disciplina que aplica las técnicas matemáticas de la estadística a los problemas analíticos de la identificación y cuantificación de los compuestos químicos, siendo habitual el uso de la quimiometría en cualquier análisis químico.

La quimiometría se define como la disciplina química que utiliza métodos de estadística, matemática aplicada e informática para extraer información valiosa de datos químicos medidos y para optimizar procedimientos analíticos. Esta disciplina sostiene que la estrategia completa para abordar un problema químico no trivial (desde su definición, pasando por la identificación del sistema químico, el muestreo, la elección de los procedimientos analíticos o sintéticos, hasta la optimización de los procedimientos elegidos y la gestión de las cantidades físicas) debe generar información que sea directamente relevante para el problema en cuestión. Además, la estrategia puede incluir información derivada de la química teórica o de fuentes externas cuando sea necesario. Dada la complejidad inherente a los problemas químicos, los múltiples factores que pueden influir en las reacciones, la cantidad de factores para describir una molécula, y las limitaciones prácticas como el tiempo y el presupuesto, es imprescindible que los químicos adopten y utilicen herramientas innovadoras como la quimiometría. Desarrolladas como consecuencia de nuevos problemas, nuevas técnicas

analíticas y nuevos resultados teóricos, estas herramientas son necesarias para la gestión del problema químico y de la información química producida. Estas nuevas herramientas tienen su origen en otras disciplinas, estadísticas, economía, matemáticas, informática, pero se aplican a problemas químicos, donde algunas hipótesis subyacentes no se pueden verificar por completo, muchos aspectos especiales no se reconocieron en el desarrollo de la herramienta original o el conocimiento químico es el primero en la jerarquía. Por lo tanto, con frecuencia las herramientas originales deben modificarse o al menos usarse con el pragmatismo debido al conocimiento de sus características y límites. La quimiometría nació debido a las necesidades presentadas por problemas químicos reales. Estas técnicas se pueden aplicar con varias estrategias, desde la visualización, conversión, agrupamiento, modelado de clase, regresión, selección de clase y validación (Forina & Drava, 1997).

En el caso de la quimiometría, los datos provienen de la química analítica, pero también existe la sensometría, donde los datos provienen de datos sensoriales generados por estímulos sensoriales de personas (Qannari, 2017). Como se menciona anteriormente, el análisis sensorial es una forma de medir las respuestas humanas a los estímulos químicos y físicos. Aunque los datos sensoriales son altamente multivariados y generalmente ruidosos (entre personas y a veces con la misma persona), cuando se realizan correctamente, el análisis sensorial representa una herramienta poderosa para obtener información sobre alimentos, bebidas, perfumes y, de hecho, cualquier producto experimentado por un cliente.

Las técnicas de quimiometría y sensometría son similares en las técnicas que se utilizan, aunque varían en la exploración e interpretación de los datos. Inclusive, muchos autores trabajan en ambas disciplinas en la interpretación e interacción entre datos químicos y sensoriales. Dependiendo de la naturaleza de los productos, la quimiometría tiene el potencial de realizar mediciones objetivas simples junto con métodos de análisis de datos multivariados para reemplazar información sensorial, que en muchos casos requieren tiempo y dinero (Qannari, 2017).

En este trabajo de tesis, si bien la mayoría de las técnicas estadísticas aplicadas tiene como objetivo entender el comportamiento de las variables sensoriales, químicas y climáticas de cada locación, en varios casos se intentará realizar inferencias y predicciones usando distintas matrices de datos. En el primer caso se realizará inferencia estadística, donde vamos a usar distintos modelos estadísticos para aprender sobre el proceso de generación de datos, mientras que en la predicción vamos a usar

modelos para predecir resultados nuevos o poner a prueba los modelos con mayor rigurosidad.

1.6.Objetivos e hipótesis de trabajo

1.6.1. Objetivos generales

El objetivo de este estudio es investigar el efecto del terroir en la composición de CPs y el perfil sensorial de vinos Malbec provenientes de parcelas ubicadas en diferentes zonas productivas de Mendoza. La finalidad es desarrollar bases científico-tecnológicas que permitan identificar parcelas específicas con potencial para producir vinos de calidad superlativa, que posteriormente puedan adquirir reconocimiento como sitios únicos de producción a nivel nacional e internacional.

1.6.2. Objetivos específicos

- a. Caracterizar el perfil de compuestos fenólicos de vinos Malbec provenientes de distintas zonas geográficas de Mendoza (Este, Primera Zona y Valle de Uco).
- b. Caracterizar el perfil sensorial del Malbec para conocer la tipicidad sensorial de las diferentes escalas geográficas donde se cultiva la variedad en Mendoza utilizando análisis sensorial descriptivo con un panel de jueces entrenados.
- c. Estudiar el impacto de las variables climáticas (Índice de Winkler, pluviometría, temperaturas máximas, medias y mínimas) sobre las características sensoriales y el perfil de compuestos fenólicos de los vinos en diferentes añadas.
- d. Utilizar herramientas avanzadas de modelado quimiométrico (PCA, análisis de conglomerados, PLS-DA) para identificar parcelas que puedan producir vinos con características únicas en base a sus perfiles de compuestos fenólicos.

1.6.3. Hipótesis de trabajo

- a. Por la diversidad en las condiciones climáticas y de suelos de Mendoza, los vinos Malbec provenientes de distintos ambientes y elaborados en condiciones estandarizadas, presentan perfiles de compuestos fenólicos y características sensoriales distintas que permiten diferenciarlos por medio de herramientas estadísticas.
- b. Las diferencias en el perfil de compuestos fenólicos y sensoriales del Malbec no están delimitadas por las indicaciones geográficas actuales de Mendoza, ya que éstas se basan en límites políticos que no tienen en cuenta registros climáticos y

características del suelo, que tienen una influencia preponderante en las características de los vinos.

- c. El análisis sensorial descriptivo, en conjunto con la caracterización del perfil de compuestos fenólicos, permiten conocer los compuestos de mayor impacto en el perfil sensorial del Malbec argentino.
- d. La diversidad climática y edafológica de las regiones de Mendoza permite producir vinos Malbec con perfiles de compuestos fenólicos y sensoriales únicos, inclusive encontrando vinos con perfiles distintos en viñedos de estudio muy próximos entre sí. El estudio permite conocer el impacto de estas variables del “terroir” e identificar esos sitios con alta potencialidad.

Capítulo 2

Materiales y Métodos

2.1. Localización de los viñedos y procedimientos de vinificación

Mendoza tiene tres grandes zonas vitivinícolas donde se cultiva aproximadamente el 82% del Malbec de la provincia: la Zona Este, la Primera Zona y el Valle de Uco (Figura 2.1). Estas tres zonas abarcan 6 departamentos (divisiones políticas de la provincia) y dentro de ellas se han declarado algunas Indicaciones Geográficas (IGs). La Figura 2.2 muestra la ubicación de las parcelas y las IGs en el Valle de Uco, que incluye los departamentos de San Carlos, Tunuyán y Tupungato. La Figura 2.3 muestra la ubicación de las parcelas en la Primera Zona, que incluye los departamentos de Luján de Cuyo y Maipú. El departamento de Rivadavia, que pertenece a la Zona Este, también se incluye en la Figura 2.3. En ambas figuras se encuentran las IGs que se incluyen en el presente estudio.

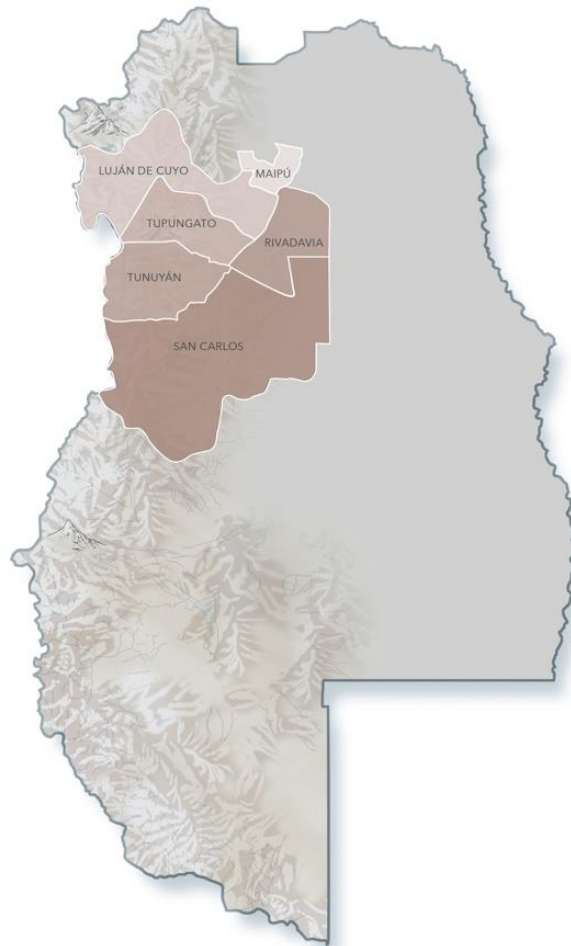


Figura 2.1. Mapa que ilustra los departamentos de la provincia de Mendoza en los que se ubican las áreas vitivinícolas del Valle de Uco, Primera Zona y Zona este.

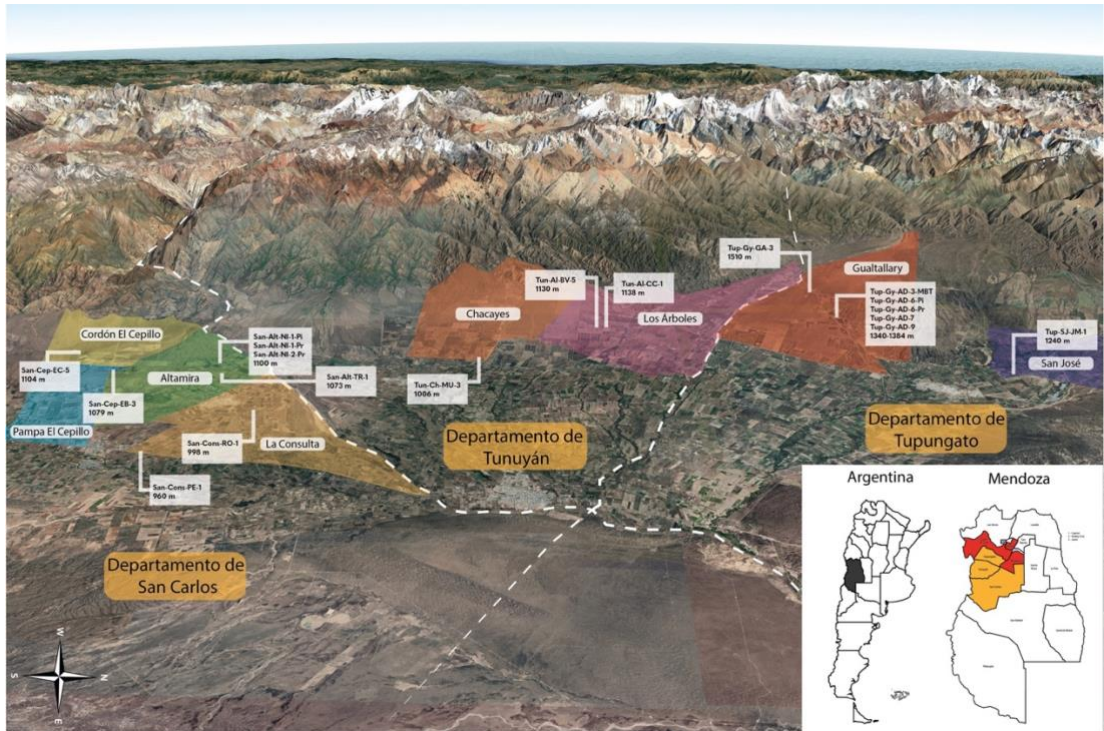


Figura 2.2. Imagen de satélite del Valle de Uco con la localización de los departamentos de Tunuyán, San Carlos y Tupungato. Se detalla la ubicación de las parcelas de estudio en cada IG.

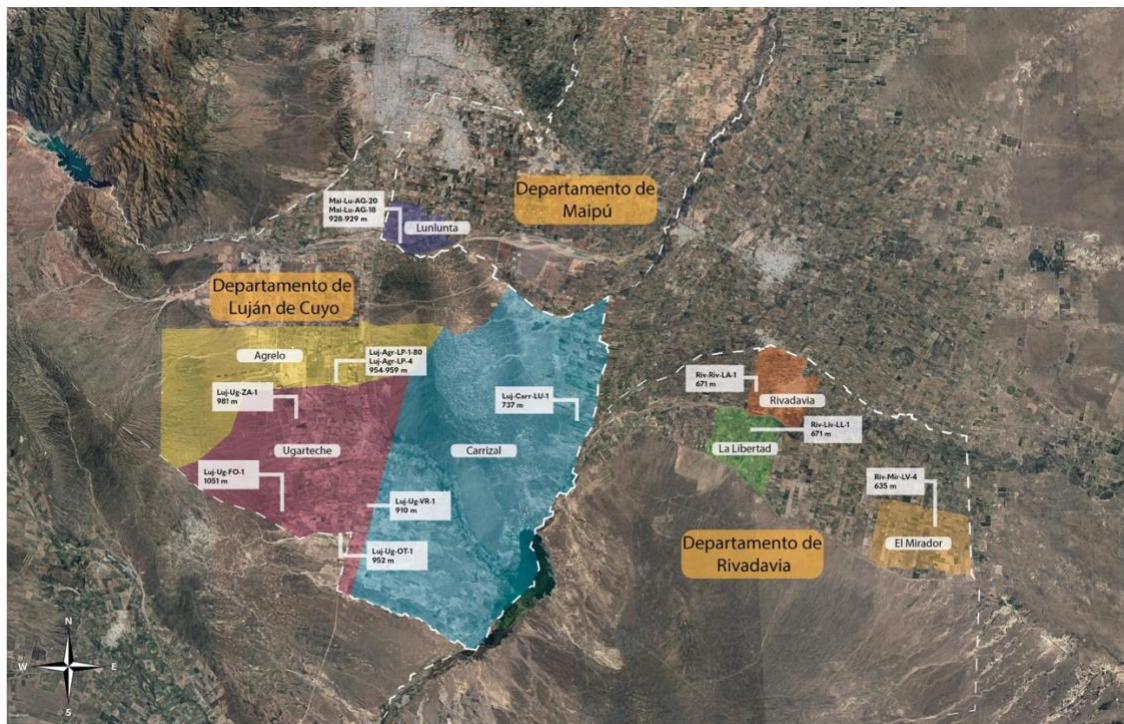


Figura 2.3. Imagen de satélite de la Primera zona y zona este con la localización de los departamentos de Luján de Cuyo, Maipú y Rivadavia. Se detalla la ubicación de las parcelas de estudio en cada IG.

Cada parcela seleccionada se definió como la unidad experimental, y en cada una de ellas la cantidad de uva cosechada fue de 2100 kg que se utilizaron para realizar 3

repeticiones de vinificaciones en diferentes recipientes (bins). La cantidad de parcelas por IG fue determinada en base a la heterogeneidad de los suelos de zonas con suelos aluvionales (Valle de Uco y regiones de la Primera Zona, o suelos de formación eólica (Zona este), y por la disponibilidad de uva Malbec en las mismas. A mayor variabilidad del suelo, la selección incluyó mayor cantidad de parcelas. El transporte de las uvas cosechadas se realizó en cajas plásticas de 350 kg de capacidad.

Dada la diferencia de comportamiento entre clones de una misma variedad, se decidió utilizar material vegetal de selección masal. Si bien no hay un número exacto sobre la cantidad de selección masal cultivada y clonal en la provincia de Mendoza, un número interno dentro de la bodega Catena Zapata estima que aproximadamente el 80% de los Malbec son selecciones masales. Para un estudio de terroir que permita entender la situación actual de cada indicación geográfica, tener todas las parcelas con selección clonal puede no ser lo más representativa para la vitivinicultura argentina actual, y una manera de entender el comportamiento de cada región, fue sumar mayor cantidad de parcelas dentro de cada indicación geográfica.

Igualmente, la mayoría de las parcelas utilizadas en el estudio son de viñedos de la Bodega Catena Zapata, donde el material usado es de dos orígenes, el viñedo Angélica ubicado en Lunlunta, Maipú (Parcela incluida en el estudio) plantado en 1922, y un viñedo antiguo llamado “Rosas” que estaba ubicado en La Consulta, departamento de San Carlos.

Otros criterios de selección para las parcelas fueron: la existencia de un suelo homogéneo dentro de cada parcela, plantaciones a pie franco de más de 5 años, similar densidad de plantación y manejo del viñedo utilizando similares prácticas culturales de control de malezas, poda y riego. El estudio se llevó a cabo en las cosechas de 2016, 2017 y 2018 (Ver Cuadro 2.1).

2.2. Protocolo de vinificación y análisis enológicos básicos de mostos y vinos

2.2.1. Vinificación

La vinificación se llevó a cabo en la bodega piloto del Catena Institute of Wine de la Bodega Catena Zapata, ubicada en Agrelo, Luján de Cuyo, Mendoza, utilizando recipientes de 800 litros en duplicado y triplicado para cada parcela (Cuadro 2.1). Tres de las 30 parcelas fueron vinificadas solamente en duplicado debido al tamaño reducido de las mismas. Las uvas fueron despalilladas y las uvas resultantes fueron transferidos a recipientes de plástico de 800 L para la fermentación. En el momento de la incubación,

se agregaron 50 mg/L de SO₂ (Enartis América Latina, Mendoza, Argentina). Después de 24 horas, se inocularon en los recipientes de fermentación 20 g/hL de levadura seca activa Lavin EC-1118 (Lallemand Inc., Montréal, QC, Canadá). Un día después de la inoculación, se agregaron 100 mg/L de (NH₄)₃PO₄ como fuente de nitrógeno para la levadura. La temperatura de fermentación fue de 25 ± 2 °C y cada 12 h se monitoreó la densidad (°Brix) y la temperatura. Los trabajos de extracción se detallan en el Cuadro 2.2. Al ser vinificaciones en pequeños recipientes, no se realizan remontajes con bombas como habitualmente ocurre en bodegas, en estos volúmenes se utiliza “punch-down”. Punch-down es un trabajo manual que consiste en homogeneizar el sombrero sólido formado por las pieles de las uvas con el líquido. Dada la liberación del CO₂ por la fermentación alcohólica, todos los sólidos se encuentran en la parte superior de las vasijas y para lograr una adecuada extracción de los compuestos que se encuentran en la piel es necesario realizar movimientos que permitan dicha extracción. Dado que durante la maceración el contenido de alcohol es distinto al comienzo y al final, la cantidad de punch-down va cambiando para lograr una extracción orientada a vinos de alta calidad. En el caso de realizar movimientos de extracción con mayor frecuencia al final de la fermentación, donde el contenido de alcohol es mayor, se podrían extraer CPs que aporten astringencia y amargor que pueden ser perjudicial para la calidad del producto final.

Cuadro 2.1. Información de las parcelas seleccionadas en las regiones de Valle de Uco, Primera zona y zona este de la provincia de Mendoza.

Ubicación			Parcelas	Año de plantación	Orientación viñedo	Latitud	Longitud	Elevación (m)	Añadas y fechas de cosecha			
Zonas	Departamentos	IGs							2016	2017	2018	
Primera Zona	Luján de Cuyo	Agrelo	Luj-Agr-LP-1-80	2006	N-S	33° 9'58.02"S	68°54'53.35"W	959	5-abr	6-mar	12-mar	
			Luj-Agr-LP-4	1996	N-S	33° 9'59.04"S	68°54'27.51"W	954	14-abr	8-mar	12-mar	
		Luj-Ug-FO-1	2008	N-S	33°16'11.98"S	68°58'28.41"W	1051	17-mar	16-mar	26-mar		
		Luj-Ug-OT-1	2000	N-S	33°17'26.0"S	68°55'11.30"W	952		17-mar			
		Luj-Ug-ZA-1	2001	N-S	33°11'38.22"S	68°57'21.67"W	981	17-mar	31-mar	28-mar		
		Luj-Ug-VR-1	2011	N-S	33°16'6.46"S	68°53'23.33"W	910	14-mar	2-mar			
		Carrizal	Luj-Carr-LU-1	2008	*	33°12'21.56"S	68°40'38.20"W	737		8-mar		
		Maipú	Lunlunta	Mai-Lu-AG-18	1922	N-S	33° 2'58.31"S	68°50'54.22"W	928	23-mar	14-mar	20-mar
				Mai-Lu-AG-20	1922	N-S	33° 3'6.35"S	68°50'38.90"W	929	24-mar	15-mar	21-mar
	Zona Este	Rivadavia	El Mirador	Riv-Mir-LV-4	2001	*	33°18'30.24"S	68°19'25.15"W	635	18-mar	8-mar	21-mar
La Libertad			Riv-Lib-LL-1	1921	N-S	33°13'15.03"S	68°30'10.64"W	671	28-mar	14-mar	22-mar	
Rivadavia			Riv-Riv-LA-1	2003	N-S	33°11'19.88"S	68°29'48.59"W	671	22-mar	10-mar	22-mar	
Valle de Uco		La Consulta	San-Cons-RO-1	1960	N-S	33°42'53.25"S	69° 6'43.52"W	998			6-abr	
			San-Cons-PE-1	2005	N-A	33°45'16.03"S	69° 3'25.56"W	961	7-abr			
			San-Alt-TR-1	2005	N-S	33°45'48.43"S	69° 9'16.60"W	1073		24-mar	4-mar	
		San Carlos	Altamira	San-Alt-NI-1-Pi	2000	N-S	33°45'22.92"S	69°10'40.91"W	1100	6-abr	22-mar	12-mar
				San-Alt-NI-1-Pr	2000	N-S	33°45'25.96"S	69°10'34.54"W	1100	7-abr	23-mar	12-mar
				San-Alt-NI-2-Pr	2000	N-S	33°45'20.10"S	69°10'38.89"W	1100	12-abr	24-mar	14-mar
		El Cepillo	San-Cep-EB-3	2005	N-S	33°48'39.39"S	69° 10'7.95"W	1079	30-abr	17-mar	16-mar	
			San-Cep-EC-5	2010	N-S	33°50'21.35"S	69°11'44.80"W	1104	28-mar	20-mar	12-mar	
			Tunuyán	Chacayes	Tun-Ch-MU-3	2005	N-S	33°36'46.67"S	69°11'39.55"W	1006	13-abr	22-mar

	Los Arboles	Tun-AI-BV-5	2005	N-S	33°32'37.22"S	69°14'29.37"W	1130	11-abr	22-mar	22-mar
		Tun-AI-CC-1	2002	N-S	33°32'16.33"S	69°14'45.98"W	1138	11-abr	22-mar	22-mar
		Tup-Gy-AD-3-MBT	1998	N-S	33°23'56.47"S	69°15'34.29"W	1384	21-abr	27-mar	23-mar
		Tup-Gy-AD-6-Pi	1999	N-S	33°23'37.26"S	69°14'59.06"W	1349	13-abr	13-mar	14-mar
Tupungato	Gualtallary	Tup-Gy-AD-6-Pr	1999	N-S	33°23'42.29"S	69°14'58.62"W	1350	15-abr	28-mar	22-mar
		Tup-Gy-AD-7	1999	N-S	33°23'48.65"S	69°14'57.03"W	1346	6-abr	24-mar	13-mar
		Tup-Gy-AD-9	1999	N-S	33°23'43.28"S	69°14'50.31"W	1340	15-abr	24-mar	22-mar
		Tup-Gy-GA-3	2011	N-S	33°24'3.40"S	69°18'7.25"W	1510	20-abr	3-abr	28-mar
	San José	Tup-SJ-JM-1	2007	N-S	33°18'59.23"S	69°10'5.37"W	1240	15-abr	22-mar	27-mar

* Sistema de conducción pérgola

Después de la fermentación alcohólica y 10 días de maceración, se retiraron 50 L de vino escurrido de cada vinificación. Después de 5 días de guarda en tanques de acero inoxidable, se inoculó 1 g/L de bacterias seleccionadas Lavin VP41 (Lallemand Inc., Montréal, Canadá) para llevar a cabo la fermentación maloláctica, que se consideró completa cuando el contenido de ácido málico fue inferior a 0,2 g/L, según la evaluación de OenoFoss (FOSS Analytical A/S, Hillerød, Dinamarca).

Cuadro 2.2. Régimen de movimientos de extracción durante la maceración

Etapa de fermentación	Trabajo de extracción
6 horas después de siembra hasta formación de sombrero	2 punch-down suaves
Formación sombrero hasta 10 °Brix	3 Punch-down
10 °Brix hasta 3 °Brix	2 Punch-down
3 °Brix hasta 0 °Brix	2 Jarra + CO ₂ en forma de hielo seco
0 °Brix hasta finalización de fermentación alcohólica o 10 días de maceración (lo que ocurra primero).	Agregado de hielo seco en espacio de cabeza

Después de que finalizara la fermentación maloláctica, se realizó un trasiego para eliminar las lías gruesas. A continuación, se añadió SO₂ en forma de K₂S₂O₅ (Laffort Oenologie, Francia) a una concentración final de 35 mg/L de SO₂ libre. Para mantener la estabilidad microbiológica (evitar desviaciones en la fermentación maloláctica y aumento de la acidez volátil), se controló el pH durante la vinificación. El criterio era mantener el pH por debajo de 3,79. Cuando un vino tenía un pH igual o mayor a 3,79, se corregía utilizando ácido tartárico (Derivados vnicos, Mendoza) hasta llegar a 3,72. Los vinos se almacenaron durante tres meses en tanques de acero inoxidable de 50 L a una temperatura de 13-15 °C. Finalmente, se fraccionaron y almacenaron 48 botellas de vidrio verde (volumen de 750 mL) de cada repetición (tres por parcela) a una temperatura de 15 °C hasta su análisis. Se utilizaron tapones de rosca

de estaño en lugar de corcho natural para evitar posibles contaminaciones con tricloroanisoles o una incorporación variable de oxígeno.

2.2.2. *Análisis de mostos y vinos*

Respecto a los parámetros de mosto, los análisis iniciales se realizaron el mismo día de la cosecha y antes del ingreso de las uvas a las vasijas. El objetivo de realizar estas mediciones son parte del control de la fermentación y el proceso, para mantener las condiciones estandarizadas en la bodega. Se trituraron a mano aproximadamente 100 bayas y luego se utilizó el jugo para determinar los parámetros químicos. La concentración de azúcares (°Brix) se midió en el jugo con un refractómetro digital Pen-Harvest (Atago Co., Ltd., Tokio, Japón). La acidez total, expresada en g/L de ácido tartárico, se midió mediante la titulación de muestras de jugo (10 mL) con NaOH 0,1 N hasta alcanzar un valor de pH final de 8,2. El valor de pH se midió en el jugo utilizando un medidor de pH portátil marca Hach sensIONtm+ pH1 con zona T5050. Los parámetros estándar del vino, incluyendo alcohol, acidez total, pH, acidez volátil y azúcar reductor, se analizaron mediante el método FTIR utilizando WineScan (FOSS, Hillerød, Dinamarca). La absorbancia a 280, 420 y 520 nm se determinó un mes después del embotellado utilizando un espectrofotómetro UV-VIS Cary-50 (Varian Inc., Mulgrave, Australia). La intensidad y tonalidad del color del vino se calcularon sumando la absorbancia a 420 y 520 nm y calculando la relación entre la absorbancia a 420 y 520 nm, respectivamente, utilizando celdas de cuarzo con una longitud de trayectoria de 1 mm.

2.3. *TerraClimate*

Los datos de elevación (en m s.n.m), GDD (acumulación de grados días promedio) y precipitación (lluvia, en mm) para cada parcela se obtuvieron de la base de datos del Catena Institute of Wine, el Departamento de Agricultura y Contingencias Climáticas de Mendoza y WorldClim 2.1 (Fick & Hijmans, 2017; Harris et al., 2014) desde octubre hasta la fecha de la cosecha de cada parcela. Los GDD se calcularon utilizando promedios diarios (en °C) para los períodos dados y utilizando una base de 10°C (Jones et al., 2010), mientras que la precipitación se calculó como la suma de la lluvia diaria para los períodos dados. Para la visualización de las distintas regiones estudiadas y su clasificación por índice de Winkler se calculó el promedio de GDD desde 1958 hasta 2019 con una resolución temporal mensual y una resolución espacial

de ~ 4 km (1/24° grado). Los mapas se generaron usando QGIS.org, 2021. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org> y ArcGIS 10.8; www.esri.com.

2.4. Perfil de compuestos fenólicos

Los análisis químicos en vinos se llevaron a cabo en Instituto de Biología Agrícola de Mendoza (IBAM-CONICET-UNCuyo), donde se realizaron mediciones de perfil de compuestos fenólicos (CPs).

Los estándares utilizados en el método incluyeron ácido gálico (99%), 3-hidroxitirosol ($\geq 99,5\%$), (-)-galocatequina ($\geq 98\%$), (+)-catequina ($\geq 99\%$), (-)-epicatequina ($\geq 95\%$), dihidroquercetina 3-rhamnoside (astilbina) ($\geq 98\%$), ácido cafeico (99%), ácido siríngico ($\geq 95\%$), ácido p-cumárico (99%), ácido ferúlico ($\geq 99\%$), trans-piceid ($\geq 95\%$), trans-resveratrol ($\geq 99\%$), quercetina hidrato (95%), quercetina 3- β -D-glucósido ($\geq 90\%$) y malvidina-3-O-glucósido cloruro ($\geq 95\%$), los cuales fueron adquiridos de Sigma-Aldrich (Steinheim, Germany). El estándar de 2-(4-hidroxifenil) etanol (tirosol) ($\geq 99,5\%$) se obtuvo de Fluka (Buchs, Suiza). Acetonitrilo (MeCN), metanol (MeOH) y ácido fórmico (FA) de grado HPLC fueron adquiridos de Mallinckrodt Baker Inc. (Pittsburgh, NJ, EE. UU.). Los sorbentes de grado analítico (tamaño de partícula de 50 μ m) para la extracción en fase sólida dispersiva (d-SPE), incluyendo amina primaria-secundaria (PSA) y octadecilsilano (C₁₈), fueron obtenidos de Waters (Milford, MA, EE. UU.). Cloruro de sodio (NaCl), sulfato de magnesio anhidro (MgSO₄) y cloruro de calcio anhidro (CaCl₂) de grado reactivo fueron comprados en Sigma-Aldrich. El agua ultrapura fue obtenida de un sistema Milli-Q (Millipore, Billerica, MA, EE. UU.). Las soluciones patrón individuales de los compuestos se prepararon en MeOH a concentraciones que variaron de 400 a 2000 mg/L. Diluciones adicionales se prepararon mensualmente en MeOH y se almacenaron en frascos de vidrio color ámbar a -20°C. Los estándares de calibración utilizados durante la optimización de las condiciones HPLC-DAD se disolvieron en la fase móvil inicial del método cromatográfico compuesta por agua ultrapura (0,1% FA) y MeCN (95:5).

2.4.1. Determinación de CPs por HPLC-DAD

La determinación de los CPs se realizó utilizando un sistema HPLC-DAD (Dionex Softron GmbH, Thermo Fisher Scientific Inc., Germering, Alemania). El

instrumento utilizado fue un Dionex Ultimate 3000 con unidad de desgasificación por vacío, autosampler, bomba cuaternaria y horno cromatográfico. Se utilizó un detector Dionex DAD-3000 (RS) con una celda de flujo analítica, que operaba a una frecuencia de recolección de datos de 5 Hz, un ancho de banda de 4 nm y un tiempo de respuesta de 1000 s. Las longitudes de onda utilizadas para la cuantificación de las diferentes familias de CPs de bajo peso molecular (LMW-CPs, por sus siglas en inglés) fueron 254 nm ((-)-galocatequina y quercetina 3- β -D-glucósido), 280 nm (ácido gálico, ácido siríngico, tirosol, hidroxitirosol, (+)-catequina, (-)-epicatequina y astilbina), 320 nm (ácido cafeico, ácido siríngico, ácido *p*-cumárico, ácido ferúlico, trans-piceido y *trans*-resveratrol) y 370 nm (quercetina). La identificación de PCs en las muestras se basó en la comparación de los tiempos de retención (tR) y espectros de absorción de los analitos en estudio en las muestras con los de los estándares puros. La validación de la metodología analítica también incluyó la adición con concentraciones conocidas de estándares a algunas muestras de vino para garantizar la cuantificación e identificación correctas (Fontana et al., 2016). Para los antocianos, se utilizó una longitud de onda de 520 nm. Los parámetros de adquisición del sistema HPLC-DAD y el procesamiento de los datos se realizaron mediante el Chromeleon 7.1.

2.4.1.1. Antocianos

La determinación de los antocianos se realizó de acuerdo con una metodología previa (Fontana et al., 2017), con modificaciones menores. Una alícuota de 500 μ L de vino se evaporó hasta sequedad en un evaporador centrífugo y se disolvió con 500 μ L de la fase móvil inicial del método HPLC de antocianinas. Las diferentes antocianinas se separaron en una columna Kinetex C₁₈ de fase reversa (3,0 mm x 100 mm, 2,6 μ m) de Phenomenex (Torrance, CA, EE. UU.). La fase móvil consistió en H₂O ultrapura:FA:MeCN (87:10:3, v/v/v; eluyente A) y H₂O ultrapura:FA:MeCN (40:10:50, v/v/v; eluyente B) con el siguiente gradiente: 0 min, 10% B; 0-6 min, 25% B; 6-10 min, 31% B; 10-11 min, 40% B; 11-14 min, 50% B; 14-15 min, 100% B; 15-17 min, 10% B; 17-21 min, 10% B. El flujo de la fase móvil fue de 1 mL min⁻¹, la temperatura de la columna fue de 25°C y el volumen de inyección fue de 5 μ L.

La cuantificación se realizó midiendo el área del pico a 520 nm y el contenido de cada antociano se expresó como equivalentes de malvidina-3-glucósido utilizando una curva de calibración externa (1-250 mg/L, coeficiente de determinación $r^2=0,997$). La identidad de los compuestos de antocianos detectados se confirmó mediante la

comparación del perfil de elución y la identificación de los analitos logrados en investigaciones anteriores del grupo (Antoniolli et al., 2015).

2.4.1.2.LMW-CPs

Los compuestos fueron extraídos de acuerdo con un protocolo de preparación de muestras previamente publicado con modificaciones menores (Fontana et al., 2017). En resumen, se colocaron 5 mL de vino en un tubo de centrifugación de PTFE de 15 mL y se acidificaron con FA (1%). Luego, se añadieron 2,5 mL de MeCN y el tubo se agitó manualmente durante 30 s. La separación de fases se logró mediante la adición de 1,5 g de NaCl y 4 g de MgSO₄. Los tubos se agitaron manualmente durante 1 min y se centrifugaron durante 10 min a 8000 rpm (6450 rcf). A continuación, se transfirió una alícuota de 1 mL de la fase superior de MeCN a un tubo de 2 mL que contenía 150 mg de CaCl₂, 50 mg de PSA y 50 mg de C₁₈ para la etapa de limpieza de extractos mediante extracción dispersiva en fase sólida (d-SPE). La mezcla se agitó vigorosamente durante 30 s y se centrifugó durante 2 min a 12000 rpm (8400 rcf). Por último, una alícuota de 500 µL del extracto se evaporó hasta sequedad bajo un flujo suave de N₂, el residuo se reconstituyó con 500 µL de la fase móvil inicial del método cromatográfico y se analizó mediante HPLC-DAD.

Las separaciones cromatográficas se llevaron a cabo en la misma columna utilizada para el análisis de antocianos. Las fases móviles consistieron en agua ultrapura con 0.1% de FA (eluyente A) y MeCN (eluyente B). La separación de los analitos se realizó utilizando el siguiente gradiente: 0-1,7 min, 5% B; 1,7-10 min, 30% B; 10-13,5 min, 95% B; 13,5-15 min, 95% B; 15-16 min, 5% B; 16-19 min, 5% B. El flujo de la fase móvil fue de 0.8 mL min⁻¹. La temperatura de la columna fue de 35°C y el volumen de inyección de 5 µL. Los LMW-CPs presentes en las muestras se cuantificaron utilizando calibración externa con estándares puros. Se obtuvieron rangos lineales entre 0,25 y 40 mg/L con r² superior a 0,998 para todos los compuestos estudiados.

2.5.Análisis sensorial descriptivo

La caracterización sensorial (AD) se realizó a través de análisis descriptivo cuantitativo según las siguientes etapas: 1. Selección de un grupo de individuos según sus capacidades sensoriales; 2. Entrenamiento general de panel; 3. Determinación de los atributos sensoriales a evaluar y su definición 4. Realización de un entrenamiento

específico en el vino en estudio del grupo de individuos seleccionados; 5. Determinación del perfil sensorial de las muestras.

Para el entrenamiento del panel, se utilizaron los vinos del proyecto. Para la familiarización de los evaluadores con cada descriptor seleccionado, se utilizaron estándares aromáticos en concentraciones similares a las encontradas en vinos. En los casos en que el aroma respondiera a un conjunto de compuestos, o que los estándares no sean similares a los aromas encontrados en los vinos, se usó el producto natural. Un ejemplo claro es el aroma a “frutos rojos”, el cual responde a un grupo de frutas (frutilla, cereza y frambuesa) y no a un compuesto específico.

El AD de los vinos de cada año de estudio se llevó a cabo en distintos laboratorios. Para el primer año de estudio del proyecto, el AD se realizó en el laboratorio de análisis sensorial de Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA-UBA). El segundo año de estudio se realizó en el “RMI Sensory Lab” de la Universidad de Davis-California, Estados Unidos. En el último año de estudio, la evaluación se realizó en el laboratorio de análisis sensorial del INTA Mendoza. Al tratarse de un análisis sensorial descriptivo con panel entrenado, cada estándar de aromas, sabores y sensaciones táctiles son documentados y registrados para asegurar su reproducibilidad, independientemente del laboratorio donde se realice la medición.

Las características sensoriales de los vinos se analizaron 6 meses después del embotellado. Todas las réplicas de cada parcela fueron degustadas previamente por enólogos de la Bodega Catena Zapata para determinar si algún vino tenía defectos (reducción, acidez volátil elevada, oxidación o etilfenoles). Con esos resultados se seleccionaron réplicas al azar que luego formaron parte de las degustaciones. En el caso de los tres años de estudio, ninguna réplica de cada parcela mostró defectos sensoriales previo al análisis sensorial descriptivo.

2.5.1. Procedimiento experimental

En los tres paneles los entrenamientos fueron llevados a cabo con el mismo procedimiento. Este consistió en la realización de al menos 9 sesiones de una hora durante aproximadamente tres semanas (Cuadro 2.3). Todos los vinos utilizados en la capacitación fueron un subconjunto de los vinos utilizados en el estudio. Los vinos utilizados para el DA fueron preseleccionados por un grupo de tres a 5 catadores experimentados al probar los vinos a ciegas, tomar notas y discutir los atributos de todos los vinos juntos después de la cata. Este grupo discutió qué vinos eran los más

diferentes y qué subconjunto usar como vinos de entrenamiento para representar mejor el espectro completo de atributos para todo el conjunto de vinos Malbec. Luego, los jueces fueron capacitados con vinos que se consideraron marcadamente diferentes en las primeras sesiones de capacitación y vinos que fueron sutilmente diferentes en sesiones de capacitación posteriores. El proceso de selección de vinos de capacitación no fue revelado a los jueces. Los vinos de capacitación se presentaron en copas transparentes etiquetados numéricamente para que los jueces fueran instruidos a oler y probar. Los vinos se cubrieron con placas de petri de plástico. Se proporcionaron galletas saladas y agua para limpiar el paladar durante todas las sesiones.

Los términos generados por los jueces al oler y probar los vinos fueron anotados por el líder del panel. La frecuencia de cada término generado se registró y se reveló a los jueces para ayudar en el paso de consolidación de términos.

Cuadro 2.3. Procedimientos de entrenamiento del panel de cata de Malbec.

N° Sesión	Detalle
	Objetivos del proyecto Malbec.
1	<p data-bbox="512 1151 1350 1182">Introducción a los conceptos básicos de DA y lo que se requiere de los jueces.</p> <p data-bbox="619 1200 1241 1232">Instrucciones sobre la técnica: cómo oler y probar el vino.</p> <p data-bbox="523 1245 1334 1276">Generación de términos utilizando 5 vinos (Vinos con grandes diferencias).</p> <p data-bbox="683 1290 1174 1321">Discusión sobre los descriptores en el tablero.</p> <p data-bbox="730 1335 1126 1366">Se sirven algunos bocadillos al final.</p> <p data-bbox="730 1379 1126 1411">Revisión: cómo oler y probar el vino</p>
2	<p data-bbox="671 1429 1190 1460">Introducción a los posibles estándares de aroma</p> <p data-bbox="683 1473 1179 1505">Introducción de estándares de gusto y paladar.</p> <p data-bbox="459 1518 1401 1550">Agrupamiento de términos / consolidación de términos iniciales por consenso de grupo.</p> <p data-bbox="523 1563 1334 1594">Generación de términos utilizando 5 vinos (Vinos con grandes diferencias).</p> <p data-bbox="523 1608 1334 1639">Generación de términos utilizando 5 vinos (vinos con una diferencia menor).</p>
3	<p data-bbox="715 1659 1145 1691">Revise los posibles estándares de aroma</p> <p data-bbox="459 1704 1401 1736">Agrupamiento de términos / consolidación de términos iniciales por consenso de grupo.</p> <p data-bbox="740 1749 1120 1780">Revisión de los estándares en boca.</p> <p data-bbox="517 1794 1343 1825">Generación de términos utilizando 6 vinos (vinos con una diferencia menor).</p>
4	<p data-bbox="715 1839 1145 1870">Revise los posibles estándares de aroma</p> <p data-bbox="459 1883 1401 1915">Agrupamiento de términos / consolidación de términos iniciales por consenso de grupo.</p> <p data-bbox="735 1928 1125 1960">Revisión de los estándares de sabor.</p> <p data-bbox="683 1973 1177 2004">Primera reducción de descriptores aromáticos.</p>

	Generación de términos utilizando 6 vinos (vinos con una diferencia menor).
5	Agrupamiento de términos / consolidación de términos iniciales por consenso de grupo. Revisión de los estándares de sabor y paladar. Reducción de descriptores.
6	Habiendo definido los estándares, se realiza el entrenamiento con estándares de aroma y boca. Chequeo a ciegas y discusión de intensidades.
7	Finalización de los estándares de boca. Evaluación del panel con estándares de aroma, sabor y sensación en la boca.
8	Evaluación de 4 vinos utilizando la lista de atributos consolidados y revisión de estándares si fue necesario. Acercamiento con el software de recopilación de datos.
9	Evaluación de 4 vinos utilizando la lista de atributos consolidados y revisión de los estándares en caso de es necesario. Uso de software de recopilación de datos
16 a 18	Evaluación a ciegas de los vinos del proyecto a un total de 6 vinos por sesión.

Los jueces de la añada 2016 consensuaron 16 atributos finales, incluidos 11 descriptores de aroma, dos de sabor y sensación en la boca (Cuadro 2.4). Los jueces de la añada 2017 consensuaron en 31 atributos finales, incluidos 23 descriptores de aroma, 4 de sabor y 4 de sensación en la boca (Cuadro 2.5). Los jueces de la añada 2018 consensuaron en 28 atributos finales, incluidos 20 descriptores de aroma, 4 de sabor y 4 de sensación en la boca (Cuadro 2.6). Los estándares de entrenamiento de sabor y sensación en la boca se realizaron un día antes de cada evaluación. Estos estándares de sabor y sensación en boca (15 mL) se etiquetaron con el nombre del descriptor y se presentaron en vasos de plástico transparente con tapa. Se instruyó a los jueces para que se llevaran todo el volumen a la boca de una sola vez. Los estándares de referencia de aromas (Cuadro 2.4, Cuadro 2.5 y Cuadro 2.6) se olieron a ciegas (presentados en vasos negros sin etiquetar) y cada panelista los calificó en una escala incremental de cero a nueve, con 0 correspondiente a "coincide exactamente con su concepto" y 9 correspondiente a "no coincida en absoluto con su concepto de este aroma". Los estándares de aroma se ajustaron según lo solicitado por el consenso del panel y en función de las puntuaciones de los jueces.

Los vinos 2016 fueron evaluado por 8 voluntarios (dos hombres y seis mujeres) entre 25 y 66 años, los vinos 2017 fueron evaluados por 10 voluntarios (tres hombres y siete mujeres) entre 21 y 55 años y los vinos 2018 fueron evaluados por 14 voluntarios (cinco hombres y nueve mujeres) entre 24 y 59 años. Los jueces fueron seleccionados en base a disponibilidad, motivación y experiencia previa en paneles sensoriales descriptivos.

Los jueces evaluaron 27 y 28 parcelas de vinos Malbec por triplicado en 15 sesiones, lo que equivale a 6-7 vinos por sesión presentados en un diseño de bloques al azar. Antes de cada sesión de evaluación, los estándares de referencia estaban disponibles para refrescar la memoria.

Cada sesión de evaluación se realizó en cabinas individuales. Cada muestra tenía 30 mL de vino a temperatura de 20 °C en copas negras de degustación (ISO 3591-1977) cubiertas con tapas de plástico. Cada muestra se codificó con números aleatorios de tres dígitos. Para cada uno de los descriptores, los jueces calificaron la intensidad en una escala lineal no estructurada anclada con los términos "bajo" y "alto" en cada extremo de la escala. Se incluyó un descanso de 60 segundos entre cada muestra, donde el panelista limpiaba el paladar con agua y galletas sin sal.

El orden de presentación de las muestras fue aleatorio utilizando un diseño Williams Latin Square modificado. Los datos del panel 2016 fueron recolectados en planillas impresas y luego la adquisición de datos fue de forma manual. Para la adquisición de datos del panel 2017 se usó el software FIZZ (ver. 2.51G; Biosystemes, Couternon, Francia) y para el panel 2018 se usó el software SOLDESA (Rodríguez et al., 2014).

Cuadro 2.4. Composición de los patrones de referencia sensorial utilizados para definir los atributos de aroma, sensaciones táctiles y sabores en vinos de la cosecha 2016.

Atributos	Composición / Ingredientes
<i>Aromas</i>	
Ciruela	10 g de ciruela fresca + 1 cucharadita de mermelada de ciruela / Productos de Argentina, distribuido por Carrefour Argentina.
Chocolate	2 g de chocolate negro rallado / Águila, 60% cacao. Producto de Argentina.
Terroso	4 g de tierra para macetas en 5 mL de agua.
Frutos rojos	1 g de frutillas frescas + 5 g de cerezas frescas en trocitos pequeños / Producto de Argentina, distribuido por Carrefour Argentina.
Rosas	1 mL de agua de rosas / Laboratorio Laborit. Producto de Argentina.
Pasas de uva	3 g de pasas de uva negras / Producto de Argentina, distribuido por Carrefour Argentina.
Arándanos	6 arándanos en rodajas / Producto de Argentina, distribuido por Carrefour Argentina.
Higos	5 g de higos secos / Producto de Argentina, distribuido por Carrefour Argentina.
Pimienta negra	0,1 g de pimienta negra molida en 10 mL de agua / Pimienta negra Pepe Nero. Producto de Italia

Herbáceo	1 mL de agua de cocción de espárragos + 2 g de pimientos verdes frescos picados / Producto de Argentina, distribuido por Carrefour Argentina.
Tabaco	2,3 g de tabaco cigarrillo Marlboro (Producto de Argentina, Distribuido por Massalin Particulares SRL, Bs.As).

Sabores/Sensación táctil en boca

Cálido	15 % v/v de EtOH / Vodka Absolut (Suecia)
Astringencia	0,93 g/L de alum en agua (sulfato de aluminio y amonio) / Anedra Research AG S.A (Producto de Argentina)
Amargo	0,2 g/L de cafeína en agua / Merck (Darmstadt, Alemania)
Dulce	2 g/L de sacarosa en agua / Azúcar de Caña Chango Puro blanco granulado (Producto de Salta, Argentina).
Ácido	1 g/L de ácido tartárico en agua / (L-(+)-ácido tartárico) Derivados vínicos (Mendoza, Argentina).

Cuadro 2.5. Composición de los patrones de referencia sensorial utilizados para definir los atributos de aroma, sensaciones táctiles y sabores en vinos de la cosecha 2017.

Atributos	Composición / Ingredientes
<i>Aromas</i>	
Bayas	3 arándanos + 3 g de mora en trozos pequeños + 3 g de frambuesa en trozos pequeños / Arándanos de Best Byet frozen mixed berry medley (Distribuido por C & S wholesale Grocers, INC). Moras congeladas de Best Byet (Producto de México, Distribuido por C & S mayorista Grocers, INC). Frambuesas congeladas de Best Byst (Producto de Serbia, Distribuido por C & S mayorista Grocers, INC).
Frutillas	10 g frutillas fresca en trocitos / Frutillas enteras congeladas de Best Best (Producto de México, Distribuido por C&S mayorista Grocers, INC).
Chocolate	4 g de chocolate negro rallado al 75 % / Artisana Organics Venezuelan Cacao criollo (Producto de Venezuela, distribuido por Premier Organics, Oakland, CA)
Cítrico	Aceite de pomelo rosado 4 gotas + aceite de limón 2 gotas + 15 mL de agua / Pomelo rosado 100 % aceite esencial puro de cítricos paradisi (elaborado por Nugget Markets, Woodland, CA). Limón Aceite esencial 100 % puro de limonum cítrico (elaborado por Nugget Markets, Woodland, CA).
Ciruela	Mitad de ciruela pasa sin carozo / Sunsweet Amazin ciruelas pasas sin carozo (Producto de EE. UU.).

Eucalipto	10 mL de solución de 4 gotas de aceite de eucalipto en 200 mL de agua + 40 ml base Vino / Aura Cacia aceite esencial puro Eucalyptus radiata (Distribuido por Frontier Natural Products CO-OP). Vino base Franzia Merlot (Importado por Viña Franzia, Ripon, CA. Producto de Chile)
Césped	2 g de césped fresco en trozos pequeños
Uva	10 g de uvas dulces negras en trozos pequeños / Dole (Westlake Village, CA)
Cálido	25 mL Vodka 15 %V/V (9 mL + 16 ml de H2O) / Vodka extra suave Seagram's (Lawrenceburg, IN)
Frutos secos	2 almendras + 1 g de nuez + 2 maní sin sal / Almendras crudas, nuez Trader Joe's (Producto de USA). Trozos para hornear de nuez de california cruda Trader Joe's (Producto de EE. UU.). Maní tostado sin sal Trader Joe's (Producto de USA).
Fruta artificial	40 mL Agua vitaminada XXX acai-arándano-granada.
Espicias para hornear (Baking Spices)	0,1 g canela molida + 1 clavo + 0,3 g nuez moscada / Canela molida Trader Joe's (Monrovia, CA). Clavos enteros McCormick & CO, INC (Envasados en EE. UU.). Nuez moscada molida McCormick & CO, INC (Embalado en EE. UU.).
Pimienta	1/4 cucharadita de pimienta negra molida gruesa + 40 ml de agua / Kirkland Signature (distribuido por Costco Wholesale Corporation).
Cerezas	10 gr de cerezas dulces oscuras en trozos pequeños. Dole (Westlake Village, CA).
Vegetal	1,5 g de espárragos en conserva + 1,5 g de judías verdes en conserva
Roble	35 mL roble frances M+T (15 g/400 mL de agua por 4 hs) / Innerstave (Sonoma, CA).
Leñoso	5,5 gr de chips de árboles + 1 trozo de madera de cedro + 20 mL de agua / Bolas de cedro (Cedar Fresh, producto de USA)
Humo	4 gotas de humo líquido en 50 mL H2O / Colguin (Dallas, TX)
Green Apple	10 gr de manzana verde en trocitos pequeños / Daisy Girl organics (Producto de USA)
Cuero	6 piezas de cuero de 3 cm + 5 mL de agua / Kiwi outdoor Johnson company
Medicinal	5 mL de jarabe para la tos con sabor a cereza/jarabe triamínico (distribuido por GSK Consumer Healthcare, Warren, NJ)
Tabaco	0,1 gr de tabaco / Stave-Aged Virginia 35 Ribbon pipe tabacco (Fabricado por McClelland Tobacco Company, Kansas, Missouri, USA).
Floral	2 gotas de aceite de Rosa + 40 mL H2O / Aura Cacia puro esencial de Rosa fortificante en aceite de jojoba (Distribuido por Frontier Natural Products CO-OP).
<i>Sabores/Sensación táctil en boca</i>	
Dulce	15 g/L de sacarosa en agua / C&H (Crockett, CA) Pure Cane Sugar granulada blanca

Salado	2 g/L de sal en agua / (Curso Kosher Salt) Morton Salt (Chicago, IL)
Amargo	1,5 g/L de cafeína en 1000 ml de agua / (USP/FCC) Fisher Scientific (Fair Lawn, NJ)
Ácido	3 g/L de ácido tartárico en agua / (ácido L-(+)-tartárico) Fisher Scientific (Fair Lawn, NJ)
Picante	1 g/L de pimienta de Cayena en agua / McCormick gourmet (Hunt Valley, MD)
Astringente	1 g/L de alum en agua (sulfato de aluminio y amonio) / McCormick (Hunt Valley, MD)
Viscoso	4 g/L de CMC en agua / (sal sódica de carboximetilcelulosa, viscosidad media, USP) Sigma-Aldrich (St. Luis, MO)
Cálido	15 % V/V de EtOH / Vodka extrasuave de Seagram (Lawrenceburg, IN)

Cuadro 2.6. Composición de los patrones de referencia sensorial utilizados para definir los atributos de aroma, sensaciones táctiles y sabores en vinos de la cosecha 2018.

Atributos	Composición / Ingredientes
<i>Aromas</i>	
Vainilla artificial	3 gotas de vainilla artificial en 40 mL de agua / Vainilla Alicante 100 mL (Producto de Argentina).
Banana	15 g banana en pequeños trozos.
Especiado	0,5 g de pimienta blanca molida + 0,5 g de pimienta negra molida + 4 granos de pimienta Jamaica / Pimienta blanca molida y pimienta negra molida marca Alicante (Producto de Argentina). Pimienta Jamaica obtenido en Mercado Central de Mendoza.
Mermelada	1 cuchara de mermeladas mixta / Mermelada Dulcor (Producto de Argentina).
Chocolate	7 g de chocolate (2 cuadritos) / Aguila, 42% cacao (Producto de Argentina).
Pimiento verde	5 g de pimiento verde en pequeñas partes
Círuela seca	5 g de círuela seca sin carozo d'agen / Carrefour Argentina (Producto de Argentina).
Tierra	5 g de turba para macetas / Tierra Fértil Abonada Negra Arhumus.
Alcohol	15 % v/v de EtOH / Vodka Absolut (Suecia).
Césped	5 g de césped fresco en trozos pequeños.
Herbáceo	5 g hoja molida de acacia.
Cuero	10 g de cuero seco.

Frutos rojos	6 g de frutilla congelada + 6 g de frambuesa congelada / Frutillas enteras congeladas y frambuesa enteras congeladas Green Life (Producto de Argentina).
Rosa	3 pétalos de rosa.
Pasas de uva	5 g de pasas de uva cortadas a la mitad / Uva pasa sultanina (Jumbo Argentina).
Humo	120 uL humo líquido en 50 mL de agua / Humo líquido San Giorgio (Producto de Argentina).
Humedad	Trapo con moho
Acético	5 mL de aceto / Aceto Dos Anclas (Producto de Argentina).
Manteca	10 gr de manteca / Manteca La Serenísima (Producto de Argentina).
Roble	Extracto de roble (20 gr chips de roble en 250 mL durante 1 hora) / Roble frances MT. \bar{e} vOAK (Producto de Francia).
<i>Sabores/Sensación táctil en boca</i>	
Dulce	20 g/Lde sacarosa en agua / Azúcar de Caña Ledesma Puro blanco granulado (Producto de Argentina).
Amargo	1,5 g/L de cafeína en agua / Merck (Darmstadt, Alemania)
Ácido	3 g/L de ácido tartárico en agua / (L-+)-ácido tartárico Derivados vinicos (Mendoza, Argentina).
Salado	4,5 g/L de sal en agua / Sal Dos Anclas (Producto de Argentina).
Astringente	1 g/Lde alum en agua (sulfato de aluminio y amonio) / Anedra Research AG S.A (Producto de Argentina)
Picante	3 g/Lde ají picante en agua / Ají picante
Viscosidad	4 g/Lde CMC en agua / CMC (carboximetilcelulosa) en polvo.
Alcohol	15 % v/v de EtOH / Vodka Absolut (Suecia)

2.6. Análisis estadístico

2.6.1 Análisis estadístico de compuestos fenólicos

Los datos se analizaron utilizando la plataforma de software R 4.2.1 (R Foundation for Statistical Computing, 2016). Los CPs se analizaron por zonas, departamentos, parcelas y añadas mediante análisis de la varianza (ANOVA) de una vía. Se aplicó la prueba de Tukey de diferencias significativas (HSD, nivel del 5%) a los datos de CPs para determinar las diferencias significativas entre las zonas, los departamentos, las parcelas y las añadas. La relación entre los compuestos antocianos dihidroxilados y trihidroxilados y la acumulación de grados días promedio (GDD) se analizó mediante un modelo lineal de efectos mixtos con la función *lmer* del paquete *lme4* (Bates et al., 2014) y *lmerTest* (Kuznetsova et al., 2017) con la GDD y las añadas (con interacciones) como factores fijos, y las parcelas anidadas en los departamentos

como factores aleatorios. Para saber si había diferencias significativas entre las pendientes de las añadas, se utilizó el paquete `emmeans` en R (Russell, 2020). Se aplicó análisis de componentes principales (PCA) a la composición fenólica del vino para visualizar el efecto de la añada utilizando los paquetes `FactoMineR` y `factoextra` (Kassambara, 2016; Lê et al., 2008). Para establecer modelos de predicción utilizando el contenido de antocianos y LMW-CPs, así como el efecto de la añada y las regiones (Zonas y Departamentos), se utilizó el método de análisis discriminante lineal (PLS-DA) con el paquete `mixOmics` (Rohart et al., 2017). La validación se realizó utilizando el 66,6% de los datos para entrenar el modelo y los datos restantes se emplearon para crear el cuadro de la matriz de confusión. Para evaluar el rendimiento de la clasificación se utilizó la Tasa de Error Equilibrada (BER), para la cual cuanto menor es la tasa de error, mejor es el rendimiento. El mapa de calor utilizado para la comparación de parcelas se diseñó utilizando el paquete `pheatmap` (Kolde, 2012). El análisis de conglomerados se construyó utilizando la técnica de conglomerados euclidiana y Ward.D2 y se visualizó utilizando los paquetes `FactoMineR` y `FactoMineR` (Kassambara, 2016; Lê et al., 2008). Para conocer qué parcelas podían predecirse mediante los CPs, se utilizó el método de clasificación Random Forest (RF) con el paquete `randomForest` (Liaw & Wiener, 2002) y análisis canónico de la varianza. En la validación y prueba del modelo se utilizó el 33% de los datos no incluidos en el modelo inicial.

2.6.2. *Análisis estadístico de datos sensoriales*

Los datos se analizaron utilizando la plataforma de software R 4.2.1 (R Foundation for Statistical Computing, 2016). Se realizó un análisis multivariante de varianza (MANOVA) utilizando tres factores (juez, ubicaciones, repeticiones y todas las interacciones de dos factores) en todos los atributos. Se utilizó ANOVA de tres factores con interacciones de dos factores para analizar los atributos de los descriptores con valores faltantes. Los valores faltantes (2,85% en 2017 y 4,27% en 2018) se imputaron utilizando el paquete "`missMDA`" en R (Josse & Husson, 2016). Se aplicó un análisis de componentes principales (PCA) con una matriz de covarianza a los datos sensoriales del vino, incluyendo a los jueces en dos niveles de ubicaciones, zonas y departamentos. Para comprender el terroir y la tipicidad, los criterios utilizados en el PCA, el análisis de conglomerados y los mapas de calor fueron incluir todas las variables en dicho análisis.

De esta manera, fue posible describir la gama completa de variables sensoriales de cada zona, departamento e IGs, y no solo discriminar entre ellos. Las elipses de confianza en el PCA que indican intervalos de confianza del 95% se basaron en la distribución multivariada de la prueba de Hotelling para $p < 0,05$ y se construyeron utilizando la función "panellipse" de SensMineR en R (Pagés & Husson, 2005). Para comprender la agrupación y las diferencias entre las IGs, se construyó un análisis de conglomerados utilizando la técnica de agrupamiento euclidiano y Ward.D2, y se realizó un mapa de calor utilizando el paquete 'pheatmap'. El MFA para entender el consenso entre añadas se llevó a cabo utilizando el paquete Factoextra utilizando variables significativas.

Capítulo 3

Condiciones experimentales y climáticas de las regiones evaluadas

3.1.Introducción

En el presente capítulo se presentan los resultados de las mediciones de parámetros generales en mosto y vinos, así como las características climáticas de las zonas analizadas. Dicha descripción comprende las especificidades climáticas relacionadas con cada IGs, departamento y región, abarcando un espectro de variables principales como son la temperatura, la precipitación y GDD. La relevancia de este análisis climático radica en su influencia sobre la composición y características de los vinos, particularmente en lo que refiere a su perfil fenólico y propiedades sensoriales. Los datos climáticos obtenidos que, al interactuar con las variedades vitícolas, podrían modificar variables químicas y sensoriales de los vinos, se convierten en una herramienta crucial para la diferenciación y caracterización regional. Por lo tanto, estos datos climáticos no solo ofrecen una panorámica de las condiciones en las que se desarrollan las uvas, sino que también sentarán las bases para la discusión de los resultados que se expondrán en capítulos subsiguientes.

3.2.TerraClimate

Los datos de elevación (en m s.n.m), GDD (acumulación de grados día promedio) y precipitación (lluvia, en mm) para cada parcela se obtuvieron de la base de datos del Catena Institute of Wine, el Departamento de Agricultura y Contingencias Climáticas de Mendoza y WorldClim 2.1 (Fick & Hijmans, 2017; Harris et al., 2014) desde octubre hasta la fecha de la cosecha de cada parcela. Los GDD se calcularon utilizando promedios diarios (en °C) para los períodos dados y utilizando una base de 10°C (Jones et al., 2010), mientras que la precipitación se calculó como la suma de la lluvia diaria para los períodos dados.

La mayoría de los vinos Malbec más reconocidos de Argentina provienen de las regiones de gran elevación de Mendoza, como el Valle de Uco y Luján de Cuyo, ubicado en el pie de la Cordillera de los Andes a altitudes entre los 900 y 1600 m s.n.m. El clima es semiárido con precipitaciones anuales cercanas a los 300 mm anuales. Sin embargo, la mayor parte de las precipitaciones están concentradas durante la etapa de crecimiento de la vid, entre octubre y abril. (Cabré et al., 2016).

La temperatura media anual es de aproximadamente 17°C, aunque la variabilidad dentro de la provincia es muy grande dependiendo de la zona. Durante la temporada de crecimiento de la vid las temperaturas medias son de 20 °C con altos niveles de

radiación solar, debido a la altura. Estas condiciones son óptimas para el Malbec, que típicamente requieren un clima intermedio a cálido, con altos niveles de radiación solar y poca lluvia (Fushing et al., 2019).

En el Cuadro 3.1, Cuadro 3.2 y Cuadro 3.3 se pueden observar los datos recolectados en los años 2016, 2017 y 2018 en los distintos lugares de estudio.

Observando el Cuadro 3.3, el año 2016 fue caracterizado por tener precipitaciones mayores a la media de la provincia de Mendoza, con un promedio de 522 mm en todas las parcelas de estudio, mientras que el año 2017 fue de 338 mm y 2018 de 158 mm. La cosecha 2016 fue una cosecha excepcionalmente distinta a las condiciones típicas de Mendoza, donde la cantidad de lluvia y humedad fueron significativamente mayores que las históricas. Inclusive muchos productores de uva reportaron no realizar riego en la temporada 2015-2016.

En cuanto a las temperaturas mínimas medias desde octubre a abril del año 2016, fueron de 11,6 °C y una máxima media de 24,9 °C, para el año 2017 la mínima media fue de 11,6 °C y la máxima media de 27,8 °C, y para el año 2018 la mínima media fue de 10,9 °C y la máxima media de 28,3 °C.

Si bien las diferencias generales entre los años están principalmente dadas en las precipitaciones y máximas, la provincia de Mendoza tiene una gran variabilidad climática dentro de su territorio, donde las temperaturas mínimas y máximas son más bajas en la zona de Valle de Uco, y más altas en la zona este, y en general con valores intermedios en la primera zona.

Estas diferencias climáticas dentro de la provincia están influenciadas por la elevación y la influencia de la Cordillera de los Andes, ya que mientras más se acerca la localización a la montaña, mayor es la altitud y mas baja la temperatura.

Las zonas más bajas, como la Zona Este, tuvieron una media de octubre a abril de 29,7 °C en los tres años de estudio, llegando a tener hasta 96 días con temperaturas mayores a 33 °C (Cuadro 3.3).

Para tener una visualización rápida de las diferencias climáticas dentro del territorio, en la Figura 3.1 se puede observar con distintos colores los GDD desde octubre hasta abril.

Cuadro 3.1. Datos de temperatura mínima promedio (°C) obtenidos desde la ubicación de las parcelas estudiadas en las añadas 2016, 2017 y 2018.

Añada	Ubicaciones			Temperatura mínima promedio (°C)						
	Zonas	Departamentos	IGs	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
2016	Primera zona	Luján de Cuyo	Agrelo	6,2	10,3	14,2	16,8	16,0	11,7	7,1
			Ugarteche	5,0	9,6	14,2	15,7	15,6	10,5	6,5
	Zona este	Maipú	Lunlunta	7,2	11,7	16,1	17,7	17,7	13,4	8,7
			El Mirador	6,8	11,8	16,4	18,1	18,1	13,1	8,4
		Rivadavia	La Libertad	7,9	11,4	15,5	17,9	17,4	12,5	7,5
			Rivadavia	6,9	11,7	16,3	18,0	18,0	13,3	8,5
		San Carlos	Altamira	6,5	9,6	13,0	15,7	15,0	11,4	6,7
			El Cepillo	5,6	9,2	12,8	15,7	14,8	11,0	6,5
	Valle de Uco	Tunuyán	Chacayes	5,6	9,4	13,2	15,8	14,9	11,3	6,7
			Los Árboles	3,8	8,1	12,7	14,3	13,9	9,4	5,3
		Tupungato	Gualtallary	3,9	7,9	11,9	14,2	13,5	10,4	5,4
			San José	6,0	9,5	14,0	16,4	15,6	11,9	7,1
2017	Primera zona	Luján de Cuyo	Agrelo	7,1	10,1	13,3	16,0	15,4	11,8	8,6
			Ugarteche	7,9	11,2	14,1	16,7	15,4	11,7	7,7
	Zona este	Maipú	Lunlunta	8,9	11,8	14,7	18,0	16,7	13,6	10,3
			El Mirador	9,6	12,9	15,7	17,3	16,1	12,6	9,0
		Rivadavia	La Libertad	9,6	12,9	15,3	17,2	17,2	14,5	10,4
			Rivadavia	8,5	10,8	14,1	17,4	16,5	13,2	10,1
	Valle de Uco	San Carlos	Altamira	6,5	9,1	11,9	14,5	14,2	10,2	7,4
			El Cepillo	4,8	7,7	10,7	13,3	14,3	12,1	8,5

2018		Tunuyán	Chacayes	6,3	8,5	11,8	14,0	14,1	9,8	7,1	
			Los Árboles	6,4	9,4	12,3	14,6	13,3	9,6	6,2	
		Tupungato	Gualtallary	4,1	6,8	9,6	12,3	13,3	11,2	7,9	
			San José	7,0	10,3	12,9	15,7	15,1	11,8	8,0	
	Primera zona	Luján de Cuyo	Agrelo	5,4	10,2	14,3	15,5	14,9	8,7	8,1	
			Ugarteche	7,3	11,5	14,7	15,1	14,9	10,0	9,2	
			Maipú	Lunlunta	8,2	12,1	15,8	16,7	16,2	11,6	10,3
				El Mirador	5,9	10,3	15,2	15,9	15,4	7,6	8,6
	Zona este	Rivadavia	La Libertad	6,9	11,2	15,5	16,2	15,5	9,2	9,3	
			Rivadavia	7,2	11,2	15,4	16,2	15,3	9,4	9,3	
		San Carlos	Altamira	5,1	9,0	13,2	14,0	13,2	7,9	7,1	
			El Cepillo	4,4	8,4	12,8	13,8	13,1	7,4	7,0	
	Valle de Uco	Tunuyán	Chacayes	4,2	8,7	13,2	14,1	13,1	7,0	7,1	
			Los Árboles	5,7	9,6	13,0	13,1	12,9	8,0	7,6	
		Tupungato	Gualtallary	4,3	8,2	12,2	13,1	12,4	7,5	6,2	
			San José	6,2	10,3	14,4	15,1	14,6	9,3	8,4	

Cuadro 3.2. Datos de temperatura máxima promedio (°C) obtenidos de acuerdo a la ubicación de las parcelas estudiadas en las añadas 2016, 2017 y 2018.

Añada	Ubicaciones			Temperatura máxima promedio (°C)						
	Zonas	Departamentos	IGs	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
2016	Primera zona	Luján de Cuyo	Agrelo	16,7	23,1	28,6	28,8	30,5	25,9	18,2
			Ugarteche	20,2	24,5	29,9	29,9	30,6	26,3	19,5
		Maipú	Lunlunta	17,7	24,2	29,8	29,7	30,9	26,4	19,0
	Zona este	Rivadavia	El Mirador	22,0	26,5	31,9	31,7	32,1	27,6	20,3
			La Libertad	19,3	26,3	32,0	31,1	32,3	28,1	19,7
			Rivadavia	21,8	25,9	31,3	31,0	31,6	27,3	20,1
	Valle de Uco	San Carlos	Altamira	15,7	23,3	29,2	29,1	30,1	25,9	17,9
			El Cepillo	15,3	22,8	28,0	28,1	29,3	25,3	17,5
		Tunuyán	Chacayes	16,0	22,6	27,4	27,4	28,9	24,9	17,7
			Los Árboles	19,4	23,6	29,1	29,4	30,1	26,1	19,4
		Tupungato	Gualtallary	12,4	19,9	25,5	25,3	25,6	22,4	14,7
			San José	15,3	22,8	29,5	28,9	30,0	25,6	17,3
	2017	Primera zona	Luján de Cuyo	Agrelo	22,1	26,6	31,0	33,9	31,2	27,1
Ugarteche				23,5	28,2	31,2	33,4	31,0	26,9	21,8
Maipú			Lunlunta	22,7	27,5	30,4	33,1	30,9	27,1	21,2
Zona este		Rivadavia	El Mirador	25,5	30,5	33,7	36,7	34,3	30,4	24,0
			La Libertad	25,5	30,5	33,9	37,6	33,8	29,0	22,9
			Rivadavia	26,0	30,9	34,3	38,5	35,4	31,1	24,7
Valle de Uco		San Carlos	Altamira	21,4	26,3	29,7	33,4	30,1	26,7	20,2
			El Cepillo	21,0	25,6	29,5	32,6	29,3	25,7	19,7

		Tunuyán	Chacayes	21,0	25,3	28,5	31,6	28,7	25,9	19,9
			Los Árboles	22,1	27,3	30,5	32,8	30,6	26,6	21,6
		Tupungato	Gualtallary	18,1	23,1	26,4	30,0	26,8	23,7	17,3
			San José	21,6	27,1	31,2	34,3	30,8	26,8	20,4
			Agrelo	24,6	28,1	30,0	32,0	31,5	28,6	24,6
	Primera zona	Luján de Cuyo	Ugarteche	24,6	28,4	31,1	31,5	31,1	28,0	23,8
		Maipú	Lunlunta	24,1	27,8	29,9	30,6	30,6	28,2	25,0
			El Mirador	26,9	31,0	33,4	34,6	33,6	31,8	28,0
	Zona este	Rivadavia	La Libertad	25,8	30,7	32,9	33,9	33,0	30,2	26,1
			Rivadavia	27,6	30,7	33,6	35,2	34,0	31,4	27,4
2018			Altamira	23,5	27,5	29,7	31,1	30,8	28,4	24,2
		San Carlos	El Cepillo	22,8	26,4	28,6	29,9	29,0	27,0	23,3
			Chacayes	23,1	26,5	28,6	29,6	29,3	27,1	23,7
	Valle de Uco	Tunuyán	Los Árboles	23,2	27,3	30,3	31,1	30,7	27,8	23,6
			Gualtallary	20,4	24,2	26,2	26,7	26,3	24,7	21,0
		Tupungato	San José	23,7	27,8	30,3	31,3	30,8	28,2	23,7

Cuadro 3.3. Datos de índices climáticos y precipitaciones obtenidos de acuerdo a la ubicación de las parcelas estudiadas en las añadas 2016, 2017 y 2018.

Añada	Ubicaciones			1-Oct a 30-April		
	Zonas	Departamentos	IGs	Días con > 33 ° grados Celsius	GDD	Precipitaciones (mm)
2016	Primera zona	Luján de Cuyo	Agrelo	15	1755	423
			Ugarteche	NA	1795	330
		Maipú	Lunlunta	22	1952	551
	Zona este	Rivadavia	El Mirador	NA	2203	282
			La Libertad	38	2049	571
			Rivadavia	NA	2155	271
	Valle de Uco	San Carlos	Altamira	17	1640	605
			El Cepillo	10	1591	769
		Tunuyán	Chacayes	7	1603	695
			Los Árboles	NA	1590	331
		Tupungato	Gualtallary	1	1225	716
			San José	13	1653	725
2017	Primera zona	Luján de Cuyo	Agrelo	38	1939	335
			Ugarteche	NA	2129	230
		Maipú	Lunlunta	37	2185	279
	Zona este	Rivadavia	El Mirador	85	2491	319
			La Libertad	80	2496	183
			Rivadavia	96	2459	287
	Valle de Uco	San Carlos	Altamira	34	1846	478

			El Cepillo	27	1797	541
		Tunuyán	Chacayes	20	1806	379
			Los Árboles	NA	1866	250
		Tupungato	Gualtallary	7	1438	368
			San José	42	1952	408
			Agrelo	39	2028	162
	Primera zona	Luján de Cuyo	Ugarteche	NA	2138	140
		Maipú	Lunlunta	26	2184	195
			El Mirador	90	2433	240
	Zona este	Rivadavia	La Libertad	70	2321	124
			Rivadavia	92	2389	130
2018			Altamira	33	1882	116
		San Carlos	El Cepillo	9	1794	202
			Chacayes	14	1850	73
	Valle de Uco	Tunuyán	Los Árboles	NA	1874	146
			Gualtallary	2	1432	216
		Tupungato	San José	34	1965	162

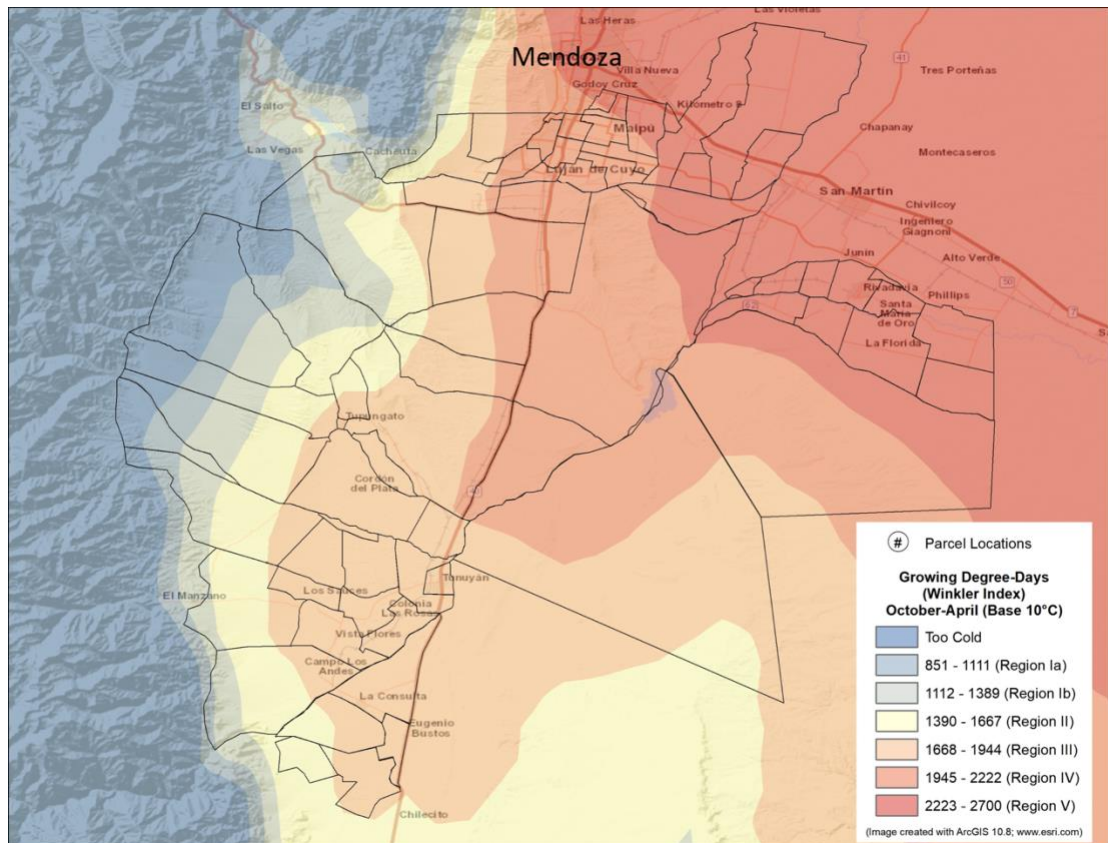


Figura 3.1. Acumulación de grados días promedio (GDD) en Mendoza obtenidos a partir de datos desde 1958 hasta 2019 con una resolución temporal mensual y una resolución espacial de ~ 4 km (1/24 grado). Clasificación de clases de GDD obtenido por Amerine & Winkler (1962) junto con los límites superior e inferior para la Región I y la Región V (Ver texto)

Tal como se mencionó anteriormente, podemos observar la zona este de Mendoza con categorías “Región V” y “Región IV”, la primera zona con categorías “Región IV” y “Región III”, y la zona de Valle de Uco con categorías “Región III”, “Región II” y “Región Ib”.

Una de las IG que se observa con 4 categorías es Gualtallary, donde la zona baja del distrito es categorizada como “Región III” y la zona más alta como “Región Ia” en las zonas cultivadas.

Esta información es de gran relevancia al momento de mencionar las regiones, ya que un distrito o IG denominada con el criterio de límites políticos puede tener climas muy distintos en su interior.

3.3. Análisis de mostos y vinos

Cómo se menciona en el capítulo anterior, los análisis iniciales de los parámetros de mosto se realizaron el mismo día de la cosecha y antes del ingreso de las uvas a las vasijas. Las mediciones se detallan en los Cuadros 3.4 y 3.5. En el caso de la variable °Brix, parámetro fundamental en la decisión de cosecha y que influye en el alcohol final de los vinos, para el año 2016, los valores variaron entre un mínimo de 21,0 y un máximo de 24,6. En 2017, los datos oscilan entre 21,0 y 25,0. Al igual que en el año anterior, muchos valores se encuentran en el rango medio, alrededor de 24,0, lo que sugiere que hay una ligera tendencia al alza en comparación con 2016. Finalmente, para 2018, los valores variaron entre 23,2 y 26,4. Este año mostró un rango más amplio de datos en comparación con los años anteriores. Los valores tienden a estar más distribuidos, pero aún se observa una preponderancia de valores en el rango medio, cercanos a 25,0. En el año 2016 hubo valores más bajos por el motivo de que fue un año más frío y lluvioso, por lo que varias parcelas fueron cosechadas con anticipación para no tener problemas de sanidad, principalmente por *Botritis*. Una discusión del efecto de estos parámetros en las distintas regiones estudiadas se presenta en los capítulos posteriores de la tesis.

Respecto a los datos de pH en vinos, Gualtallary tuvo una gran variabilidad entre los tres años de estudio. El rango de pH varió entre 3,29 y 3,76, siendo la IG que presentó valores más bajos de todas las IGs, con un valor medio aproximado de 3,51. Por su parte, Agrelo presentó valores entre 3,53 y 3,80 con un promedio cercano a 3,66; esta región mostró una tendencia a valores ligeramente más altos en comparación con Gualtallary. Altamira tuvo un rango de pH desde 3,52 hasta 4,02, con un promedio alrededor de 3,69.

Un dato relevante fue la intensidad de color, ya que los vinos de mostraron cambios en sus valores durante las añadas estudiadas. En 2016 la intensidad fue de 11,94, de 9,42 en 2017 y en 2018 de 16,24, destacándose una variabilidad intra-anual significativa. Más interesante aún, fueron las variaciones de valores de las IG por añada. Los vinos de Ugarteche mostraron una intensidad máxima de 22,4 en 2017, en contraste con valores más bajos en otras añadas, tales como 8,58 en 2016 y 9,52 en 2018. Lunlunta no tuvo muchos cambios en los años de estudio, en el 2016 tuvo una intensidad media de 12,07. Chacayes y Los Árboles, ambas regiones ubicadas en el cono aluvional del Manzano Histórico, resaltaron por sus intensidades elevadas, con un pico registrado en 2017 de 16,56 y 24,41, respectivamente. En el caso de Gualtallary, la

variabilidad es notable. Si bien presentó valores moderados en algunas añadas, en 2017 alcanzó una intensidad de 33,18 en algunos de los vinos estudiados.

Cuadro 3.4. Características químicas [Media] del mosto y cantidad de repeticiones de vinificaciones de diferentes parcelas de Mendoza.

Ubicación			Análisis de mosto					
Zonas	Departamentos	IGs	Parcelas	Añada	° Brix	pH	Acidez total (g/L ácido tartárico)	Número de réplicas de microvinificaciones.
Primera Zona	Luján de Cuyo	Agrelo	Luj-Agr-LP-1-80	2016	23,0	3,59	7,7	3
				2017	24,0	3,59	5,8	2
				2018	24,6	3,61	5,1	3
			Luj-Agr-LP-4	2016	23,0	3,80	7,8	2
				2017	23,0	3,82	6,5	3
				2018	23,8	3,50	5,0	3
		Ugarteche	Luj-Ug-VR-1	2016	22,0	3,54	5,9	3
				2017	25,0	3,60	5,2	3
				2018				
			Luj-Ug-OT-1	2016				
				2017	23,4	3,79	5,5	3
				2018				
		Luj-Ug-ZA-1	Luj-Ug-FO-1	2016	23,4	3,46	7,7	3
				2017	24,6	3,83	4,3	3
				2018	26,0	3,69	4,5	3
			Luj-Ug-ZA-1	2016	21,0	3,62	7,8	3
				2017	21,0	3,97	3,7	2
				2018	23,6	3,68	4,5	3

				2016				
		Carrizal	Luj-Carr-LU-1	2017	23,0	3,85	4,2	3
				2018				
				2016	23,0	3,72	5,9	3
			Mai-Lu-AG-18	2017	24,0	3,38	6,3	3
				2018	24,2	3,85	3,9	3
	Maipú	Lunlunta		2016	24,6	3,59	5,7	3
			Mai-Lu-AG-20	2017	23,6	3,75	5,2	3
				2018	25,4	3,81	3,8	3
				2016	22,6	3,80	5,8	3
		El Mirador	Riv-Mir-LV-4	2017	21,6	3,75	4,1	3
				2018	24,4	3,95	4,0	3
				2016	24,6	3,79	5,7	3
Zona Este	Rivadavia	La Libertad	Riv-Lib-LL-1	2017	24,0	3,38	6,3	3
				2018	24,4	3,83	4,5	3
				2016	21,6	3,79	5,7	3
		Rivadavia	Riv-Riv-LA-1	2017	22,6	3,80	5,4	3
				2018	24,2	3,91	4,2	3
				2016				
			San-Cons-RO-1	2017				
				2018	26,4	3,80	4,2	2
Valle de Uco	San Carlos	La Consulta		2016	22	3,54	7,9	3
			San-Cons-PE-1	2017				
				2018				
		Altamira	San-Alt-NI-1-Pi	2016	22,6	3,64	6,9	2

			2017	25,0	3,58	4,3	3
			2018	23,2	3,46	4,9	3
			2016				
		San-Alt-TR-1	2017	24,0	3,67	4,7	3
			2018	25,1	3,54	4,9	3
			2016	22,6	3,57	7,1	3
		San-Alt-NI-1-Pr	2017	25,0	3,63	5,2	3
			2018	24,8	3,44	5,3	3
			2016	22,0	3,62	7,6	3
		San-Alt-NI-2-Pr	2017	24,6	3,71	4,6	3
			2018	24,0	3,58	4,5	3
			2016	23,6	3,60	6,9	3
		San-Cep-EB-3	2017	23,4	2,55	4,8	3
	El Cepillo		2018	24,4	3,53	4,3	3
			2016	22,6	3,60	6,7	3
		San-Cep-EC-5	2017	25,0	3,66	5,5	2
			2018	24,2	3,60	5,3	3
			2016	23,0	3,59	6,2	3
	Chacayes	Tun-Ch-MU-3	2017	25,0	3,68	4,6	2
			2018	25,6	3,70	4,8	3
			2016	22,6	3,59	6,9	3
	Tunuyán	Tun-Al-BV-5	2017	24,4	3,67	4,2	3
	Los Arboles		2018	25,0	3,50	5,9	3
			2016	21,0	3,60	7,4	3
		Tun-Al-CC-1	2017	24,0	3,75	4,6	3

		2018	26,0	3,56	5,3	3	
		2016	24,0	3,45	5,7	3	
	Tup-Gy-AD-3-MBT	2017	24,0	3,45	5,7	3	
		2018	25,0	3,62	6,0	3	
	Tup-Gy-AD-6-Pi	2016	22,6	3,38	8,0	3	
		2017	24,0	3,38	6,3	3	
		2018	24,0	3,39	6,6	3	
	Tup-Gy-AD-6-Pr	2016	23,0	3,34	7,6	3	
		2017	25,0	3,41	6,2	3	
		2018	25,8	3,34	6,0	3	
	Gualtallary	2016	23,0	3,57	8,6	2	
	Tup-Gy-AD-7	2017	25,0	3,51	6,5	3	
		2018	23,6	3,30	7,5	3	
		2016	23,0	3,37	7,8	3	
	Tup-Gy-AD-9	2017	25,0	5,52	6,2	3	
		2018	25,4	3,41	6,6	3	
		2016	21,0	3,34	9,5	3	
	Tup-Gy-GA-3	2017	24,0	3,51	6,0	3	
		2018	23,6	3,28	7,9	3	
		2016	22,6	3,55	6,5	3	
	San José	Tup-SJ-JM-1	2017	23,0	3,48	5,1	3
		2018	25,4	3,62	5,1	3	

Cuadro 3.5. Características químicas [Media \pm Desviación estándar] del mosto diferentes parcelas de Mendoza.

Ubicación				Análisis de vinos								
Zonas	Departamentos	IGs	Parcelas	Añada	Alcohol % v/v	Acidez total (g/L ácido tartárico)	pH	Acidez volátil (g/L ácido acético)	Azúcar residual (g/L)	Intensidad de color (Absorbancia a 420 nm + Absorbancia a 520 nm)	Matiz (Absorbancia a 420 nm/Absorbancia 520 nm)	
Primera Zona	Luján de Cuyo	Agrelo	Luj-Agr-LP-1-80	2016	13,4 \pm 0,1	6,3 \pm 0,1	3,67 \pm 0,14	0,47 \pm 0,11	0,1 \pm 0,1	11,94 \pm 1,83	0,61 \pm 0,8	
				2017	14,2 \pm 0,1	4,9 \pm 0,1	3,72 \pm 0,02	0,53 \pm 0,10	3,0 \pm 0,1	9,42 \pm 0,78	0,47 \pm 0,01	
			2018	14,1 \pm 0,2	6,3 \pm 0,4	3,53 \pm 0,03	0,79 \pm 0,23	2,9 \pm 0,1	16,24 \pm 1,17	0,58 \pm 0,01		
			Luj-Agr-LP-4	2016	13,2 \pm 0,1	4,7 \pm 0,1	3,52 \pm 0,11	0,68 \pm 0,11	1,3 \pm 0,5	9,77 \pm 0,36	0,67 \pm 0,01	
				2017	14,4 \pm 0,3	5,98 \pm 0,2	3,8 \pm 0,22	0,59 \pm 0,07	0,9 \pm 0,5	11,82 \pm 0,56	0,50 \pm 0,04	
			2018	14,4 \pm 0,2	5,05 \pm 0,1	3,75 \pm 0,01	0,62 \pm 0,05	1,9 \pm 1,6	10,88 \pm 1,78	0,68 \pm 0,09		
		Luj-Ug-VR-1	2016	12,3 \pm 0,1	6,6 \pm 0,1	3,62 \pm 0,01	0,87 \pm 0,30	1,4 \pm 0,9	8,58 \pm 0,86	0,58 \pm 0,01		
			2017	14,2 \pm 0,2	6,1 \pm 0,5	3,66 \pm 0,02	0,80 \pm 0,65	1,4 \pm 0,5	22,4 \pm 4,8	0,45 \pm 0,02		
		2018										
		Ugarteche	Luj-Ug-OT-1	2016								
				2017	14,3 \pm 0,5	5,25 \pm 0,1	3,98 \pm 0,03	0,66 \pm 0,1	1,1 \pm 1,0	6,98 \pm 2,5	0,45 \pm 0,02	
		2018										
Luj-Ug-FO-1		2016	13,8 \pm 0,5	4,9 \pm 0,1	3,58 \pm 0,01	0,46 \pm 0,04	0,5 \pm 0,2	13,71 \pm 1,06	0,55 \pm 0,01			
		2017	14,7 \pm 0,3	4,8 \pm 0,4	3,73 \pm 0,04	0,46 \pm 0,04	1,1 \pm 0,6	10,86 \pm 0,31	0,47 \pm 0,01			
2018			14,6 \pm 0,3	5,7 \pm 0,4	3,55 \pm 0,01	0,75 \pm 0,10	2,0 \pm 1,0	9,52 \pm 0,79	0,66 \pm 0,01			

				2016	11,5 ± 0,2	4,9 ± 0,1	3,48 ± 0,03	0,37 ± 0,05	0,4 ± 0,1	8,65 ± 0,85	0,56 ± 0,01
			Luj-Ug-ZA-1	2017	12,3 ± 0,1	5,0 ± 0,6	3,77 ± 0,05	0,53 ± 0,23	2,2 ± 0,3	10,32 ± 0,76	0,47 ± 0,01
				2018	12,9 ± 0,1	6,6 ± 0,5	3,58 ± 0,01	0,97 ± 0,03	3,9 ± 0,9	9,49 ± 0,70	0,66 ± 0,00
				2016							
		Carrizal	Luj-Carr-LU-1	2017	13,6 ± 0,3	5,3 ± 0,1	3,73 ± 0,04	0,61 ± 0,1	1,1 ± 0,5	5,40 ± 0,06	0,54 ± 0,03
				2018							
				2016	12,7 ± 0,4	5,4 ± 0,4	3,63 ± 0,02	0,63 ± 0,04	0,2 ± 0,1	12,07 ± 2,01	0,56 ± 0,03
			Mai-Lu-AG-18	2017	14,4 ± 0,1	4,8 ± 0,2	3,67 ± 0,09	0,49 ± 0,12	2,9 ± 0,1	10,05 ± 2,41	0,47 ± 0,03
				2018	14,2 ± 0,4	5,1 ± 0,2	3,57 ± 0,02	0,66 ± 0,23	2,1 ± 0,1	11,84 ± 0,96	0,60 ± 0,02
	Maipú	Lunlunta		2016	14,3 ± 0,3	5,2 ± 0,4	3,55 ± 0,10	0,46 ± 0,06	2,3 ± 1,1	18,46 ± 1,31	0,54 ± 0,01
			Mai-Lu-AG-20	2017	14,4 ± 0,2	4,9 ± 0,1	3,69 ± 0,06	0,50 ± 0,06	2,9 ± 0,2	8,47 ± 0,98	0,49 ± 0,02
				2018	15,1 ± 0,3	5,4 ± 0,2	3,53 ± 0,06	0,61 ± 0,05	2,0 ± 0,5	10,22 ± 0,39	0,61 ± 0,01
				2016	12,7 ± 0,5	4,7 ± 0,3	3,67 ± 0,02	0,82 ± 0,17	0,6 ± 0,1	7,91 ± 0,56	0,66 ± 0,02
		El Mirador	Riv-Mir-LV-4	2017	13,1 ± 0,1	4,8 ± 0,2	3,80 ± 0,04	0,50 ± 0,06	2,3 ± 0,5	8,00 ± 0,25	0,52 ± 0,01
				2018	14,9 ± 0,3	4,9 ± 0,3	3,63 ± 0,08	0,54 ± 0,03	2,4 ± 0,6	9,30 ± 0,68	0,66 ± 0,02
				2016	14,8 ± 0,4	5,2 ± 0,5	3,88 ± 0,15	0,82 ± 0,08	3,9 ± 2,4	9,49 ± 0,78	0,72 ± 0,02
Zona Este	Rivadavia	La Libertad	Riv-Lib-LL-1	2017	13,4 ± 0,4	5,7 ± 0,6	3,76 ± 0,02	0,67 ± 0,09	1,2 ± 0,5	7,58 ± 0,63	0,52 ± 0,01
				2018	13,7 ± 0,1	5,7 ± 0,1	3,61 ± 0,05	0,91 ± 0,09	2,6 ± 0,7	6,91 ± 0,21	0,72 ± 0,01
				2016	12,7 ± 0,4	6,8 ± 0,3	3,73 ± 0,02	0,79 ± 0,11	1,7 ± 1,5	6,95 ± 0,07	0,71 ± 0,01
		Rivadavia	Riv-Riv-LA-1	2017	13,1 ± 0,2	5,1 ± 0,5	3,72 ± 0,11	0,75 ± 0,12	2,2 ± 0,3	4,23 ± 0,25	0,62 ± 0,03
				2018	13,4 ± 0,1	6,0 ± 0,2	3,61 ± 0,03	1,16 ± 0,30	1,5 ± 0,1	5,93 ± 0,37	0,76 ± 0,01
				2016							
Valle de Uco	San Carlos	La Consulta	San-Cons-RO-1	2017							
				2018	15,8 ± 0,3	5,87 ± 0,1	3,79 ± 0,02	0,56 ± 0,06	3,4 ± 1	7,12 ± 0,75	0,96 ± 0,11
			San-Cons-PE-1	2016	13,1 ± 0,1	4,63 ± 0,1	3,65 ± 0,01	0,36 ± 0,04	1,5 ± 0,1	6,2 ± 0,63	0,57 ± 0,23

		2017								
		2018								
Altamira	San-Alt-NI-1-Pi	2016	13,7 ± 0,1	5,3 ± 0,3	3,65 ± 0,04	0,45 ± 0,12	0,4 ± 0,5	12,80 ± 0,24	0,53 ± 0,01	
		2017	14,7 ± 0,3	5,1 ± 0,2	3,70 ± 0,02	0,50 ± 0,02	3,1 ± 0,2	14,00 ± 0,91	0,50 ± 0,01	
		2018	14,3 ± 0,0	5,7 ± 0,1	3,52 ± 0,20	0,60 ± 0,08	2,5 ± 0,1	18,06 ± 0,77	0,57 ± 0,01	
	San-Alt-TR-1	2016								
		2017	14,2 ± 0,5	4,2 ± 0,1	4,02 ± 0,02	0,52 ± 0,02	1,8 ± 0,5	9,70 ± 0,11	0,45 ± 0,02	
		2018	15,0 ± 0,2	5,0 ± 0,1	3,79 ± 0,02	0,59 ± 0,03	0,8 ± 0,9	9,70 ± 0,11	0,45 ± 0,02	
	San-Alt-NI-1-Pr	2016	12,7 ± 0,1	4,9 ± 0,1	3,56 ± 0,02	0,61 ± 0,03	0,5 ± 0,4	6,37 ± 0,10	0,62 ± 0,02	
		2017	15,1 ± 0,2	5,3 ± 0,1	3,65 ± 0,06	0,53 ± 0,06	1,9 ± 0,4	11,56 ± 0,76	4,19 ± 0,08	
		2018	13,8 ± 0,1	5,2 ± 0,2	3,58 ± 0,05	0,55 ± 0,07	2,2 ± 0,2	11,84 ± 0,82	0,60 ± 0,01	
	San-Alt-NI-2-Pr	2016	12,7 ± 0,2	4,5 ± 0,1	3,69 ± 0,01	0,36 ± 0,06	0,2 ± 0,1	8,98 ± 0,69	0,61 ± 0,01	
		2017	14,9 ± 0,2	4,7 ± 0,1	3,80 ± 0,08	0,58 ± 0,06	1,8 ± 0,2	16,30 ± 2,37	0,48 ± 0,03	
		2018	14,2 ± 0,0	5,0 ± 0,1	3,62 ± 0,03	0,47 ± 0,01	2,1 ± 0,2	16,20 ± 0,56	0,58 ± 0,01	
El Cepillo	San-Cep-EB-3	2016	13,5 ± 0,3	6,2 ± 0,6	3,51 ± 0,12	0,55 ± 0,07	0,5 ± 0,8	18,38 ± 1,31	0,54 ± 0,01	
		2017	14,0 ± 0,3	5,3 ± 0,3	3,67 ± 0,01	0,52 ± 0,16	1,3 ± 0,2	19,29 ± 0,98	0,44 ± 0,01	
		2018	14,6 ± 0,0	5,4 ± 0,1	3,53 ± 0,03	0,57 ± 0,04	2,7 ± 0,1	14,44 ± 0,22	0,59 ± 0,01	
	San-Cep-EC-5	2016	12,9 ± 0,1	5,1 ± 0,4	3,72 ± 0,04	0,30 ± 0,04	0,3 ± 0,1	12,43 ± 0,91	0,56 ± 0,01	
		2017	15,1 ± 0,4	5,4 ± 0,3	3,71 ± 0,10	0,46 ± 0,09	2,1 ± 0,9	15,05 ± 0,92	0,51 ± 0,01	
		2018	14,2 ± 0,1	5,8 ± 0,2	3,59 ± 0,05	0,59 ± 0,08	2,0 ± 0,5	15,66 ± 0,63	0,60 ± 0,01	
Chacayes	Tun-Ch-MU-3	2016	13,3 ± 0,1	4,7 ± 0,1	3,66 ± 0,01	0,22 ± 0,04	0,3 ± 0,1	13,67 ± 0,54	0,53 ± 0,01	
		2017	14,9 ± 0,4	5,0 ± 0,1	3,69 ± 0,02	0,57 ± 0,02	1,4 ± 0,5	16,56 ± 2,22	0,47 ± 0,01	
		2018	14,7 ± 0,4	6,4 ± 0,2	3,59 ± 0,09	0,86 ± 0,02	8,3 ± 4,6	14,29 ± 0,86	0,57 ± 0,02	
Los Arboles	Tun-Al-BV-5	2016	13,5 ± 0,2	5,3 ± 0,2	3,58 ± 0,03	0,34 ± 0,09	1,6 ± 1,6	17,17 ± 0,65	0,51 ± 0,01	
		2017	15,4 ± 0,8	5,2 ± 0,2	3,67 ± 0,03	0,55 ± 0,15	3,1 ± 0,5	24,41 ± 1,00	0,45 ± 0,01	

			2018	15,1 ± 0,3	6,1 ± 0,1	3,56 ± 0,01	0,57 ± 0,01	2,4 ± 0,1	20,29 ± 0,63	0,60 ± 0,01
			2016	12,6 ± 0,2	4,9 ± 0,1	3,56 ± 0,01	0,25 ± 0,04	0,2 ± 0,1	11,51 ± 0,50	0,54 ± 0,2
		Tun-AI-CC-1	2017	14,9 ± 0,3	5,6 ± 0,6	3,65 ± 0,07	0,49 ± 0,08	1,4 ± 0,3	14,86 ± 0,81	0,48 ± 0,01
			2018	15,5 ± 0,0	6,5 ± 0,4	3,56 ± 0,10	0,60 ± 0,03	4,7 ± 0,8	22,09 ± 0,79	0,59 ± 0,01
		Tup-Gy-AD-3-MBT	2016	13,6 ± 0,1	6,2 ± 0,1	3,29 ± 0,02	0,24 ± 0,02	0,6 ± 0,1	18,75 ± 1,95	0,45 ± 0,02
			2017	14,1 ± 0,3	5,7 ± 0,1	3,65 ± 0,03	0,31 ± 0,04	1,6 ± 0,8	26,58 ± 1,82	0,40 ± 0,01
			2018	14,7 ± 0,2	6,2 ± 0,3	3,45 ± 0,04	0,30 ± 0,03	1,8 ± 0,2	17,52 ± 1,14	0,57 ± 0,01
		Tup-Gy-AD-6-Pi	2016	13,1 ± 0,1	5,7 ± 0,2	3,40 ± 0,02	0,20 ± 0,01	0,4 ± 0,1	17,18 ± 0,80	0,46 ± 0,01
			2017	14,7 ± 0,4	5,6 ± 0,2	3,67 ± 0,08	0,40 ± 0,23	1,5 ± 0,3	26,59 ± 3,53	0,42 ± 0,01
			2018	13,9 ± 0,1	5,8 ± 0,1	3,52 ± 0,01	0,45 ± 0,07	1,5 ± 0,1	14,00 ± 1,32	0,57 ± 0,01
		Tup-Gy-AD-6-Pr	2016	13,4 ± 0,1	4,0 ± 0,1	3,55 ± 0,02	0,42 ± 0,02	0,2 ± 0,1	18,68 ± 1,59	0,46 ± 0,01
			2017	15,5 ± 0,2	6,6 ± 0,5	3,43 ± 0,06	0,29 ± 0,09	3,6 ± 1,0	33,18 ± 2,65	0,47 ± 0,13
			2018	15,1 ± 0,4	6,4 ± 0,2	3,48 ± 0,04	0,40 ± 0,06	4,2 ± 1,4	22,16 ± 3,47	0,57 ± 0,01
	Gualtallary		2016	13,9 ± 0,4	6,6 ± 0,2	3,29 ± 0,02	0,31 ± 0,03	2,5 ± 2,7	18,70 ± 1,81	0,47 ± 0,01
		Tup-Gy-AD-7	2017	14,9 ± 0,4	6,1 ± 0,1	3,51 ± 0,04	0,40 ± 0,06	3,4 ± 0,4	30,92 ± 0,17	0,56 ± 0,05
			2018	13,5 ± 0,4	5,7 ± 0,1	3,50 ± 0,03	0,48 ± 0,10	1,7 ± 0,1	14,22 ± 1,94	0,57 ± 0,01
		Tup-Gy-AD-9	2016	13,4 ± 0,1	7,1 ± 0,1	3,38 ± 0,01	0,13 ± 0,03	0,5 ± 0,3	18,44 ± 0,58	0,45 ± 0,01
			2017	14,8 ± 0,2	5,5 ± 0,1	3,72 ± 0,09	0,45 ± 0,08	3,0 ± 0,2	23,20 ± 0,91	0,43 ± 0,01
			2018	14,8 ± 0,1	6,1 ± 0,1	3,49 ± 0,04	0,44 ± 0,05	2,0 ± 0,5	16,88 ± 0,74	0,57 ± 0,01
		Tup-Gy-GA-3	2016	11,8 ± 0,2	6,5 ± 0,1	3,61 ± 0,03	0,20 ± 0,05	0,2 ± 0,1	13,63 ± 0,71	0,49 ± 0,01
			2017	13,8 ± 0,4	5,0 ± 0,2	3,76 ± 0,07	0,40 ± 0,08	2,8 ± 0,5	21,91 ± 0,67	0,40 ± 0,02
			2018	14,8 ± 0,1	6,6 ± 0,1	3,51 ± 0,02	0,39 ± 0,03	2,6 ± 0,3	18,05 ± 2,73	0,57 ± 0,01
			2016	13,3 ± 0,1	5,4 ± 0,4	3,48 ± 0,07	0,28 ± 0,07	0,3 ± 0,1	12,97 ± 0,37	0,51 ± 0,01
	San José	Tup-SJ-JM-1	2017	13,6 ± 0,1	4,8 ± 0,1	3,65 ± 0,01	0,47 ± 0,05	2,4 ± 0,1	13,98 ± 1,13	0,42 ± 0,01
			2018	14,6 ± 0,1	5,4 ± 0,1	3,54 ± 0,01	0,55 ± 0,02	2,4 ± 0,3	14,66 ± 0,27	0,59 ± 0,01

Capítulo 4

Efecto del origen y año de cosecha en la composición fenólica de los vinos Malbec de Mendoza, Argentina

4.1. Introducción

La amplitud de las características climáticas de Mendoza descritas en el capítulo anterior, permiten realizar un estudio extensivo del comportamiento y adaptación de una variedad a diferentes ambientes. La evaluación de los perfiles cualitativos y cuantitativos de los CPs son una forma de medir el impacto de las condiciones ambientales en las características de los vinos Malbec, su comportamiento en distintas temporadas de cosecha y regiones (incluyendo las IGs y parcelas).

Como se describe en el capítulo I, los factores ambientales y humanos, también conocidos como 'terroir', influyen en el cultivo de las uvas afectando la composición química y consecuentemente los atributos sensoriales del vino, lo que a su vez determina su calidad final. Desde el punto de vista comercial, el término 'terroir' se ha convertido en una herramienta de comunicación utilizada para diferenciar lugares de producción de vino en todo el mundo (Hira & Swartz, 2014). Varios estudios han demostrado que el origen de la uva es un factor que influye en la decisión del consumidor al comprar un determinado vino (Famularo et al., 2010), y que éste se orienta cada vez más hacia la adquisición de productos de alta calidad o “etiquetas” que la aseguren. En este contexto, la identificación de las denominaciones de origen ejerce un atractivo comercial indudable, especialmente cuando se asocian explícitamente con vinos de alta calidad producidos en diferentes regiones, lo que se convierte en uno de los criterios de precio, garantía de calidad y estilo.

Los CPs son sintetizados por las plantas como resultado del metabolismo secundario en distintos órganos, que incluyen entre otros a la baya (hollejo, semilla y pulpa). Los CPs son producto del metabolismo secundario y se encuentran en las vacuolas de la piel de la baya y en las semillas, siendo extraídos (parcialmente) durante el proceso de vinificación, desempeñando un papel relevante en la elaboración del vino tinto. Como se menciona en el capítulo I, los CPs se clasifican en no flavonoides y flavonoides. En investigaciones anteriores, se ha propuesto este grupo de compuestos como marcadores químicos para establecer la autenticidad y el origen geográfico de las uvas (Makris et al., 2006). Los no flavonoides incluyen ácidos fenólicos y estilbenos, mientras que los flavonoides comprenden antocianos (pigmentos rojos), flavonoides y flavonoles (pigmentos amarillos). Los antocianos son los principales compuestos responsables del color en las uvas y los vinos. Los flavonoides se encuentran en diferentes tejidos de la vid (hojas y tallos) y en las partes más sólidas de la baya (piel y semilla), en forma de polímeros y oligómeros conocidos como pro-antocianidinas o

taninos condensados. Estos compuestos son fundamentales para las características sensoriales de los vinos, como el color, la astringencia, el amargor y la capacidad de envejecimiento, y están estrechamente relacionados con la percepción de la calidad del producto (Jaffré et al., 2009).

En estudios previos se ha demostrado que la localización geográfica tiene una influencia directa en la composición química y sensorial de vinos, como el Cabernet Sauvignon de Australia (Robinson et al., 2012a), China (Tao et al., 2009) y Estados Unidos (Heymann & Noble, 1987a), así como el Chardonnay (Schlosser et al., 2005), Sauvignon Blanc de Nueva Zelanda (Lund et al., 2009) y Pinot Noir de la costa oeste de Estados Unidos (Cantu et al., 2021). Sin embargo, en lo que respecta al Malbec, existen pocos estudios que hayan evaluado la composición fenólica en diversas regiones de Argentina, y en el mundo no hay estudios que evalúen las clasificaciones regionales mediante la elaboración simultánea de perfiles fenólicos y en varias añadas.

Por lo presentado anteriormente, en este capítulo se estudia la composición fenólica, perfiles de antocianos y LMW-CPs medidos usando HPLC-DAD en vinos Malbec provenientes de tres regiones grandes (Este, Primera Zona y Valle de Uco), que incluyen 6 departamentos de Mendoza y 14 indicaciones geográficas (IGs), en que se incluyen 26 parcelas para los años 2016, 28 parcelas para el año 2017 y 26 parcelas para el año 2018, sumando un total de 232 microvinificaciones.

En la última sección de este capítulo, exploraremos la idea de "vinos únicos", aquellos que destacan por poseer características inigualables, como perfil fenólico, que los distinguen del resto. Aunque este concepto puede parecer reciente en la literatura, en la historia vitivinícola se le ha referido como "*Climat*". En el ámbito vinícola hay ejemplos de vinos de mucho valor, con alta demanda y valor altos, originarios de lugares específicos como la Borgoña. Un ejemplo emblemático es el Domaine de la Romanee-Conti. Estos vinos, conocidos por su irreproducibilidad y alta calidad, provienen de zonas con una rica tradición e historia, aunque no necesariamente respaldada por evidencia científica sobre sus propiedades sensoriales y químicas diferenciadas. En el caso de la Romanee-Conti, es reconocido como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO. (*Les Climats Du Vignoble de Bourgogne - UNESCO World Heritage Centre*, n.d.).

4.1. Objetivos

Dado que no existen estudios en la variedad Malbec que profundicen el comportamiento de la variedad Malbec en múltiples añadas e IGs, en este capítulo se han propuesto los siguientes objetivos:

- Estudiar la influencia del año de cosecha en la composición fenólica del Malbec en diferentes regiones de Mendoza.
- Caracterizar y discriminar los Malbec provenientes de 14 IGs de seis departamentos de Mendoza mediante los perfiles de CPs.
- Identificar y discriminar parcelas con características únicas independientemente de la añada.

4.2. Resultados y discusión

4.2.1. Discriminación de los departamentos de acuerdo con la añada

Se estudiaron los vinos elaborados con uvas Malbec de un total de 26 parcelas para los años 2016, 28 parcelas para el año 2017 y 26 parcelas para el año 2018 (ver Cuadro 2.1), todos elaborados bajo condiciones estandarizadas de vinificación (ver capítulo II).

En cada vino se determinaron los CPs mediante HPLC-DAD. El conjunto de datos incluyó un total de 28 compuestos cuantificados, que fueron utilizados para clasificar y/o discriminar los vinos Malbec de Mendoza. Esto incluyó 12 antocianinas y 16 LMW-PCs, que abarcaron ácidos fenólicos, flavanoles, flavonoles, estilbenos y derivados de feniletanol.

Para entender cómo se diferencian las regiones en cada añada individualmente, se realizó el análisis de la varianza (ANOVA) y el análisis canónico de la varianza (CVA) para visualizar la discriminación por departamentos.

4.2.1.1. Añada 2016

Los resultados obtenidos para la añada 2016 se presentan en los Cuadros 4.1 y 4.2. En particular, el Cuadro 4.1 muestra las concentraciones de antocianos individuales por departamentos de Mendoza. Como se puede observar, Tupungato tiene las concentraciones más altas de antocianos, mientras que Rivadavia las más bajas entre todos los departamentos. El único compuesto sin diferencias significativas entre los departamentos fue Peonidina 3-O-glucósido. Estos resultados son comparables con estudios publicados en Malbec de Mendoza y California (Buscema & Boulton, 2015;

Fanzone et al., 2010b). Malvidina 3-O-glucósido predominó con una concentración entre el 55% y el 82% del total de antocianos, representando una media del 68%. El segundo antociano más abundante fue petunidina 3-O-glucósido, con una media del 7,3% en la mayoría de los departamentos. Estos perfiles de antocianos son similares a los encontrados en otras variedades alrededor del mundo, como Grenache, Syrah, Carignan Noir, Cecibel, Mourvedre, Cunoise y Alicante Bouchet (Ky et al., 2014). Como se ha reportado anteriormente en otros estudios, la concentración relativa de antocianos se ve influenciada por factores ambientales como la temperatura, la exposición a la luz y disponibilidad de agua. En este estudio, las parcelas se corresponden con una gran heterogeneidad de climas, tal como se reporta en el Cuadro 2.1 y la Figura 3.1.

Las concentraciones de CPs en los vinos de la añada 2016 se presentan en el Cuadro 4.2. Los compuestos con mayor concentración fueron ácido gálico, tirosol, (-)-epicatequina y ácido p-cumárico, con una concentración media de 23,1 mg/L, 32,8 mg/L, 22,1 mg/L y 19,6 mg/L, respectivamente. Los vinos obtenidos con uvas de Rivadavia (ubicado en el este de Mendoza, zona cálida) presentaron altas concentraciones de ácido gálico, mientras que Tupungato, Tunuyán y San Carlos (zonas frías ubicadas en el Valle de Uco) mostraron altas concentraciones de tirosol. No se encontraron diferencias significativas entre los departamentos para los compuestos (-)-galocatequina, (+)-catequina, *trans*-resveratrol, quercetina y quercetina-3-glucósido.

El análisis MANOVA indicó que al menos una de las 6 regiones era significativamente diferente de las demás cuando se comparaban todas las variables de CPs ($p < 0,0001$). La Figura 4.1 muestra un análisis de variables canónicas (CVA) utilizando todas las variables de CPs, incluyendo los compuestos sin diferencias significativas. Las elipses de confianza generadas por los departamentos muestran que hay diferencias significativas en Rivadavia, Maipú, Tupungato y Tunuyán, con un valor $p < 0,05$. Los demás departamentos formaban un grupo único, donde Luján de Cuyo y San Carlos estaban estrechamente asociados. Las variables con mayor peso en el eje CV1 fueron tirosol (0,69), petunidina 3-O-acetilglucósido (0,67), peonidina 3-O-acetilglucósido (0,65), petunidina-3-O-p-cumaroilglucósido (0,64), malvidina 3-O-glucósido (0,62) y petunidina 3-O-glucósido (0,60), ubicados en el lado derecho y asociados a los departamentos de Luján de Cuyo y San Carlos. Por otro lado, los ácidos siríngico (-0,86), cafeico (-0,85), gálico (-0,68), p-cumárico (-0,67) y ferúlico (-0,67) se encontraban en el lado izquierdo y asociados a los departamentos de Maipú y

Rivadavia. En el eje CV2, las cargas más altas correspondieron a (-)-epicatequina (-0.41), malvidina 3-O-glucósido (-0,33), ácido p-cumárico (-0,21), astilbina (0,52), delphinidina 3-O-glucósido (0,49) y peonidina 3-O-glucósido (0,46). El eje CV3 se incluye debido a la separación entre los departamentos de Tunuyán y Tupungato.

Cuadro 4.1. Concentraciones de antocianos [media (mg/L) \pm SD] en vinos Malbec añada 2016 de diferentes departamentos de Mendoza.

Compuesto	Luján de Cuyo	Maipú	Rivadavia	San Carlos	Tunuyán	Tupungato
Cianidina 3-O-glucósido	1,74 \pm 0,3 b	4,44 \pm 1,39 ab	1,41 \pm 0,26 b	2,62 \pm 1,79 b	1,4 \pm 0,7 b	5,51 \pm 2,11 a
Petunidina 3-O-glucósido	24,12 \pm 7,28 b	41,94 \pm 8,47 ab	4,17 \pm 3,2 b	34,67 \pm 15,42 b	39,1 \pm 13,65 ab	65,76 \pm 16,4 a
Peonidina 3-O-glucósido	9,47 \pm 3,15 a	18,05 \pm 6,72 a	13,44 \pm 0,78 a	10,59 \pm 6,1 a	10,39 \pm 7,91 a	19,7 \pm 10,2 a
Delfinidina 3-O-glucósido	9,82 \pm 6,99 b	23,05 \pm 8,98 ab	11,71 \pm 1,38 b	20,03 \pm 10,94 b	18,11 \pm 10,04 b	51,47 \pm 16,93 a
Malvidina 3-O-glucósido	279,88 \pm 42,21 ab	360,41 \pm 0,23 a	173,99 \pm 34,83 b	328,37 \pm 47,76 a	354,67 \pm 38,39 a	356,59 \pm 58,37 a
Delfinidina 3-O-acetilglucósido	6,45 \pm 3,52 b	9,09 \pm 3,63 ab	3,72 \pm 0,82 b	5,58 \pm 1,57 b	7,44 \pm 1,13 ab	11,22 \pm 2,85 a
Petunidina 3-O-acetilglucósido	6,35 \pm 2,96 bc	8,14 \pm 1,54 bc	1,37 \pm 0,69 c	8,44 \pm 2,88 b	9,47 \pm 2,89 ab	13,28 \pm 2,53 a
Peonidina 3-O-acetilglucósido	2,18 \pm 1,51 c	2,89 \pm 0,7 bc	0,25 \pm 0,21 c	3,03 \pm 1,39 bc	5,5 \pm 1,62 ab	8,3 \pm 1,71 a
Malvidina 3-O-acetilglucósido	23,47 \pm 7,97 ab	39,68 \pm 2,22 a	10,29 \pm 3,31 c	32,68 \pm 12,49 a	37,57 \pm 10,19 a	26,35 \pm 8,03 ab
Petunidina 3-O- <i>p</i> -cumaroilglucósido	2,94 \pm 2,32 c	4,38 \pm 1,28 bc	0,47 \pm 0,35 c	4,47 \pm 1,57 bc	8,61 \pm 1,03 ab	10,24 \pm 3,06 a
Peonidina 3-O- <i>p</i> -cumaroilglucósido	3,5 \pm 1,8 bc	8,36 \pm 2,06 ab	1,5 \pm 0,78 c	5,59 \pm 2,28 ab	8,76 \pm 3,18 a	9,21 \pm 2,46 a
Malvidina 3-O- <i>p</i> -cumaroilglucósido	10,58 \pm 6,96 b	16,24 \pm 2,89 ab	8,05 \pm 6,57 b	10,02 \pm 4,23 b	19,01 \pm 6,81 ab	22,74 \pm 8,46 a

Letras distintas dentro de la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según una prueba de Tukey HSD.

Cuadro 4.2. Concentraciones de LMW-CPs [media (mg/L) \pm SD] en vinos Malbec añada 2016 de diferentes departamentos de Mendoza.

Compuesto	Luján de Cuyo	Maipú	Rivadavia	San Carlos	Tunuyán	Tupungato
(-)-Gallocatequina	11,55 \pm 4,1 a	14,58 \pm 3,87 a	18,36 \pm 1,05 a	12,85 \pm 1,76 a	11,24 \pm 2 a	14,88 \pm 3,69 a
Kaempferol-3-glucósido	0,76 \pm 0,18 ab	0,62 \pm 0,07 b	0,62 \pm 0,06 b	0,69 \pm 0,11 b	0,87 \pm 0,17 ab	0,95 \pm 0,08 a
Ácido galico	25,35 \pm 5,74 ab	28,23 \pm 2,84 ab	37,89 \pm 12,52 a	20,45 \pm 2,51 b	15,51 \pm 0,48 b	19,73 \pm 8,11 b
OH-tyrosol	3,66 \pm 1,47 a	1,61 \pm 0,48 b	4,06 \pm 0,4 a	2,87 \pm 0,5 ab	3,06 \pm 1,28 ab	1,73 \pm 0,65 b
Tyrosol	30,27 \pm 11,32 ab	29,09 \pm 1,43 ab	14,85 \pm 10,84 b	35,38 \pm 6,41 a	40,11 \pm 1,04 a	37,56 \pm 3,9 a
(+)-Catequina	25,42 \pm 8,54 a	26,21 \pm 2,41 a	20,24 \pm 9,48 a	26,3 \pm 3,5 a	25,33 \pm 3,56 a	28,14 \pm 13,95 a
Ácido sirínigico	14,66 \pm 3,63 b	13,44 \pm 2 bc	27,81 \pm 1,56 a	12,78 \pm 1,5 bc	12,09 \pm 1,07 bc	9,28 \pm 0,83 c
(-)-Epicatequina	30,06 \pm 12,09 a	25 \pm 6,6 ab	23,09 \pm 3,47 ab	23,07 \pm 4,34 ab	15,32 \pm 0,39 b	17 \pm 6,71 b
Astilbina	4,08 \pm 1,75 c	4,39 \pm 2,24 bc	3,63 \pm 1,39 c	4,79 \pm 1,33 bc	7,68 \pm 1,03 ab	8,82 \pm 1,12 a
Ácido cafeico	12,38 \pm 5,11 b	10,05 \pm 5,09 bc	29,92 \pm 5,03 a	9,25 \pm 4,55 bc	4,19 \pm 2,12 bc	3,04 \pm 1,84 c
Ácido p-cumárico	25,95 \pm 8,09 ab	17,75 \pm 4,74 bc	40,61 \pm 5,37 a	22,37 \pm 9,68 b	15,32 \pm 7,01 bc	5,83 \pm 2,28 c
Ácido ferúlico	1,15 \pm 0,11 b	1,01 \pm 0,06 b	2,5 \pm 0,36 a	0,98 \pm 0,4 b	0,97 \pm 0,09 b	0,89 \pm 0,45 b
Polidatina	1,4 \pm 2,31 b	3,95 \pm 2,01 ab	1,12 \pm 0,97 b	0,58 \pm 0,28 b	1,72 \pm 1,76 ab	4,96 \pm 2,18 a
<i>Trans</i> -resveratrol	4,71 \pm 2,01 a	4,45 \pm 1,81 a	4,11 \pm 1,09 a	5,69 \pm 1,51 a	7,15 \pm 1,36 a	7,49 \pm 2,61 a
Quercetina	8,26 \pm 6,02 a	9,97 \pm 5,52 a	6,86 \pm 0,5 a	7,2 \pm 2,46 a	12,38 \pm 1,53 a	11,96 \pm 2,17 a
Quercetina-3-glucósido	0,65 \pm 0,12 a	0,78 \pm 0,11 a	0,6 \pm 0,04 a	0,85 \pm 0,33 a	0,8 \pm 0,16 a	0,67 \pm 0,14 a

Letras distintas dentro de la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según una prueba de Tukey HSD.

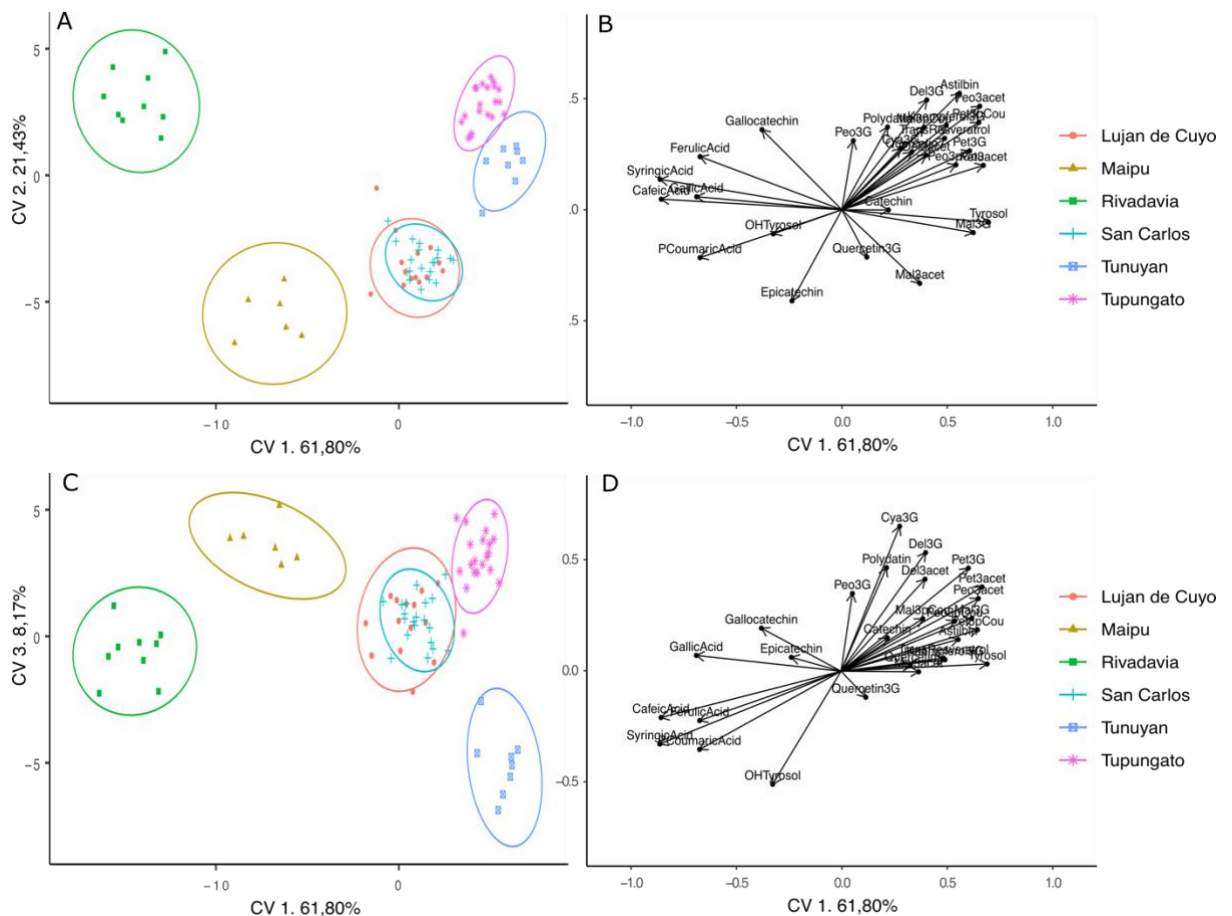


Figura 4.1. Análisis de variables canónicas (CVA) de CPs medidos en vinos Malbec de cosecha 2016 de 6 departamentos de Mendoza, Argentina. Cada punto es la media de réplicas de una parcela. Las elipses que se superponen no son significativamente diferentes entre sí con un nivel de confianza del 95 %. Identificación de compuesto: Del3G = Delfinidina 3-O-glucósido, Cya3G = Cianidina 3-O-glucósido, Pet3G = Petunidina 3-O-glucósido, Peo3G = Peonidina 3-O-glucósido, Mal3G = Malvidina 3-O-glucósido, Del3acet = Delfinidina 3-O-acetilglucósido, Pet3acet = Petunidina 3-O-acetilglucósido, Peo3acet = Peonidina 3-O-acetilglucósido, Mal3acet = Malvidina 3-O-acetilglucósido, Pet3pCou = Petunidina 3-O-p-cumaroilglucósido, Peo3pCou = Peonidina 3-O-p-cumaroilglucósido, Mal3pCou = Malvidina 3-O-p-cumaroilglucósido, GallicAcid = Ácido galico, OHTyrosol = OH-tyrosol, Tyrosol = Tyrosol, Catechin = (+)-Catequina, SyringicAcid = Ácido siríngico, Epicatechin = (-)-Epicatequina, Astilbin = Astilbina, CafeicAcid = Ácido cafeico, pCoumaricAcid = Ácido p-cumárico, FerulicAcid = Ácido ferúlico, Polydatin = Polidatina (trans-piceid), transResveratrol = Transresveratrol, Quercetin3G = Quercetina-3-glucósido, Quercetin = Quercetina, Gallocatechin = (-)-Galocatequina.

4.2.1.2. Añada 2017

En los Cuadros 4.3 y 4.4 se pueden observar las concentraciones de antocianos y CPs para la cosecha 2017. Al igual que en la cosecha 2016, las concentraciones más altas de antocianos se encuentran en los vinos elaborados con uvas provenientes de Tupungato, mientras que las concentraciones más bajas se encuentran en los vinos de Rivadavia, en la zona Este de Mendoza. No se encontraron diferencias significativas en

los compuestos Delfinidina 3-O-glucósido y Petunidina 3-O-*p*-cumaroilglucósido entre los departamentos. El antociano predominante fue Malvidina 3-O-glucósido, con una concentración del 53% y 75% del total de antocianos, y una media del 65%. El departamento de Tupungato, ubicado en el Valle de Uco a mayor altitud y con clima frío, presentó la menor concentración relativa de Malvidina 3-O-glucósido, con una media del 58%, mientras que la zona de Rivadavia, ubicada al este de Mendoza con clima cálido, tuvo una concentración relativa mayor, con una media del 73%. En cuanto a la Cianidina 3-O-glucósido y Peonidina 3-glucósido, las concentraciones relativas fueron más altas en los vinos producidos con uvas de Tupungato. Los departamentos Tupungato y Rivadavia son dos lugares muy distintos en términos climáticos (ver Figura 3.1), y los vinos no solo presentan diferencias en las concentraciones de cada antociano individual, sino que también las concentraciones relativas son muy distintas entre los vinos de ambas regiones.

Las concentraciones encontradas en vinos 2017 son muy diferentes a los vinos 2016. La media de concentraciones de todos los antocianos en vinos 2017 es de 1228 mg/L, mientras que la media de todos los vinos 2016 es de 470 mg/L. El clima de la temporada 2017 fue mucho más cálido y seco en comparación con la cosecha 2016.

Las concentraciones de CPs de los vinos de 2017 se encuentran en el Cuadro 4.4. Los compuestos con más alta concentración fueron (-)-epicatequina, (+)-catequina y ácido gálico, con una media de concentración de 32,3 mg/L, 30,1 mg/L y 29,6 mg/L, respectivamente. No se encontraron diferencias significativas entre los departamentos para los compuestos (-)-gallocatequina, kaempferol-3-glucósido, ácido gálico, tyrosol, (+)-catequina, ácido sirínico, (-)-epicatequina, polidatina y *trans*-resveratrol. En el año 2017, solamente 7 de los 16 compuestos presentaron diferencias significativas, mientras que en la cosecha 2016 se encontraron diferencias significativas en 11 compuestos.

El compuesto quercetina mostró concentraciones más altas en los departamentos de mayor altitud como Tupungato, mientras que se observaron concentraciones considerablemente menores en Rivadavia durante la cosecha de 2017. Esto podría deberse a la diferencia de altitud, ya que a mayor altitud existe una mayor exposición al sol (y, por lo tanto, a la radiación UV-B), lo cual puede aumentar la concentración de quercetina (Price et al., 1995). Sin embargo, estas diferencias en las concentraciones de quercetina no fueron significativas en el año 2016. Una de las posibles razones es que la temporada 2016 fue fría y lluviosa, lo que pudo haber minimizado el efecto de la radiación UV-B asociado a la altitud.

El análisis MANOVA realizado con los datos de la cosecha 2017 reveló que al menos una de las 6 regiones era significativamente diferente de las demás cuando se comparaban todas las variables de CPs ($p < 0,0001$). En la Figura 4.2 se muestra un análisis de variables canónicas (CVA) que utiliza todas las variables de CPs, incluyendo aquellos sin diferencias significativas. Los ejes CV1 y CV2 explican la mayor parte de la variabilidad, un total del 84,3%. Las elipses de confianza indican que los departamentos Rivadavia, Maipú y Tupungato son significativamente diferentes entre sí, con un valor de $p < 0,05$. Además, se ha añadido el eje CV3, el cual explica el 7,9% de la variabilidad encontrada y muestra diferencias significativas entre los departamentos Tunuyán y San Carlos.

Al igual que en la cosecha 2016, no se encontraron diferencias significativas entre los departamentos de San Carlos y Luján de Cuyo. Las variables ácido cafeico, ácido p-cumárico y ácido gálico se asociaron a los departamentos de Rivadavia y Maipú, lo que contribuye a una mejor separación con los departamentos de Tunuyán y Tupungato.

Cuadro 4.3. Concentraciones de antocianos [media (mg/L) \pm SD] en vinos Malbec añada 2017 de diferentes departamentos de Mendoza.

Compuesto	Luján de Cuyo	Maipú	Rivadavia	San Carlos	Tunuyán	Tupungato
Cianidina 3-O-glucósido	58,2 \pm 32,55 bc	22,8 \pm 13,82 bc	7,03 \pm 4 c	86,06 \pm 25,31 b	77,6 \pm 25,01 bc	161,37 \pm 43,28 a
Petunidina 3-O-glucósido	5,06 \pm 2,01 bc	3,62 \pm 0,92 bc	2,11 \pm 0,62 c	8,54 \pm 2,49 ab	7,97 \pm 2,37 abc	10,28 \pm 3,69 a
Peonidina 3-O-glucósido	100,51 \pm 37,76 b	55,38 \pm 19,23 bc	23,28 \pm 9,15 c	137,58 \pm 29,06 b	129,39 \pm 27,51 b	204,43 \pm 41,58 a
Delfinidina 3-O-glucósido	16,32 \pm 9,59 b	9,35 \pm 5,91 b	9,02 \pm 3,28 b	38,46 \pm 17,49 ab	34,49 \pm 12,03 ab	67,14 \pm 24,78 a
Malvidina 3-O-glucósido	710,03 \pm 81,04 bc	550,75 \pm 105,26 cd	386,56 \pm 32,13 d	800,45 \pm 53,55 ab	783,63 \pm 40,02 ab	903,28 \pm 109,27 a
Delfinidina 3-O-acetilglucósido	9,74 \pm 2,87 a	12,28 \pm 3,21 a	4,48 \pm 1,77 a	12,44 \pm 1,52 a	11,53 \pm 8,53 a	7,58 \pm 5,11 a
Petunidina 3-O-acetilglucósido	10,18 \pm 4,62 ab	11,82 \pm 3,97 ab	6,12 \pm 1,35 b	9,03 \pm 3,2 b	8,06 \pm 3,43 b	16,7 \pm 5,5 a
Peonidina 3-O-acetilglucósido	3,29 \pm 1,35 b	2,86 \pm 0,26 b	1,43 \pm 0,91 b	4,65 \pm 1,33 b	5,82 \pm 1,8 ab	10,43 \pm 4,3 a
Malvidina 3-O-acetilglucósido	96,24 \pm 10,06 a	78,2 \pm 11,58 ab	48,3 \pm 10,78 b	101,39 \pm 8,59 a	98,81 \pm 10,89 a	105,56 \pm 15,57 a
Petunidina 3-O- <i>p</i> -cumaroilglucósido	11,82 \pm 3,02 a	12,06 \pm 0,74 a	6,86 \pm 1,97 a	14,07 \pm 2,39 a	10,61 \pm 8,16 a	7,98 \pm 4,92 a
Peonidina 3-O- <i>p</i> -cumaroilglucósido	9,08 \pm 2,05 ab	8,66 \pm 1,6 ab	4,3 \pm 1,14 b	11,91 \pm 2,98 a	13,57 \pm 3 a	11,48 \pm 4,15 a
Malvidina 3-O- <i>p</i> -cumaroilglucósido	39,12 \pm 5,56 ab	43,54 \pm 0,73 ab	27,58 \pm 6,99 b	39,66 \pm 5,24 ab	51,32 \pm 11,59 a	48,06 \pm 10,88 a

Letras distintas dentro de la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según una prueba de Tukey HSD.

Cuadro 4.4. Concentraciones de LMW-CPs [media (mg/L) \pm SD] en vinos Malbec añada 2017 de diferentes departamentos de Mendoza.

Compuesto	Luján de Cuyo	Maipú	Rivadavia	San Carlos	Tunuyán	Tupungato
(-)-Galocatequina	7,08 \pm 2,88 a	7,12 \pm 1,3 a	5,75 \pm 4,25 a	8,32 \pm 1,3 a	8,34 \pm 0,87 a	9,02 \pm 1,93 a
Kaempferol-3-glucósido	10,91 \pm 1,93 a	12,25 \pm 2,66 a	10,48 \pm 4,43 a	11,64 \pm 2,84 a	13,74 \pm 0,89 a	11,73 \pm 3,9 a
Ácido galico	33,48 \pm 10,67 a	29,48 \pm 6,16 a	34,42 \pm 16,16 a	28,37 \pm 2,27 a	30,94 \pm 4,31 a	24,28 \pm 4,6 a
OH-tyrosol	0,35 \pm 0,3 c	0,73 \pm 0,22 bc	0,54 \pm 0,16 c	4,15 \pm 2,34 ab	5,48 \pm 0,97 a	3,4 \pm 1,43 ab
Tyrosol	16,54 \pm 3,13 a	16,09 \pm 2,28 a	19,56 \pm 5,14 a	18,16 \pm 1,9 a	21,6 \pm 3,85 a	15,86 \pm 2,94 a
(+)-Catequina	23,82 \pm 3,54 a	25,05 \pm 4,07 a	23,36 \pm 12,39 a	32,83 \pm 12,18 a	29,56 \pm 2,87 a	38,75 \pm 15,17 a
Ácido siríngeo	10,84 \pm 4,02 a	15,88 \pm 2,39 a	15,26 \pm 4,73 a	12,5 \pm 2,02 a	15,93 \pm 1,21 a	11,27 \pm 1,48 a
(-)-Epicatequina	37,66 \pm 16,73 a	20 \pm 5,51 a	31,55 \pm 19,54 a	24,37 \pm 6,24 a	31,16 \pm 6,06 a	38,79 \pm 16,06 a
Astilbina	13,18 \pm 5,02 b	16,74 \pm 2,12 ab	14,68 \pm 4,58 b	15,93 \pm 2 b	17,41 \pm 4,95 ab	26,89 \pm 8,03 a
Ácido cafeico	10,22 \pm 4,76 b	6,19 \pm 0,28 bc	21,97 \pm 12,05 a	6,45 \pm 1,92 bc	3,59 \pm 3,86 bc	0,85 \pm 0,69 c
Ácido p-cumárico	28,17 \pm 13,38 a	15,88 \pm 1,21 ab	25,96 \pm 9,38 a	21,67 \pm 5,71 a	13,5 \pm 10,34 ab	4,63 \pm 2,85 b
Ácido ferúlico	0,45 \pm 0,34 ab	0,72 \pm 0,13 ab	0,23 \pm 0,27 b	0,82 \pm 0,2 a	0,69 \pm 0,13 ab	0,66 \pm 0,24 ab
Polidatina	0,3 \pm 0,18 a	0,96 \pm 0,07 a	0,2 \pm 0,17 a	0,36 \pm 0,42 a	0,79 \pm 0,53 a	1,61 \pm 1,39 a
<i>Trans</i> -resveratrol	4,6 \pm 3,16 a	6,22 \pm 5,04 a	0,95 \pm 0,84 a	6,83 \pm 3,46 a	6,19 \pm 4,52 a	5,4 \pm 6,44 a
Quercetina	8,75 \pm 6,45 ab	10,58 \pm 0,22 ab	8,33 \pm 4,71 ab	7,39 \pm 0,94 b	12,93 \pm 1,61 ab	16,43 \pm 5,2 a
Quercetina-3-glucósido	2,97 \pm 0,89 ab	3,29 \pm 0,52 ab	2,91 \pm 0,44 ab	2,56 \pm 0,67 b	4,02 \pm 0,84 ab	5,68 \pm 2,96 a

Letras distintas dentro de la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según una prueba de Tukey HSD.

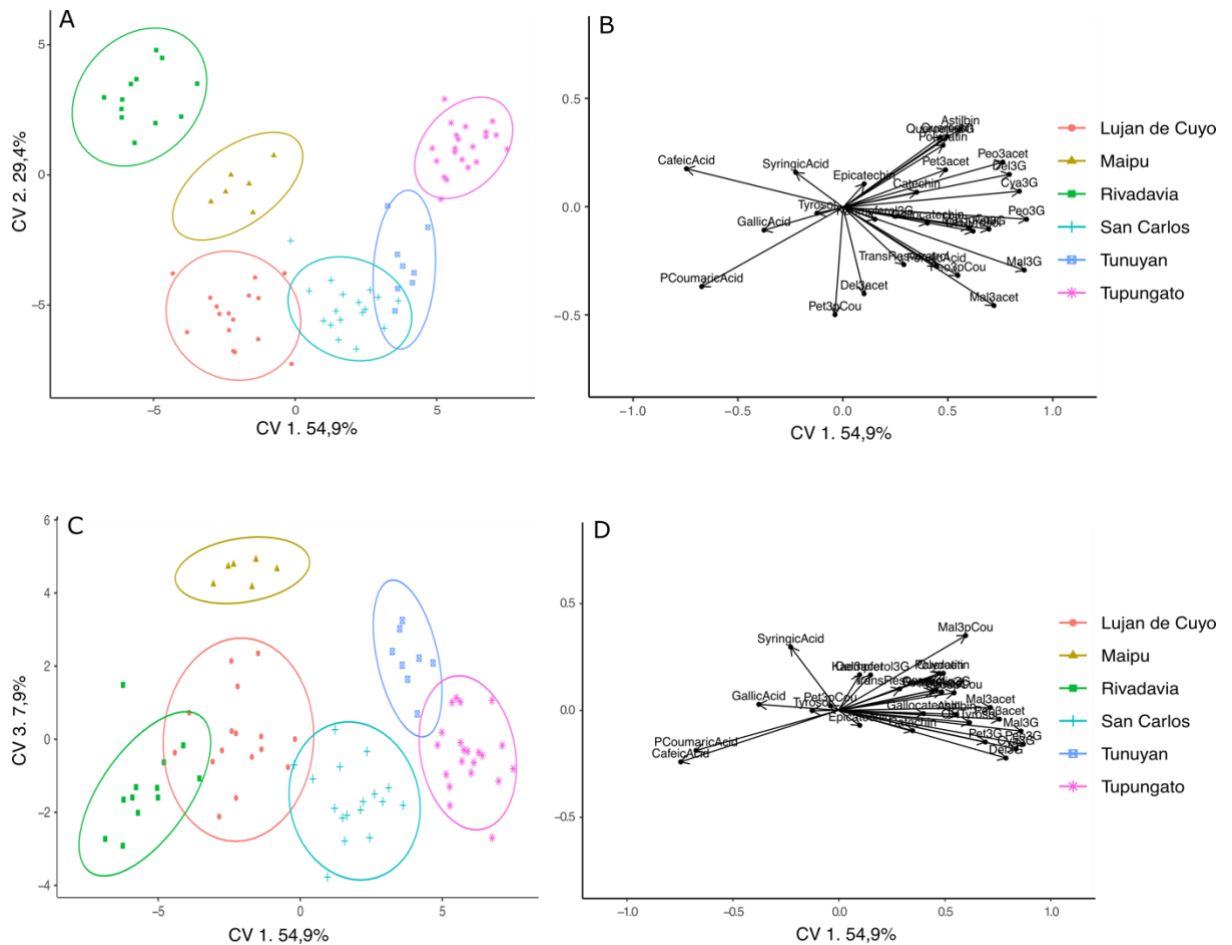


Figura 4.2. Análisis de variables canónicas (CVA) de CPs medidos en vinos Malbec de cosecha 2017 de 6 departamentos en Mendoza, Argentina. Cada punto es la media de réplicas de una parcela. Las elipses que se superponen no son significativamente diferentes entre sí con un nivel de confianza del 95%.

4.2.1.3. Añada 2018

Los Cuadros 4.5 y 4.6 muestran las concentraciones de antocianos y CPs en los vinos de la cosecha 2018. Al igual que en las cosechas anteriores, se observa que las concentraciones más altas de antocianos se encuentran en los departamentos del Valle de Uco (San Carlos, Tunuyán y Tupungato), mientras que las concentraciones más bajas se encuentran en el departamento de Rivadavia, ubicado en la zona este de Mendoza. Estos resultados son consistentes con los encontrados en las cosechas 2016 y 2017. No se encontraron diferencias significativas entre los departamentos en los compuestos Delfinidina 3-O-acetilglucósido, peonidina 3-O-*p*-cumaroilglucósido y petunidina 3-O-*p*-cumaroilglucósido. El compuesto petunidina 3-O-*p*-cumaroilglucósido es el único que se encontró sin diferencias significativas entre departamentos en las cosechas 2017 y 2018. El antociano predominante fue malvidina 3-O-glucósido, con una concentración

media de 65% del total de antocianos y rangos entre el 57% y el 77%. La concentración relativa de malvidina 3-O-glucósido es consistente con las cosechas anteriores. El departamento de Tupungato presentó la concentración relativa más baja de malvidina 3-O-glucósido, con un promedio de 60%, mientras que Rivadavia, ubicado al este de Mendoza y con clima cálido, tuvo una concentración relativa mayor, con un promedio de 73%. Estas concentraciones son consistentes con las observadas en las cosechas 2016 y 2017. En cuanto a cianidina 3-O-glucósido y peonidina 3-O-glucósido, las concentraciones relativas son mayores en los vinos producidos con uvas de Tupungato, seguido de Tunuyán y San Carlos (Cuadro 4.5)

Las concentraciones de CPs en los vinos 2018 se encuentran en el Cuadro 4.6. El compuesto predominante fue la (-)-epicatequina, con una concentración de 34% y 40,7%, con un promedio de 37%. En los vinos de Luján de Cuyo, la concentración de (-)-epicatequina fue mayor, con diferencias significativas respecto a los vinos elaborados con uvas provenientes de Tupungato. En añadas anteriores, la (-)-epicatequina no presentó diferencias significativas. Los ácidos cafeico y p-cumárico fueron significativamente más altos en los vinos de Rivadavia, tanto a nivel de concentración relativa como total. La concentración relativa de ácido cafeico es del 14%, mientras que en Tupungato es del 2,5%.

No se encontraron diferencias significativas entre los departamentos en los compuestos (-)-gallocatequina, OH-tyrosol, tyrosol, (+)-catequina, *trans*-resveratrol, quercetina y quercetina-3-glucósido.

El análisis MANOVA con los datos de la cosecha 2018 indicó que al menos una de las 6 regiones era significativamente diferente de las demás al comparar todas las variables de CPs ($p < 0,0001$). La Figura 4.3 muestra un análisis de variables canónicas (CVA) utilizando todas las variables de CPs, incluyendo aquellos compuestos sin diferencias significativas. Los ejes CV1 (58,8%) y CV2 (20,7%) explican la mayor variabilidad encontrada, mostrando que los departamentos de San Carlos y Tunuyán son significativamente diferentes, con un $p < 0,05$. Los departamentos Maipú y Rivadavia forman un grupo, y Luján de Cuyo y Rivadavia otro.

A diferencia de añadas anteriores, en la cosecha 2018 el departamento Luján de Cuyo se separa significativamente de San Carlos. Un estudio de Buscema & Boulton (2015) muestra que en la cosecha 2011 San Carlos y Luján de Cuyo tenían perfiles de CPs similares, utilizando análisis quimiométricos con perfiles de antocianos y LMW, y usando un $p < 0,1$. Observando los datos climáticos en el Cuadro 3.3, la temporada 2018

fue significativamente más seca comparada con 2016 y 2017, y las temperaturas sugieren que es una añada intermedia entre las de 2016 y 2017, si se tiene en cuenta los GDD. Es llamativo no encontrar diferencias entre los departamentos de Tupungato y Maipú, ya que climática y edafológicamente son lugares muy distintos (Corona, 2019)

4.2.2. Discriminación de vinos de acuerdo a la añada

Para analizar el efecto del año de cosecha, se llevó a cabo un ANOVA, un PCA y PLS-DA. Los datos se dividieron en dos partes, el 66,6% fue utilizado para entrenar el modelo, y el 33,3% restante fue utilizado para crear el Cuadro de matriz de confusión. Los resultados del ANOVA-one way mostraron que había diferencias significativas en 23 CPs ($p \leq 0,05$) (Cuadro 4.7). No se encontraron diferencias significativas en la delfinidina 3-O-glucósido, delfinidina 3-O-acetilglucósido, peonidina 3-O-acetilglucósido, ácido p-cumárico, ácido cafeico y quercetina. Las concentraciones de cianidina 3-O-glucósido, peonidina 3-O-glucósido, malvidina 3-O-glucósido, malvidina 3-O-acetilglucósido, peonidina 3-O-*p*-cumaroilglucósido y malvidina 3-O-*p*-cumaroilglucósido fueron significativamente menores en los vinos de la cosecha 2016. El compuesto petunidina 3-O-glucósido fue significativamente mayor en la cosecha 2016 comparado con las cosechas 2017 y 2018.

Los resultados del PCA y PLS-DA (Figura 4.4) muestran que la concentración y los perfiles de los CPs fueron fuertemente dependientes de la cosecha con una clara separación durante los tres años del estudio. Considerando los compuestos que muestran diferencias significativas, la cosecha 2016 fue la más asociada con los niveles de polidatina (también conocido como *trans*-piceido), ácido ferúlico, tyrosol, (-)-galocatequina, (+)-catequina, ácido sirínico, *trans*-resveratrol y petunidina 3-O-glucósido. La cosecha 2018 se asoció a malvidina 3-O-glucósido, malvidina 3-O-acetilglucósido, malvidina 3-O-*p*-cumaroilglucósido, (-)-epicatequina, astilbina, peonidina 3-O-glucósido y cianidina 3-O-glucósido. Es decir, se asociaron diferentes CPs a las distintas añadas. Luego de una validación cruzada, la Tasa de Error Equilibrado de PLS-DA fue 0 usando $n_{comp} = 4$, logrando así un buen desempeño en la matriz de confusión (Cuadro 4.8).

Cuadro 4.5. Concentraciones de antocianos [media (mg/L) \pm SD] en vinos Malbec añada 2018 de diferentes departamentos de Mendoza.

Compuesto	Luján de Cuyo	Maipú	Rivadavia	San Carlos	Tunuyán	Tupungato
Cianidina 3-O-glucósido	41,27 \pm 39,5 b	32,86 \pm 0,35 b	11,04 \pm 2,95 b	79,11 \pm 41,06 ab	86,77 \pm 31,65 ab	130,29 \pm 27,04 a
Petunidina 3-O-glucósido	0,25 \pm 0,14 ab	0,17 \pm 0,03 ab	0,05 \pm 0,05 b	0,3 \pm 0,19 ab	0,48 \pm 0,02 a	0,3 \pm 0,09 ab
Peonidina 3-O-glucósido	80,07 \pm 53,06 bc	71,58 \pm 2,68 bc	27,86 \pm 11,44 c	132,23 \pm 47,94 ab	142,52 \pm 30,59 ab	170,93 \pm 22,47 a
Delfinidina 3-O-glucósido	11,92 \pm 2,44 b	11,85 \pm 2,04 b	7,37 \pm 2,2 b	16,88 \pm 10,17 b	23,03 \pm 17,01 ab	39,87 \pm 8,19 a
Malvidina 3-O-glucósido	668,66 \pm 159,7 bc	651,36 \pm 47,27 bc	472,25 \pm 18,21 c	914,05 \pm 144,77 a	907,67 \pm 76,26 ab	864,65 \pm 63,03 ab
Delfinidina 3-O-acetilglucósido	8,46 \pm 4,73 a	12,55 \pm 5,51 a	5,18 \pm 1,57 a	6,51 \pm 3,73 a	11,56 \pm 2,89 a	7,74 \pm 4,41 a
Petunidina 3-O-acetilglucósido	8,39 \pm 2,5 ab	13,14 \pm 4,89 ab	6,51 \pm 1,62 b	15,21 \pm 4,91 a	10,04 \pm 3 ab	13,86 \pm 3,81 ab
Peonidina 3-O-acetilglucósido	3,18 \pm 0,54 a	3,27 \pm 0,05 a	2,28 \pm 2,23 a	3,35 \pm 1,44 a	4,49 \pm 1,57 a	3,88 \pm 0,98 a
Malvidina 3-O-acetilglucósido	99,95 \pm 29,22 bc	101 \pm 14,59 abc	59,37 \pm 2,7 c	143,23 \pm 29,29 a	135,69 \pm 12,09 ab	114,81 \pm 12,47 ab
Petunidina 3-O- <i>p</i> -cumaroilglucósido	8,08 \pm 6,39 a	13,34 \pm 1,66 a	7,67 \pm 3,32 a	8,67 \pm 6,09 a	8,9 \pm 6,23 a	6,11 \pm 4,85 a
Peonidina 3-O- <i>p</i> -cumaroilglucósido	7,53 \pm 3,4 c	11,03 \pm 2,15 abc	4,61 \pm 3,52 c	10,03 \pm 2,08 bc	13,83 \pm 1,92 ab	14,38 \pm 1,88 a
Malvidina 3-O- <i>p</i> -cumaroilglucósido	48,81 \pm 12,81 a	51,14 \pm 9,07 a	43,65 \pm 16,75 a	59,22 \pm 5,13 a	63,28 \pm 2,13 a	61,89 \pm 8,01 a

Letras distintas dentro de la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según una prueba de Tukey HSD.

Cuadro 4.6. Concentraciones de LMW-CPs [media (mg/L) \pm SD] en vinos Malbec añada 2018 de diferentes departamentos de Mendoza.

Compuesto	Luján de Cuyo	Maipú	Rivadavia	San Carlos	Tunuyán	Tupungato
(-)-Gallocatequina	4,12 \pm 1,04 a	4,41 \pm 0,21 a	4,86 \pm 1,18 a	3,53 \pm 1,88 a	4,4 \pm 0,66 a	3,41 \pm 0,91 a
Kaempferol-3-glucósido	7,16 \pm 1,08 a	9,22 \pm 0,23 ab	6,28 \pm 3,61 b	8,15 \pm 2,42 ab	11,99 \pm 1,96 a	6,04 \pm 0,89 b
Ácido galico	16,93 \pm 2,02 ab	14,81 \pm 4,71 ab	19,25 \pm 3,12 a	17,07 \pm 2,58 ab	15,73 \pm 3,72 ab	13,06 \pm 1,95 b
OH-tyrosol	0,8 \pm 0,21 a	0,91 \pm 0,01 a	0,75 \pm 0,35 a	1,08 \pm 0,15 a	1,71 \pm 1,19 a	1,35 \pm 0,51 a
Tyrosol	17,49 \pm 9,84 a	4,91 \pm 2,2 a	9,52 \pm 3,87 a	12,69 \pm 6,85 a	11,53 \pm 7,18 a	8,05 \pm 7,52 a
(+)-Catequina	2,38 \pm 1,06 a	1,56 \pm 0,18 a	1,21 \pm 1,09 a	3,91 \pm 5,23 a	1,55 \pm 0,26 a	2,69 \pm 1,29 a
Ácido siríngeo	5,54 \pm 1,74 ab	4,1 \pm 1,91 ab	4,86 \pm 0,62 ab	6,03 \pm 1,6 a	4,11 \pm 1,06 ab	3,45 \pm 0,81 b
(-)-Epicatequina	83,59 \pm 35,8 a	52,58 \pm 11,19 ab	89,55 \pm 30,58 a	62,21 \pm 11,84 ab	69,93 \pm 20,35 ab	40,79 \pm 10,41 b
Astilbina	18,04 \pm 2,4 ab	22,77 \pm 4,32 ab	19,21 \pm 10,5 ab	25,88 \pm 3,99 a	24,13 \pm 8,26 ab	16,59 \pm 2,69 b
Ácido cafeico	8,33 \pm 2,13 b	3,19 \pm 0,75 b	34,01 \pm 22,81 a	9,1 \pm 6,63 b	10,26 \pm 6,72 b	3,1 \pm 2,59 b
Ácido p-cumárico	22,75 \pm 4,98 ab	6,1 \pm 3,64 cd	33,5 \pm 10,54 a	17,48 \pm 4,06 bc	12,2 \pm 6,67 bcd	3,64 \pm 2,44 d
Ácido ferúlico	0,61 \pm 0,08 ab	0,36 \pm 0,04 b	1,4 \pm 1,13 a	0,61 \pm 0,2 b	0,42 \pm 0,17 b	0,29 \pm 0,09 b
Polidatina	0,71 \pm 0,23 b	1,61 \pm 0,2 ab	0,72 \pm 0,24 ab	0,63 \pm 0,31 b	1,02 \pm 0,61 ab	1,69 \pm 0,67 a
<i>Trans</i> -resveratrol	1,77 \pm 1,29 a	1,9 \pm 1,19 a	2,38 \pm 2,93 a	1,64 \pm 1,19 a	4,43 \pm 4,01 a	2,13 \pm 0,66 a
Quercetina	7,38 \pm 4,05 a	7,63 \pm 0,94 a	6,09 \pm 2,99 a	8,12 \pm 2,65 a	12,35 \pm 5,46 a	10,33 \pm 3,96 a
Quercetina-3-glucósido	1,95 \pm 1,32 a	1,22 \pm 1,14 a	1,65 \pm 0,51 a	2,45 \pm 1,08 a	2,92 \pm 1,77 a	1,15 \pm 0,92 a

Letras distintas dentro de la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según una prueba de Tukey HSD.

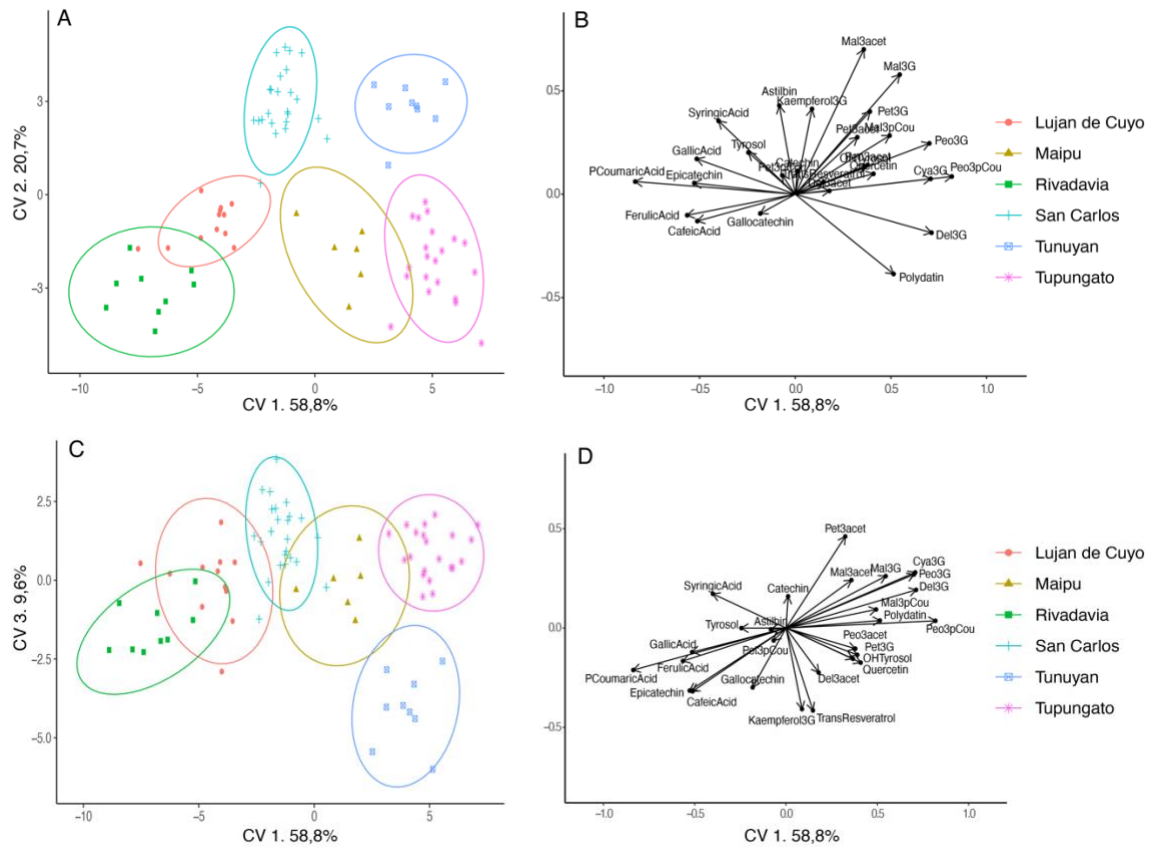


Figura 4.3. Análisis de variables canónicas (CVA) de CPs medidos en vinos Malbec de cosecha 2018 de 6 departamentos en Mendoza, Argentina. Cada punto es la media de réplicas de una parcela. Las elipses que se superponen no son significativamente diferentes entre sí con un nivel de confianza del 95%.

Cuadro 4.7. Concentraciones de antocianos [media (mg/L) \pm SD] en vinos Malbec de Mendoza en tres añadas consecutivas.

Añada	Delfinidina 3-O-glucósido	Cianidina 3-O-glucósido	Petunidina 3-O-glucósido	Peonidina 3-O-glucósido	Malvidina 3-O-glucósido	Delfinidina 3-O-acetilglucósido	Petunidina 3-O-acetilglucósido
2016	25,4 \pm 19,4 a	3,1 \pm 2,2 b	38,4 \pm 22,9 a	13,6 \pm 7,7 b	314,9 \pm 72,0 b	7,5 \pm 3,4 a	8,6 \pm 4,3 b
2017	34,2 \pm 26,8 a	82,2 \pm 60,4 a	6,9 \pm 3,7 b	123,3 \pm 67,7 a	728,0 \pm 184,9 a	9,4 \pm 4,6 a	10,9 \pm 5,3 ab
2018	21,4 \pm 14,6 a	76,6 \pm 50,0 a	0,27 \pm 0,2 b	119,6 \pm 57,9 a	795,6 \pm 182,4 a	8,0 \pm 4,2 a	12,6 \pm 4,7 a
	Peonidina 3-O-acetilglucósido	Malvidina 3-O-acetilglucósido	Petunidina 3-O-p-cumaroilglucósido	Peonidina 3-O-p-cumaroilglucósido	Malvidina 3-O-p-cumaroilglucósido		
2016	4,2 \pm 3,1 a	27,9 \pm 11,7 c	5,7 \pm 3,9 b	6,2 \pm 3,4 b	14,7 \pm 8,3 c		
2017	5,3 \pm 3,9 a	91,8 \pm 22,0 b	10,5 \pm 4,5 a	10,1 \pm 3,9 a	41,4 \pm 10,2 b		
2018	3,5 \pm 1,3 a	116,2 \pm 32,9 a	8,2 \pm 5,2 ab	10,7 \pm 3,9 a	56,5 \pm 10,6 a		

Letras distintas dentro de la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según una prueba de Tukey HSD.

Cuadro 4.8. Concentraciones de LMW-CPs [media (mg/L) \pm SD] en vinos Malbec de Mendoza en tres añadas consecutivas.

Añada	Ácido gálico	OH-tyrosol	Tyrosol	(+)- Catequina	Ácido siríntrico	(-)- Epicatequina	Astilbina	Ácido cafeico	Ácido p- cumárico
2016	23,1 \pm 8,6 b	2,8 \pm 1,2 a	32,8 \pm 9,8 a	25,8 \pm 8,5 a	13,8 \pm 5,7 a	22,1 \pm 8,1 b	5,9 \pm 2,5 b	10,0 \pm 8,8 a	19,6 \pm 12,4 a
2017	29,7 \pm 8,6 a	2,5 \pm 2,3 a	17,6 \pm 3,5 b	30,1 \pm 11,7 a	12,8 \pm 3,3 a	32,2 \pm 14,3 b	18,1 \pm 7,3 a	7,6 \pm 8,3 a	18,1 \pm 11,6 a
2018	15,9 \pm 3,2 c	1,1 \pm 0,5 b	11,1 \pm 7,4 c	2,6 \pm 3,0 b	4,8 \pm 1,6 b	63,0 \pm 24,8 a	21,1 \pm 6,1 a	9,9 \pm 11,9 a	15,0 \pm 10,7 a
	Ácido ferúlico	Polidatina	<i>trans</i> - resveratrol	Quercetina- 3-glucósido	Kaempferol- 3-glucósido	Quercetina	(-)- Gallocatequina		
2016	1,2 \pm 0,6 a	2,3 \pm 2,4 a	5,9 \pm 2,2 a	0,7 \pm 0,2 c	0,8 \pm 0,2 c	9,4 \pm 3,8 a	13,7 \pm 3,5 a		
2017	0,6 \pm 0,3 b	0,7 \pm 0,9 b	5,0 \pm 4,4 a	3,7 \pm 1,9 a	11,6 \pm 3,0 a	10,9 \pm 5,4 a	7,8 \pm 2,5 b		
2018	0,6 \pm 0,5 b	1,0 \pm 0,6 b	2,2 \pm 1,8 b	1,9 \pm 1,2 b	7,8 \pm 2,6 b	8,8 \pm 3,7 a	3,9 \pm 1,3 c		

Letras distintas dentro de la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según una prueba de Tukey HSD.

Cuadro 4.9. Matriz de confusión usando PLS-DA con 66% de los datos para entrenar y 33% de los datos para testear el modelo.

Añadas	2016	2017	2018
2016	7	0	0
2017	0	9	0
2018	0	0	7

Estos resultados en la composición fenólica de los vinos muestran que las características asociadas al terruño solo pueden ser resueltas mediante la inclusión de múltiples añadas en el análisis. Esto es particularmente necesario para evitar confundir los efectos específicos del terroir con las diferencias relacionadas con el año de cosecha. Por ejemplo, las añadas 2017 y 2018 presentaron características climáticas similares al promedio histórico de Mendoza (Deis et al., 2015) y se reflejaron en niveles elevados de algunos CPs, particularmente antocianinas y flavonoles. Estas respuestas fueron especialmente evidentes para los vinos provenientes de IGs ubicadas en las altas elevaciones del Valle de Uco, donde los niveles de antocianos fueron mayores que en los vinos de la cosecha 2016 (Cuadro 4.7 y Cuadro 4.8).

La cosecha 2016 fue excepcionalmente diferente al tener mayores precipitaciones y una menor GDD que la media anual, condiciones que no son habituales en Mendoza. De hecho, la precipitación media durante el verano de 2016 fue de 522 mm frente a los 245 mm de media de los últimos 10 años para similar período. La GDD y los datos de precipitaciones relacionados con las condiciones climáticas y geográficas de los sitios estudiados se muestran en el Cuadro 3.3.

El clima es probablemente el factor de la cosecha más importante que afecta la calidad de la baya y, por ende, del vino. Durante el ciclo vegetativo, es necesario alcanzar una temperatura acumulada mínima para asegurar la maduración completa de determinadas variedades (Winkler et al., 1974). La acumulación de temperatura demasiado baja durante una cosecha da como resultado una menor acumulación de azúcares, mientras que la acumulación de temperatura demasiado alta promueve una maduración temprana con una calidad de baya inferior (Drappier et al., 2019). La amplitud térmica entre el día y la noche favorece la acumulación de CPs, como el caso de los antocianos. La temperatura óptima de la baya para la síntesis de antocianinas durante el día en la etapa de maduración es entre 25 y 30 °C. De hecho, las temperaturas

superiores a 35 °C detienen la acumulación de antocianinas o incluso pueden promover su degradación (Drappier et al., 2019).

Los resultados aquí presentados concuerdan con los informados previamente por Roullier-Gall, Boutegrabet, et al., 2014; Roullier-Gall, Lucio, et al., 2014). Roullier-Gall et al. mostraron diferentes concentraciones de CPs y otros metabolitos durante tres años para diferentes terruños de la Borgoña, Francia y destacaron la importancia de las condiciones del año en la composición química de pieles, mostos y vinos. Los resultados mostraron que, si bien las añadas tienen impacto en las características de la uva, las diferencias más relevantes se observan en las uvas (pieles y mosto) de diferentes terruños de una misma cosecha. Respecto a los vinos, no se logró una discriminación concluyente del terroir cuando los vinos se analizaron inmediatamente después de la elaboración (vinos jóvenes). Por el contrario, cuando se analizaron los mismos vinos después del envejecimiento en botella, se logró una clara separación entre viñedos estrechamente relacionados de la Côte de Beaune y la Côte de Nuits, ambas regiones de Francia a una distancia de 30 km entre ellas (Roullier-Gall et al., 2014).

Los mismos autores sugirieron que las diferencias en las concentraciones de algunos compuestos específicos, como el *trans*-resveratrol, para una cosecha determinada eran una clara indicación de que la acumulación de CPs en las bayas debía haber estado influenciada por factores ambientales, donde las plantas de vid sometidas a diferentes tipos de estreses bióticos y abióticos respondían sintetizando mayor cantidad de estos compuestos del metabolismo secundario (Roullier-Gall et al., 2014b). Anesi et al. (2015) evaluaron la composición de las uvas de la variedad Corvina de 7 regiones durante tres años. Determinaron los compuestos volátiles y no volátiles, destacando que el clima es probablemente el factor más importante en la composición y calidad de las bayas. Los autores sugirieron que el efecto del terroir solo se puede medir analizando vinos de varios años. Además, propusieron herramientas estadísticas para evitar el efecto añada durante la identificación de distintos perfiles en composición metabólica de las bayas de cada macrozona analizada. Asimismo, Pereira et al. (2006) enfatizaron la prevalencia del efecto del año de cosecha sobre las características del suelo en los perfiles metabólicos de las uvas. La investigación señala que las características climáticas más importantes son la suma estacional de temperaturas y el balance hídrico. Estas características definen un viñedo individual y las características de sus uvas y vinos.

4.2.3. *Correlación entre la composición fenólica y las características específicas de cada origen*

Se usaron los datos de las tres temporadas para realizar el PLS-DA utilizando Zonas (Figura 4.5 a y b) y departamentos (Figura 4.5 c y d) como variables de clasificación. Las zonas se definen como las principales áreas vitivinícolas (oasis) de Mendoza (Zona Este, Primera Zona y Valle de Uco; Cuadro 2.1). Los departamentos son las divisiones políticas de la provincia donde se superponen las regiones. Las IGs son regiones más pequeñas que incluyen las parcelas y se evaluaron utilizando un mapa de calor con análisis de conglomerados (Figura 4.7). En esta sección, se evalúa la clasificación utilizando diferentes escalas regionales para comprender las diferencias entre las escalas geográficas.

Al igual que en el caso de las Zonas y Departamentos, los datos se dividieron en un 66,6% para entrenar el modelo PLS-DA y un 33,3% para crear la matriz de confusión. Los PLS-DA fueron evaluados por el desempeño de una gran cantidad de componentes, utilizando una validación cruzada repetida cinco veces que se repitió 10 veces para las Zonas y una validación cruzada repetida tres veces que se repitió 10 veces para los Departamentos. El criterio de componente utilizado en el modelo se seleccionó con la tasa de error de clasificación balanceada, debido a que el número de muestras por grupo estaba desequilibrado y la desviación estándar coincidía con las distancias de predicción. El mejor desempeño fue con $n_{comp} = 6$ para Zonas y $n_{comp} = 7$ para Departamentos.

Los resultados de los dos PLS-DA mostraron una clara separación en la clasificación cuando se usó Zonas en lugar de Departamentos (Figura 4.5). Aunque la variable de clasificación fue la ubicación de las parcelas, se incluyó la añada para predecir si los vinos provienen de las añadas 2016, 2017 o 2018. Como se puede observar en la Figura 4.5, la cosecha 2016 estuvo claramente separada de la 2017 y 2018, lo que demuestra que el efecto de la añada aún estaba presente. El peso de cada variable en el primer y segundo componente se muestra en la Figura 4.6, indicando que los compuestos ácido ferúlico, ácido sirínico, ácido gálico, ácido p-cumárico, ácido cafeico, (-)-epicatequina y (+)- galocatequina se asocian con la Zona Este, mientras que los compuestos petunidina 3-O-acetilglucósido, quercetina, cianidina 3-O-glucósido, peonidina 3-O-acetilglucósido, peonidina 3-O-p-cumaroilglucósido, tirosol, petunidina 3-O-glucósido, OH-tyrosol, astilbina, malvidina 3-O-p-cumaroilglucósido y quercetina-3-glucósido se relacionan con el Valle de Uco. Es importante mencionar que algunos

compuestos asociados con el Valle de Uco, incluyendo tirosol, petunidina 3-O-glucósido y OH-tyrosol, parecen estar presentes en mayor cantidad en los años más fríos y húmedos, como el 2016. Mientras que astilbina, malvidina 3-O-*p*-cumaroilglucósido y quercetina-3-glucósido tuvieron concentraciones más altas en las cosechas 2017 y 2018. Analizando la separación por regiones, el efecto del año parece tener un mayor impacto en zonas como el Valle de Uco. En el caso de la Primera Zona, solo la delfinidina 3-O-acetilglucósido se identificó como una variable clave que impulsa la discriminación en los componentes 1 y 2.

Se realizaron matrices de confusión para probar los modelos PLS-DA para cada tipo de agrupación y se calculó la Tasa de Error Balanceada (BER) para cada matriz. Para la matriz de confusión por región, la clasificación fue buena (BER 0,24). El área con menor predicción correcta fue la Zona Este; dónde de un total de cuatro observaciones, solo dos se predijeron correctamente, mientras que dos se predijeron como la Primera Zona. Para el Valle de Uco, el 94% de las observaciones utilizadas para probar el modelo fueron correctamente predichas, mientras que una fue predicha para la Zona Este. En el caso de la Primera Zona, de las 6 observaciones utilizadas, 5 fueron correctamente predichas y solo una fue incorrectamente pronosticada como el Valle de Uco.

En la matriz de confusión por Departamentos (BER 0,49), ni Luján de Cuyo ni Maipú pudieron predecirse correctamente en ninguna de las observaciones utilizadas para probar el modelo. Las observaciones de Tupungato fueron predichas correctamente en un 88%. En el caso de Rivadavia, las cuatro observaciones fueron predichas correctamente en el 100% de los casos. San Carlos tuvo un buen desempeño con cuatro de seis observaciones correctamente predichas.

Se realizó un análisis de conglomerados con mapa de calor utilizando la composición fenólica de las tres añadas (2016, 2017 y 2018) para identificar las diferencias y similitudes entre las IG evaluadas. En el análisis de conglomerados no se incluyen las IG La Consulta y Carrizal, ya que en esas dos IG solamente hay un año de estudio. La Figura 4.7 muestra que Gualtallary (Departamento de Tupungato; zona del Valle de Uco) es diferente respecto a todas las demás. Rivadavia, El Mirador y La Libertad (Departamento de Rivadavia; Zona Este) forman un grupo diferente. Ugarteche y Lunlunta (Primera Zona) forman otro grupo con San José (Departamento de Tupungato, Valle de Uco). El último grupo tiene dos subgrupos: Agrelo (Luján de Cuyo) y Altamira y El Cepillo (Departamento San Carlos; Zona Valle de Uco) que

presentaron perfiles fenólicos muy similares y formaron otro subgrupo, junto con Los Árboles y Chacayes (Departamento de Tunuyán, Zona Valle de Uco). Como se puede observar en el último grupo, el agrupamiento por CPs no es claro, ya que Agrelo no pertenece a una región de las otras IGs. Este análisis no indica que los vinos de dos IG del mismo departamento o de departamentos cercanos sean idénticos, como podría suponerse inicialmente. De hecho, la proximidad en las distancias geográficas entre las IG no es una regla para indicar que los vinos de zonas próximas pueden ser similares, al menos tomando en cuenta el criterio del perfil de los CPs. Esto también puede explicarse considerando la variabilidad de la composición del suelo dentro de la misma IG, que se refleja fuertemente en la composición química final de los vinos.

El resultado más interesante se observó en Gualtallary. Esta IG formó un grupo separado de las demás IG y se caracterizó por altas concentraciones de delfinidina 3-O-glucósido, cianidina 3-O-glucósido, peonidina 3-O-glucósido, petunidina 3-O-glucósido, peonidin 3-O-acetilglucósido y (+)-catequina. Los contenidos de antocianinas y otros compuestos, como la quercetina y el *trans*-piceido fueron mayores en las IG más elevadas del Valle de Uco, particularmente en parcelas de Gualtallary. Mientras que en el Departamento de Rivadavia (Zona Este) se observaron concentraciones considerablemente menores. La Primera Zona (Departamentos de Luján de Cuyo y Maipú) mostró un comportamiento intermedio entre el Valle de Uco y la Zona Este.

La concentración de CPs puede verse influenciada por la elevación y las temperaturas de los lugares donde se ubican los viñedos. La elevación puede influir en la composición fenólica del vino como consecuencia de los mayores niveles de radiación UV-B y las temperaturas medias más bajas (Alonso et al., 2016; F. J. Berli et al., 2011). Estudios anteriores han demostrado que la radiación UV-B aumenta con la elevación y también se asoció con aumentos en la concentración de quercetina, *trans*-resveratrol y otros CPs como los antocianos di-hidroxilados (Berli et al., 2008; Li et al., 2011). En cuanto a los antocianos, el presente estudio muestra que la proporción de derivados dihidroxilados (cianidina y peonidina) fue considerablemente menor que los derivados trihidroxilados (delfinidina, petunidina y malvidina) en elevaciones bajas (Rivadavia; Zona Este). Por otro lado, los vinos elaborados con uvas de los departamentos del Valle de Uco tuvieron niveles más altos de antocianos dihidroxilados. Un aumento en la relación entre las antocianos di y tri-hidroxiladas se asoció directamente con la elevación de los departamentos (Figura 4.8). Se correlacionó

la proporción de antocianos di y tri-hidroxiladas con GGD, principalmente en las añadas 2017 y 2018. La cosecha 2016 tuvo un comportamiento muy diferente en comparación con 2017 y 2018. El modelo mostró fuertes diferencias en las variables cosecha ($p \leq 0,001$) y GDD ($p \leq 0,01$), existiendo una interacción entre ambas ($p \leq 0,001$). Los resultados del emmeans package en R Stat muestran que no existen diferencias significativas entre las pendientes de las cosechas 2017 y 2018 ($p < 0,98$), pero ambas son diferentes a la pendiente de la cosecha 2016 ($p < 0,001$).

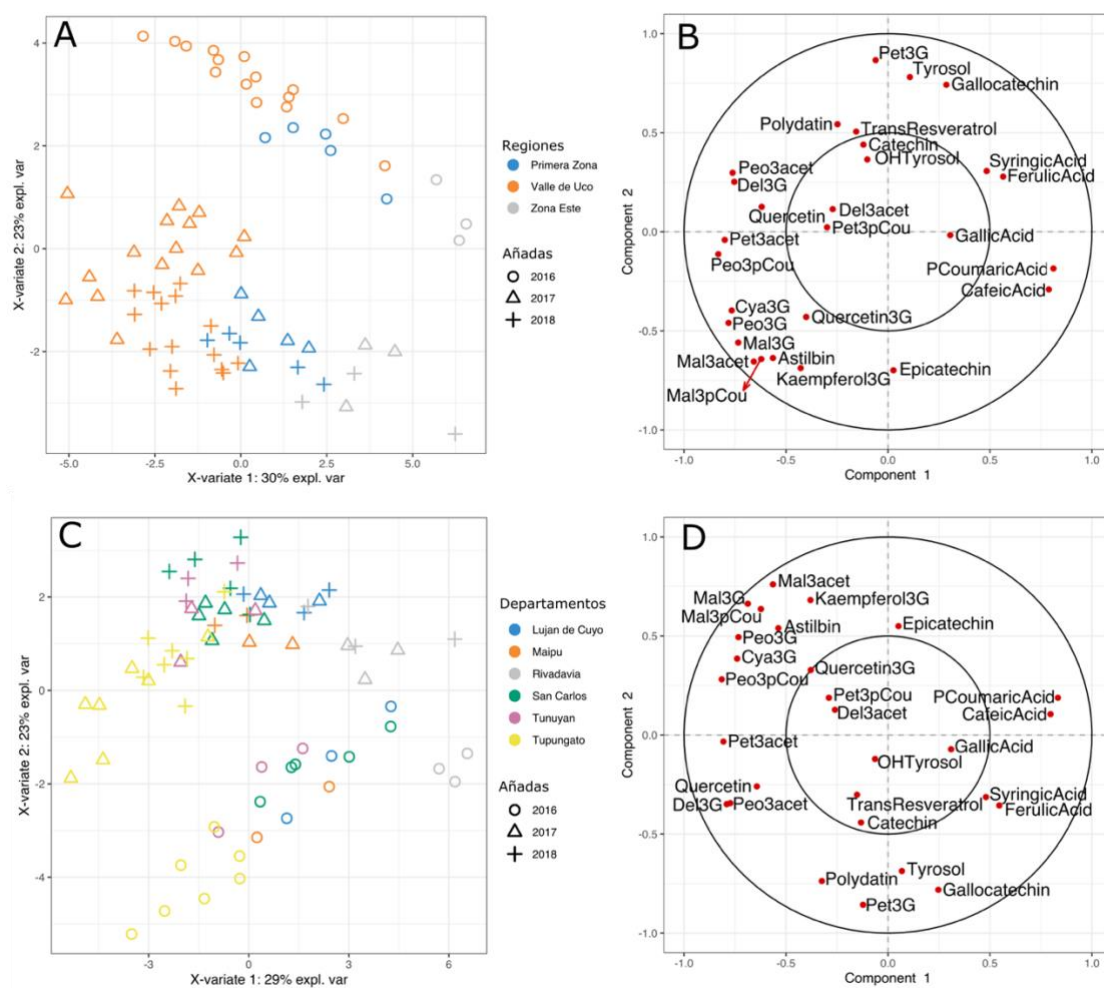


Figura 4.5. PLS-DA usando todas las parcelas de estudio con clasificación por Zonas (A y B) y por departamentos (C y D). A efectos comparativos, todas las regiones se clasificaron como IG.

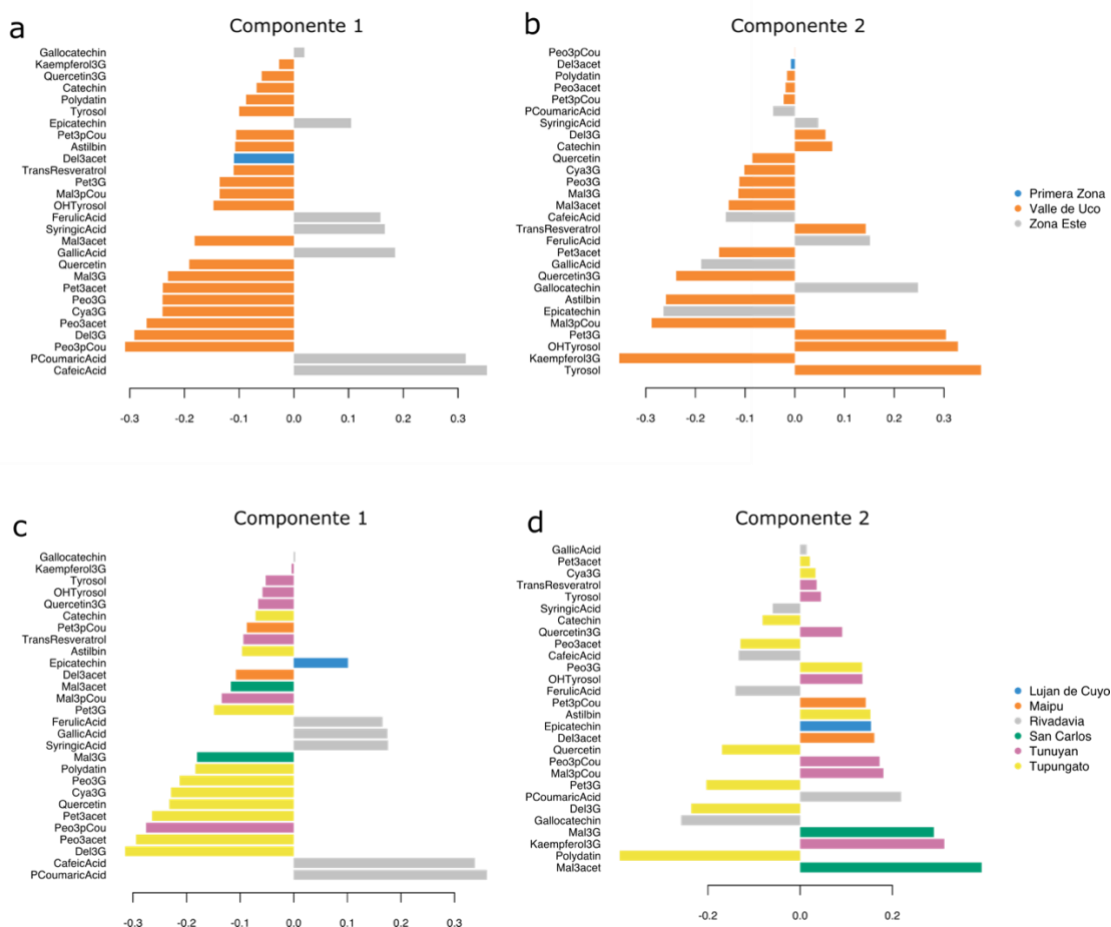


Figura 4.6. Gráfico de pesos de cada variable en el primer y segundo componente de PLS-DA por Zonas (a y b) y departamentos (c y d). Los colores indican la clase con un valor de expresión media máxima para cada CP.

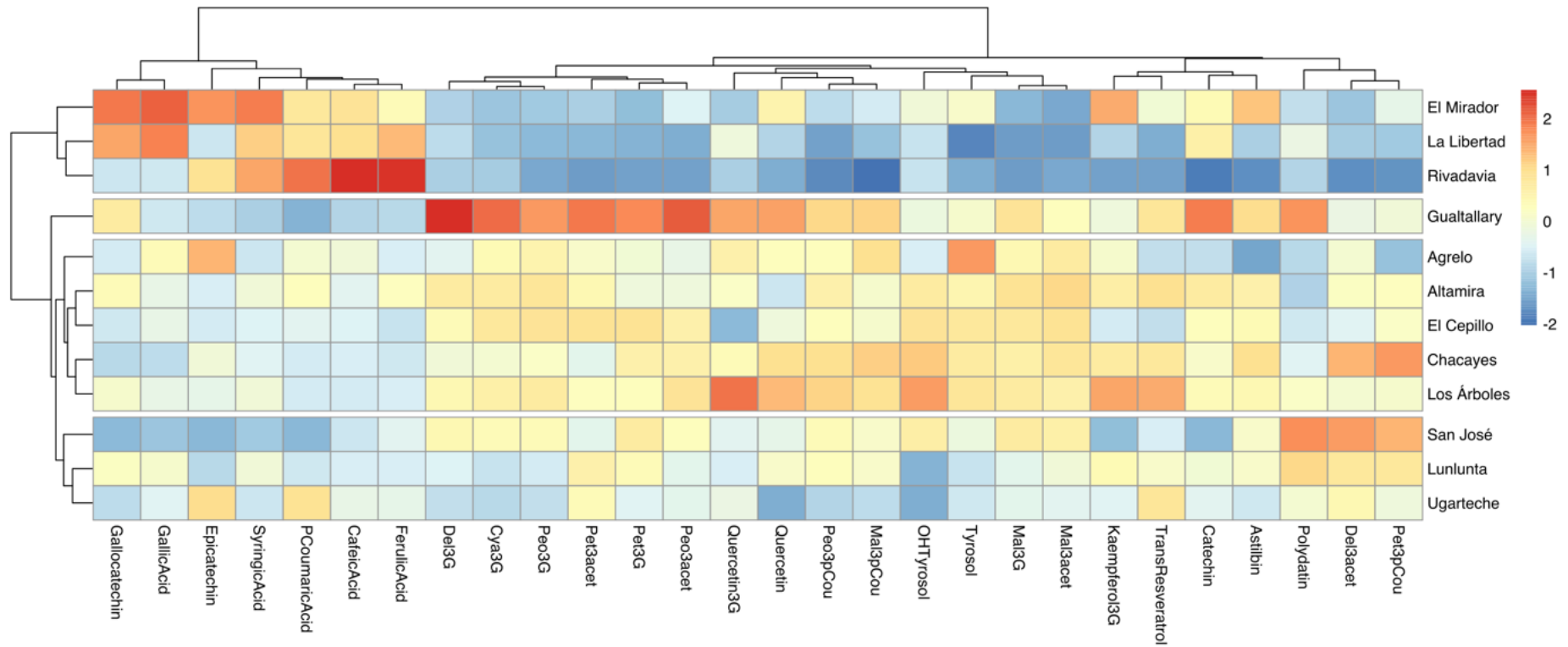


Figura 4.7. Análisis de conglomerados de IGs usando la composición fenólica de los 3 años de estudio. Los valores y los colores de las celdas indican una concentración relativa para cada IG; el azul corresponde al valor mínimo y el rojo al valor máximo (“mapa de calor”)

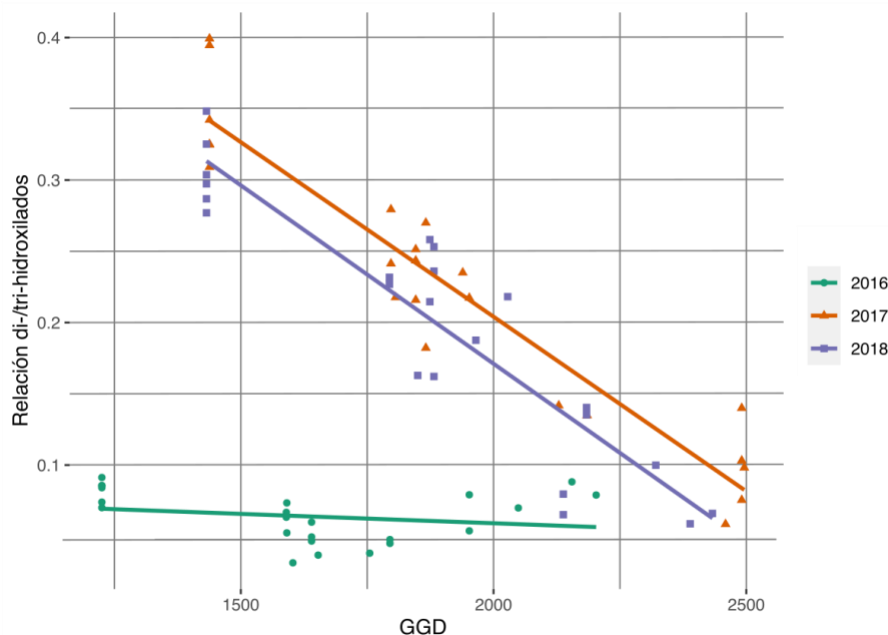


Figura 4.8. Relación entre GGD y la proporción de antocianinas di-/tri-hidroxiadas en los tres años de estudio. La figura fue generada usando R-package emmeans - 'emmeans'.

Como se comentó en el capítulo II, Mendoza es una de las pocas regiones vitivinícolas del mundo donde regiones cálidas con GDD Winkler Región V están separadas por menos de 80 km de las regiones ubicadas cerca de la cordillera de los Andes caracterizadas por climas más fríos, con Winkler Región I y II GDD (Winkler et al. 1974; Figura 3.1). La proximidad a las montañas de las IGs del Valle de Uco se asoció con sus niveles más altos de CPs, particularmente antocianos que están bien asociadas con la separación en la Figura 3.7. Drappier et al., (2019) muestran que un clima frío tiende a aumentar el color en los vinos tintos, mientras que las temperaturas diurnas y nocturnas más altas suelen reducir e incluso inhibir por completo la coloración. El mismo artículo muestra que temperaturas nocturnas bajas no revierten los efectos de las temperaturas más altas durante el día. La acumulación óptima de antocianos ocurre cuando las uvas se exponen a noches frescas (15 °C) y temperaturas diurnas moderadas (25 °C) durante la maduración. Cozzolino et al. (2010) y Schultz (2000) correlacionaron concentraciones de antocianos bajas con regiones más cálidas. La concentración final de antocianos con exposición a altas temperaturas diurnas parece depender de la relación entre la síntesis y la degradación. de Rosas et al. (2017) observaron resultados similares para bayas de Bonarda y Malbec de plantas cultivadas en condiciones de campo. Estos autores observaron una disminución en promedio del 40% del contenido total de antocianos cuando las bayas maduraban con temperaturas

elevadas. Estas observaciones concuerdan con nuestros resultados donde las IG de la zona Este se caracterizaron por bajos niveles de antocianinas. Como se muestran en los Cuadros 3.1 y 3.2, las temperaturas máximas y mínimas, así como la cantidad de días con más de 33 °C, fueron considerablemente diferentes. Azuma et al., (2012) muestra que la acumulación de antocianos en la piel de las uvas depende tanto de las bajas temperaturas como de la luz. Se centraron en los genes relacionados con la biosíntesis de flavonoides y observaron una disminución de la acumulación de antocianos en condiciones de 15 °C y poca luminosidad, pero el nivel de expresión de VIMYBA2, un gen sensible a la luz solo disminuyó ligeramente. Estos resultados sugieren que el contenido final de antocianos en la piel de la uva está determinado no solo por los niveles de expresión de los genes relacionados con MYB, sino también por su modulación. Considerando las diferencias de UV-B en alta elevación para varios de las IG estudiadas, particularmente del Valle de Uco, este es un factor adicional relacionado con la composición diferencial de los CPs observados en la Figura 4.7.

En China, (Li et al., 2011) encontraron un comportamiento similar para los vinos Cabernet Sauvignon elaborados con uvas cultivadas en altitudes elevadas que tenían grandes diferencias en las temperaturas diurnas y nocturnas, un tiempo de insolación anual de 1987 h y una precipitación anual de 300–600 mm. Estas características climáticas pueden estimular el flujo de carbono hacia la vía biosintética flavonoide 3'-hidroxilasa (F3'H). En consecuencia, los derivados de la quercetina y antocianos derivados de la cianidina podrían acumularse en grandes cantidades en las bayas, lo que explica los altos niveles de estos compuestos en los vinos. Esta condición relacionada con el "terroir" podría proporcionar a las plantas de vid una alta actividad del flavonoide 3',5'-hidroxilasa (F3'5'H), provocando el metabolismo de los flavonoides de las bayas de uva. Como se muestra en la Figura 4.7, además de los antocianos, la quercetina y la astilbina mostraron niveles elevados en Gualtallary (la IG más elevada). En el caso de la Zona Este, la baja concentración de antocianos en comparación con los niveles de los vinos obtenidos con uvas del Valle de Uco puede deberse a su degradación química y/o enzimática, debido a las altas temperaturas de la zona este. Según los datos climáticos de los tres años de estudio, la IG Rivadavia tuvo entre 38 y 96 días con temperaturas superiores a 33 °C, mientras que la IG Gualtallary tuvo solo entre 1 y 7 días con estos niveles de temperatura. Un estudio reciente en Cabernet Sauvignon mostró una pérdida de antocianos por altas temperaturas (35 °C entre las 6:00 am y las 8:00 pm), donde los datos su concentración se redujo a la mitad en comparación con una temperatura de

25°C (Kustos et al., 2020). La excepción fueron los derivados de Malvidina (O-3-glucósido, O-3-acetilglucósido y 3-*p*-cumaroilglucósido), ya que las antocianinas trihidroxiladas (particularmente los derivados de malvidina) fueron más abundantes que sus contrapartes di-hidroxiladas en las uvas maduras en condiciones de alta temperatura. Como se explicó anteriormente y se puede observar en la figura 4.8, obtuvimos resultados similares para los vinos Malbec de diferentes IG en Mendoza. En particular, los derivados de cianidina (di-hidroxilados) aumentaron en las IGs de mayor elevación (generalmente también con temperaturas más frías). Otro estudio evaluó los efectos de dos regímenes de temperatura diferentes sobre la acumulación de mRNAs y enzimas que controlan la síntesis de los antocianos de la piel de uvas Sangiovese (Movahed et al., 2016). Los resultados mostraron que la maduración de bayas a altas temperaturas (36 °C), condición similar a la de las Zonas Este y Primera Zona de Mendoza, la biosíntesis de antocianos fue suprimida tanto a nivel transcripcional como enzimático, pero la actividad de la peroxidasa fue mayor. Los autores sugirieron que los bajos niveles de antocianos reflejaron el impacto combinado de una biosíntesis reducida y una mayor degradación, particularmente a través de la acción directa de las peroxidases en el metabolismo de las antocianinas (Movahed et al., 2016).

4.2.4. *Identificación de parcelas únicas en Mendoza y su relación con las IGs*

Para comprender cómo se clasifican las parcelas estudiadas en función de sus perfiles de PCs, se realizó un análisis de conglomerados utilizando los datos integrados de las tres añadas con 23 parcelas. Las 23 parcelas fueron seleccionadas por estar presentes en los 3 años de estudio. La parcela Luj-Agr-LP-4 no fue incluida en el análisis. La Figura 4.9 muestra tres grandes grupos de parcelas. El primer grupo tiene cuatro parcelas, tres de ellas pertenecen a la Zona Este y una, la Luj-Ug-ZA-1, de la IG Ugarteche, ubicada en la Primera Zona. En el segundo grupo, todas las parcelas pertenecen a la IG Gualtallary. Las parcelas de esta IG están ubicadas muy cerca unas de otras y tienen condiciones climáticas similares, siendo un área relativamente fría y de alta elevación (1350 a 1500 msnm). De acuerdo con la hipótesis inicial, cada una de estas parcelas tuvo perfiles de compuestos fenólicos análogos debido a las similitudes climáticas. Otros autores también observaron un comportamiento equivalente en parcelas de Shiraz en Australia (Kustos et al., 2020). De hecho, durante el diseño experimental de esta tesis, se seleccionaron las parcelas de la IG Gualtallary por tener características de alta heterogeneidad de suelo (Corona, 2019), a pesar de su similitud

en las condiciones climáticas y, al mismo tiempo, por producir vinos de alta calidad y consistentes a lo largo de muchos años. El tercer grupo muestra una agrupación confusa si consideramos la procedencia de las parcelas. Se observa un subgrupo formado por dos vinos de Lunlunta (Departamento Maipú) y uno de Ugarteche (Departamento Luján de Cuyo). Otro subgrupo está formado por parcelas que provienen de Agrelo (Departamento Luján de Cuyo), Altamira (Departamento San Carlos), El Cepillo (Departamento San Carlos), Chacayes (Tunuyán), Los Árboles (Departamento Tunuyán) y una parcela de San José (la zona de menor elevación del departamento Tupungato).

De acuerdo con estos resultados, los grupos que mejor relacionan los vinos con su origen incluyen parcelas de la Zona Este (primer grupo) y de las IG Gualtallary (segundo grupo).

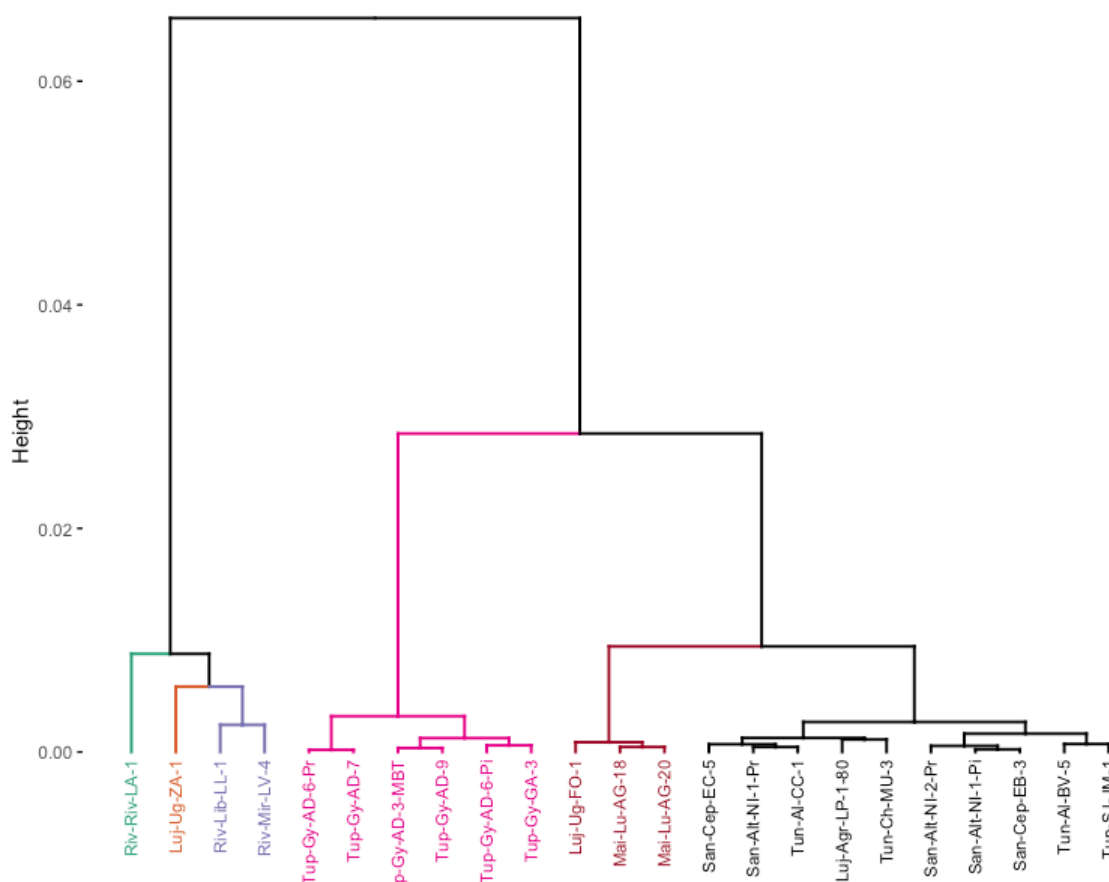


Figura 4.9. Análisis de conglomerados con datos de vinos Malbec de 23 parcelas de tres regiones de Mendoza utilizando concentraciones de CPs.

Para lograr un modelo predictivo para cada parcela, se seleccionaron dos métodos, el primero fue random forest utilizando el paquete randomForest en R, y el segundo un

modelo de análisis discriminante lineal. El Random Forest es un método de aprendizaje para clasificación o regresión propuesto por Breiman, 2001.

Estos modelos han sido utilizados por varios autores en la clasificación de vinos y uvas de diferentes regiones (Canizo et al., 2019; Tian et al., 2017), en la predicción del envejecimiento de los vinos (Astray et al., 2019) e incluso en la identificación de características taxonómicas para explicar la variación entre las condiciones de muestra en patrones de biodiversidad microbiana en zonas vitícolas (Bokulich et al., 2014). Canizo et al. 2019 comparó diferentes algoritmos para estudiar muestras de piel de uva de cinco regiones en Mendoza. Los resultados mostraron que los algoritmos como random forest, combinados con análisis multi-elemental, proporcionaron una buena precisión en la clasificación geográfica. Tian et al. 2017 también utilizó random forest para la clasificación de vinos de cinco regiones vinícolas de Francia usando datos de elementos encontrados en vinos, logrando una precisión de clasificación del 100% para todos los vinos. En nuestro estudio, el 66,6% de los datos se utilizó para entrenar el modelo y el 33,4% restante para probar y crear la matriz de confusión. Los resultados del modelo mostraron una estimación fuera de bolsa (OOB) con tasa de error del 46,72% con $n_{tree} = 300$. Los resultados de la matriz de confusión y estadísticas usando los datos de prueba presentaron una precisión de 0,746. Aunque el modelo funciona razonablemente bien en un conjunto limitado de datos (los datos de prueba), su capacidad para generalizar a partir de los datos no vistos durante el entrenamiento de cada árbol es menos robusta.

Las parcelas con una clasificación correcta (100%) fueron Luj-Ug-ZA-1, Mai-Lu-AG-20, Riv-Mir-LV 4, Riv-Riv-LA-1, San-Alt-NI-2-Pr, San-Cep-EB-3, Tun-Al-BV-5, Tun-Al-CC-1, Tun-Ch-MU-3, Tup-Gy-AD-6-Pi y Tup-Gy-AD-7. Random Forest ofrece medidas que pueden usarse para obtener un ranking de importancia relativa de las variables en la predicción. Las variables más importantes fueron ácido p-cumárico, delfinidina-3-O-glucósido, ácido cafeico, quercetina y peonidina-3-O-glucósido. Hasta el momento, los resultados aquí presentados representan el estudio más extenso en términos del número de parcelas evaluadas a lo largo de tres años diferentes analizando los PCs en vinos.

El segundo modelo utilizado fue un análisis discriminante lineal (LDA), que utiliza combinaciones lineales de elementos de predicción para pronosticar la clase de una observación dada. La elección de la técnica LDA sobre otras es principalmente por la simplicidad, facilidad de interpretación y debido a que se tienen más observaciones

que variables de estudio. Asimismo, es el modelo habitualmente mas utilizado en la interpretación de resultados de análisis sensorial. Al igual que para el análisis realizado por añada, en este caso se usó la clasificación por parcela donde las elipses de confianza fueron del 95%. Cuando dos elipses se tocan indica que no existen diferencias significativas entre cada parcela. La Figura 4.10 muestra parcelas identificables donde las elipses de confianza no se tocan con otras. Sin embargo, al poner a prueba el modelo mediante validación cruzada, que indica cuanta precisión tiene ese modelo estadístico para hacer el pronóstico de una parcela partiendo de datos conocidos, se obtuvo una precisión global de 64%, donde las parcelas con mayor precisión para predecir el origen son: Riv-Riv-LA-1 (88,8%), San-Alt-NI-1-Pr (77%), San-Cep-EC-5 (75%), Tun-Al-BV-5 (77,7%), Tup-Gy-AD-9 (88,8%), Tup-Gy-AD-3-MBT (88,8%), Tup-Sj-JM-1 (77,7%) y Tup-Gy-AD-6-Pr (88,8%).

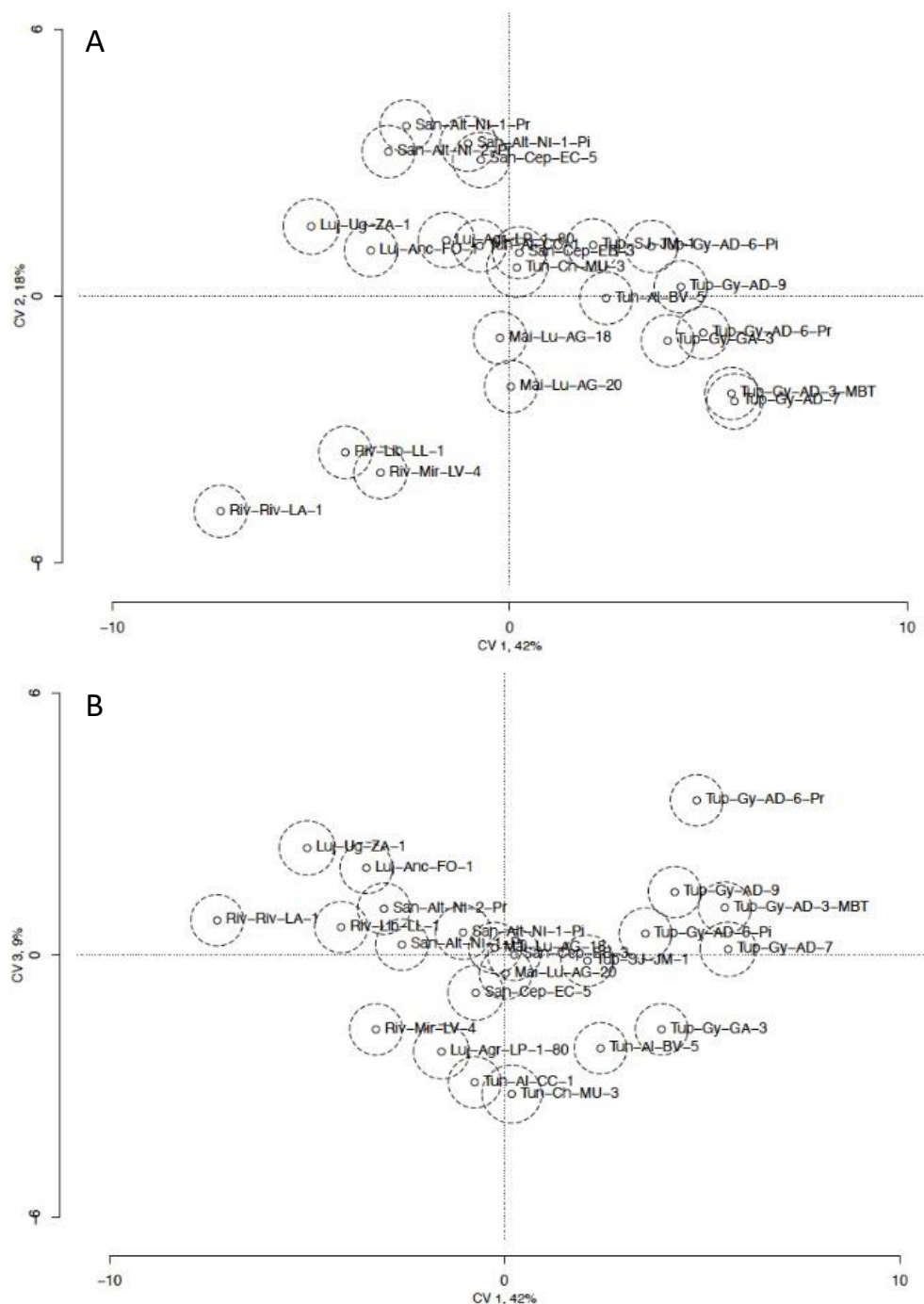


Figura 4.10. A. Análisis canónico de la varianza con los coeficientes de varianza 1 y 2 explicando el 60% de la variabilidad. B. Análisis canónico de la varianza con los coeficientes de varianza 1 y 3. Los círculos indican intervalos de confianza del 95%.

Algunas de las parcelas estudiadas corresponden a vinos comerciales. En este sentido, conocer el perfil de compuestos fenólicos de cada ubicación es una herramienta potencial para valorizar vinos de alta calidad, evitando falsificaciones. Además, conocer las características de cada lugar es útil para la comunicación comercial o decisiones técnicas durante la vinificación. A su vez, los consumidores han aprendido a confiar en

la procedencia para predecir la calidad del vino y están dispuestos a pagar un extra por ello (Tian et al., 2017).

Este tipo de marketing de vinos que relaciona los vinos con un lugar específico se ha llevado a cabo durante muchos años en diversas regiones vinícolas del mundo. Esta noción de terroir ha delimitado muchas regiones históricas en Europa a lo largo de los siglos, como los famosos viñedos de Borgoña, donde sus vinos han incluido el concepto de “climat” (*Les Climats Du Vignoble de Bourgogne - UNESCO World Heritage Centre*, n.d.). En Argentina, la expresión "vino de parcela" ha comenzado a usarse como una nueva clasificación para reconocer vinos elaborados con uvas procedentes de parcelas pequeñas y bien caracterizadas. Por lo tanto, el enfoque presentado en esta investigación ayuda a dar las primeras ideas relacionadas con la individualización de parcelas con características únicas, un concepto fuertemente relacionado con las singularidades del terroir de los vinos. Es particularmente interesante la posibilidad de poder identificar tales parcelas durante muchos años debido a su consistencia en perfiles fenólicos, especialmente aquellas parcelas asociadas con vinos de alta calidad. En este sentido, se puede evidenciar mediante los resultados presentados las capacidades de los modelos utilizados y su potencial aplicación.

4.3. Conclusiones

En este capítulo, se llevó a cabo un análisis minucioso de los CPs presentes en los vinos Malbec de Mendoza, Argentina, obtenidos de 26 parcelas durante los años 2016, 28 parcelas en el año 2017 y 26 parcelas en el año 2018, con un total de 232 vinos analizados. Esta investigación se enfocó en entender la influencia de diferentes factores, como el año de cosecha y el terroir, en la composición fenólica de vinos de la variedad Malbec.

Los resultados revelaron una notable relación entre la composición fenólica y las condiciones climáticas en las IGs estudiadas. En particular, se destaca que las regiones con climas más fríos, correspondientes a IGs de mayor elevación, presentaron concentraciones más altas de algunos CPs.

El análisis presentado, uno de los más extensos realizados para una única variedad de uva abarcando múltiples cosechas, demuestra la importancia tanto de las características climáticas de la cosecha como del lugar de origen de las uvas en la determinación de la composición fenólica de los vinos.

Además, proporciona una caracterización y discriminación detallada de los vinos Malbec procedentes de 14 IGs en 6 departamentos de Mendoza, a través de sus perfiles de CPs. Esta información detallada será de gran utilidad para entender las diferencias específicas entre los vinos de las distintas regiones y podrá ser utilizada para tomar decisiones en la vinificación. Cabe resaltar la relevancia de esta caracterización para establecer patrones de tipicidad de los vinos Malbec de Argentina.

Respecto a la discriminación y predicción de parcelas, se muestra por primera vez una agrupación por perfiles de CPs. Se pudieron identificar parcelas que tienen características únicas que las hacen predecibles aplicando dos modelos estadísticos, inclusive independientemente de año. En este caso, se sustenta el efecto de las características del suelo en la discriminación, ya que algunas de estas parcelas se encuentran una muy cerca de la otra (el efecto clima prácticamente desaparece dentro de un mismo año).

Capítulo 5

Identificación de la tipicidad y discriminación de indicaciones geográficas a través de perfiles sensoriales

5.1. Introducción

Como se menciona en el capítulo III, los factores ambientales pueden modificar la composición fenólica de los vinos Malbec de diferentes IGs, y el efecto de la añada tiene un impacto significativo. Estos CPs, al igual que los compuestos volátiles, provenientes de la uva y/o generados en las etapas de elaboración de los vinos pueden influir en sus características sensoriales y en su percepción organoléptica.

El vino es una matriz compleja que contiene componentes volátiles y no volátiles que interactúan entre sí, y estas interacciones pueden afectar la percepción de los aromas, el sabor y la sensación en boca. Por lo tanto, las características sensoriales pueden variar considerablemente en vinos con características químicas similares. En este contexto, es importante destacar la importancia de estudiar las características sensoriales del vino, ya que los resultados obtenidos tienen un alcance significativo en términos de la percepción de las personas, ya sean consumidores o expertos.

Investigaciones previas han demostrado que la ubicación geográfica ejerce una influencia directa en la composición química y sensorial de los vinos, tal como se ha observado en el caso del Cabernet Sauvignon en Australia (Robinson et al., 2012b), China (Tao et al., 2009), y Estados Unidos (Heymann & Noble, 1987a), Chardonnay (Schlosser et al., 2005), Sauvignon Blanc de Nueva Zelanda (Lund et al., 2009) y Pinot Noir de Estados Unidos (Cantu et al., 2021). En cuanto al Malbec, existen pocos estudios que hayan evaluado las diferencias sensoriales de diversas regiones de Argentina, y no existen estudios que evalúen dichas características o patrones sensoriales evaluando vinos en diferentes años con condiciones climáticas distintas. Goldner et al. (2007) realizaron una caracterización sensorial de vinos Malbec de grandes regiones vitivinícolas de Argentina, mostrando los principales descriptores de cada región, incluyendo Valles Calchaquies, Mendoza del Este, Mendoza del Sur, Patagonia, Alto Rio Mendoza, Valle de Uco y San Juan. Otros autores han comparado las diferencias entre países y regiones dentro de cada país, en la composición sensorial y volátil de los vinos Malbec, reportando en un año de estudio una mayor separación entre países (Heymann, Robinson, et al., 2015; King et al., 2014).

Además de las características sensoriales de cada lugar, otros estudios han demostrado que el origen de la uva es un factor que contribuye a la decisión de compra de un vino por parte del consumidor (Famularo et al., 2010). El mismo comportamiento se observa en otros productos en términos de tipicidad. Los consumidores tienen una

mayor aceptabilidad y están dispuestos a pagar más por productos que tienen una alta conexión con el origen y son percibidos como auténticos y típicos de un lugar determinado (Luomala 2007, Fernández-Ferrín et al. 2019).

En el caso del vino, se han definido dos tipos de tipicidad: la sensorial (que implica algún tipo de análisis sensorial) y la conceptual (que es una representación mental que depende de las experiencias como construcción social) (Cadot et al., 2012). Estas tipicidades no necesariamente coinciden entre sí. En un estudio realizado en Francia por Ballester y Jacquet (2014), se compararon durante dos años consecutivos vinos Pinot Noir de las prestigiosas denominaciones de origen Chambolle-Musigny y Gevrey-Chambertin, situadas en la región de la Borgoña y localizadas a tan solo 5 km de distancia una de otra. Los resultados mostraron que el panel de personas no fue capaz de discriminar correctamente los vinos de cada denominación, considerando que algunos de los vinos eran típicos de Chambolle cuando, en realidad, procedían de Gevrey y viceversa. La construcción de la tipicidad conceptual de cada lugar podría deberse a los patrones de consumo durante los siglos XIX y XX, particularmente en regiones vitivinícolas tradicionales como las francesas, y podría no ser igual a la tipicidad sensorial.

Las características sensoriales de las variedades en cada una de las regiones proporcionan información sobre un tipo de tipicidad, en este caso, la tipicidad sensorial.

En el capítulo II se presentó al análisis sensorial descriptivo (AD) como una de las metodologías más adecuadas para cuantificar una amplia gama de atributos sensoriales en múltiples productos, lo que lo convierte en una herramienta apropiada para el análisis sensorial del vino. Existen numerosos estudios que han utilizado el AD para evaluar los efectos de diferentes procesos de vinificación en el producto final del vino y en el caso de los estudios sobre terroir, dentro de todas las herramientas disponibles para estudiar la percepción de los vinos, el AD es la más conveniente y apropiada debido a la gran cantidad de muestras y la sensibilidad necesaria para detectar las diferencias.

La posibilidad de identificar cualquier comportamiento de terroir específicos a lo largo de diferentes añadas se presenta como un gran desafío, pero puede ser la fuerza conductora para definir científicamente el terroir.

El propósito de este capítulo fue estudiar las características sensoriales de vinos Malbec provenientes de diferentes niveles geográficos en término de tamaño, incluyendo tres grandes regiones, departamentos e IGs de Mendoza, Argentina. A través de AD, se presenta por primera vez una visión de la tipicidad de los vinos Malbec a lo

largo de distintas añadas. Este análisis se centra en las tres regiones más representativas en términos de calidad y volumen de producción de Argentina, identificando descriptores sensoriales y su asociación con el origen de los vinos.

5.2.Objetivos

En el marco de la exploración profunda del Malbec, en este capítulo se propone el uso del AD para conocer su tipicidad en distintas escalas geográficas y añadas. Con esto se pretende:

- Comprender la tipicidad sensorial de los vinos Malbec de las regiones vitivinícolas más representativas en términos de calidad y producción de Argentina en añadas contrastantes desde el punto de vista climático.
- Caracterizar y discriminar mediante AD los vinos Malbec provenientes de 14 IGs localizadas en seis departamentos de Mendoza.

5.3.Condiciones experimentales.

Para esta sección del capítulo III se usaron datos de AD de 26 parcelas para el año 2016, 28 para el año 2017 y 26 parcelas para 2018 (Cuadro 2.1). La localización geográfica y otra información relevante de las parcelas se presenta en el Cuadro 2.1. Los descriptores que fueron evaluados en el AD se presentan en los Cuadro 2.4 para la añada 2016, Cuadro 2.5 para la añada 2017 y Cuadro 2.6 para la añada 2018.

La metodología de evaluación sensorial es descripta en el capítulo II sección 2.5.

En los análisis de MFA se usaron variables significativas ($p < 0.05$) y regiones que estuviesen incluidas en los tres años de estudios.

5.4.Análisis de los datos

Los datos se analizaron utilizando la plataforma de software R versión 4.2.1 (R Foundation for Statistical Computing, 2016). El análisis MANOVA se llevó a cabo mediante un enfoque de tres vías (juez, ubicación, réplica y todas las interacciones de dos vías) en todos los atributos. En el análisis MANOVA, la ubicación se consideró a nivel de Zonas, departamentos e IGs. Se aplicó un análisis ANOVA de tres vías con interacciones de dos vías para analizar los atributos de los descriptores con valores faltantes. El valor F del modelo pseudomixto se calculó dividiendo el valor del cuadrado medio (entre muestras) por el valor del cuadrado medio (entre muestras y jueces) o el valor del cuadrado medio (entre muestras y réplicas). Si el valor F calculado

para la muestra seguía siendo significativo, se asumía que el efecto de interacción no era importante y se consideraba que ese atributo era significativo para el efecto de la muestra. Si el valor F no era significativo, se concluía que la interacción tenía un impacto en el efecto de la muestra y se consideraba que ese atributo no era significativo para el efecto de la muestra (Varela & Ares, 2014).

Los valores faltantes se imputaron utilizando el paquete "missMDA" en R. Se aplicó un análisis de componentes principales (PCA) a los datos sensoriales de los vinos, incluyendo los datos del juez. Las elipses de confianza que indican intervalos de confianza del 95 % se basaron en la distribución multivariada de la prueba de Hotelling con un nivel de significancia de $p < 0,05$. Estas elipses se construyeron utilizando la función "panellipse" del paquete SensoMineR en R (Pagés & Husson, 2005). Se realizó un análisis de conglomerados utilizando la técnica de conglomerados Euclidean y el método de Ward.D2. El mapa de calor se generó utilizando el paquete "pheatmap". Se llevó a cabo un análisis de múltiples factores (MFA) utilizando el paquete Factoextra (Kassambara, 2015).

5.5.Resultados y discusión

5.5.1. Añada 2016

Se realizaron análisis de MANOVA en distintas escalas geográficas incluyendo Zonas, departamentos e IGs. En el caso de la clasificación "Zonas", el análisis de MANOVA de tres vías fue significativo, considerando las Zonas, repetición, juez y las interacciones entre Zonas y juez, así como repetición y juez. Para la clasificación "Departamentos", el análisis de MANOVA de tres vías fue significativo, considerando el departamento, repetición, juez y las interacciones entre repetición y juez. En el caso de la clasificación IGs, el análisis de MANOVA de tres vías fue significativo, considerando la ubicación, repetición, juez, y la interacción entre repetición y juez (ver Cuadro 5.1).

En el panel del año 2016, se encontró que el factor "juez" fue significativo. Esto es esperado en un análisis sensorial descriptivo y probablemente indica que los jueces utilizaron diferentes partes de la escala al evaluar los vinos. Para aquellos atributos en los que la "repetición" fue significativa, se observó que la interacción entre ubicación y repetición no fue significativa, lo que indica que las diferencias entre las repeticiones no se debieron a la variación entre las botellas de las muestras de vino (ver Cuadro 4.1).

El valor F del modelo pseudomixto se calcula dividiendo el valor de la suma de cuadrados entre muestras por el valor de la suma de cuadrados entre muestras y jueces, o por el valor de la suma de cuadrados entre muestras y repeticiones. Si el valor F calculado para la muestra sigue siendo significativo, asumimos que el efecto de interacción no es importante y consideramos que ese atributo es significativo para el efecto de la muestra. Si el valor F no es significativo, entonces la interacción tiene un impacto en el efecto de la muestra y consideramos que ese atributo no es significativo para el efecto de la muestra (Varela y Ares, 2014). El modelo pseudomixto se utilizó cuando las interacciones entre los vinos (origen y jueces) fueron significativas. Utilizando un valor de $p < 0,05$, entre Zonas se encontraron diferencias significativas en ocho descriptores, por departamentos fueron significativas diez descriptores, y por IGs fueron significativas diez descriptores (ver Cuadro 5.2).

Cuadro 5.1. p-valor de MANOVA de tres vías por Zonas, departamentos e IGs en la añada 2016.

	Zonas (n = 3)	Departamentos (n = 6)	IGs (n = 13)
<i>Origen</i>	2,20E-16	2,20E-16	2,084E-13
<i>Repetición</i>	2,20E-16	4,98E-12	9,18E-12
<i>Juez</i>	2,20E-16	2,20E-16	2,20E-16
<i>Origen:Repetición</i>	0,0992187	0,09005	0,3972
<i>Origen:Juez</i>	0,0003217	0,07523	0,1929
<i>Repetición:Juez</i>	8,523E-16	1,30E-05	3,83E-05

Cuadro 5.2. p-valor de ANOVA con modelo pseudomixto con descriptores sensoriales de vinos 2016.

Descriptores de aromas	Zonas (n = 3)	Departamentos (n = 6)	IGs (n = 13)	Sabores Sensación táctil en boca	Regiones (n = 3)	Departamentos (n = 6)	IGs (n = 12)
<i>Chocolate</i>	0,0369	0,0187	0,021	<i>Dulce</i>	0,000902	0,000193	0,0117
<i>Pasas de uva</i>	0,0165	0,000369	0,0008	<i>Alcohólico</i>	0,208	0,077	0,234
<i>Higo</i>	0,119	0,152	0,0001	<i>Ácido</i>	0,757	0,952	0,582
<i>Pimienta negra</i>	0,00448	0,0021	0,012	<i>Astringente</i>	0,25	0,508	0,335
<i>Tabaco</i>	0,00086	0,000162	7,8E-06	<i>Amargo</i>	0,409	0,837	0,758
<i>Ciruela</i>	0,0966	0,0401	0,0058				
<i>Terroso</i>	0,425	0,537	0,774				
<i>Fruta Roja</i>	0,134	0,0265	0,145				
<i>Rosa</i>	0,00577	0,00469	0,0211				

<i>Arándanos</i>	0,00998	0,00298	0,0091
<i>Herbáceo</i>	0,0173	0,00357	0,001

Los descriptores sensoriales se utilizaron como variables dependientes en un análisis de componentes principales (PCA) utilizando la función "panellipse" del paquete *SensoMineR* en R-Studio para determinar las ubicaciones de las regiones en el espacio multivariado. La Figura 5.1 muestra que las dos primeras dimensiones explicaron el 100% de la varianza acumulada usando la clasificación "zonas", que corresponden a las regiones grandes Valle de Uco, Primera zona y Zona Este. La primera dimensión explicó el 79,97% de la varianza y separó principalmente las regiones del Este, que se asociaron positivamente con los descriptores herbáceo, tabaco, dulce, pasas de uva y pimienta negra. Por otro lado, Valle de Uco se asoció más con aromas de higo y alcohólico en aroma, mientras que la primera zona estuvo asociada a rosas y chocolate. Las elipses de confianza muestran que las regiones en la cosecha 2016 presentaron diferencias significativas entre ellas, utilizando un intervalo de confianza del 95%.

En la Figura 5.2 se muestra un PCA con elipses de confianza utilizando los departamentos como variable de clasificación. Se puede observar que las dos primeras dimensiones explicaron el 91% de la varianza acumulada. La primera dimensión explicó el 49,15% de la varianza y separó principalmente al departamento Rivadavia, que se asoció positivamente con aromas a pimienta negra, astringente, herbáceo, tabaco y dulce. Las elipses de confianza muestran que San Carlos, Tunuyán y Tupungato no presentaron diferencias significativas entre ellos y fueron asociados a aromas como higo y aroma alcohólico. Luján de Cuyo mostró diferencias significativas con los demás departamentos, al igual que Maipú. La segunda dimensión explicó el 36,48% de la varianza y caracterizó las diferencias departamentales a través de descriptores como chocolate, ciruela, fruta roja y pasas de uva, que se asociaron positivamente con Maipú.

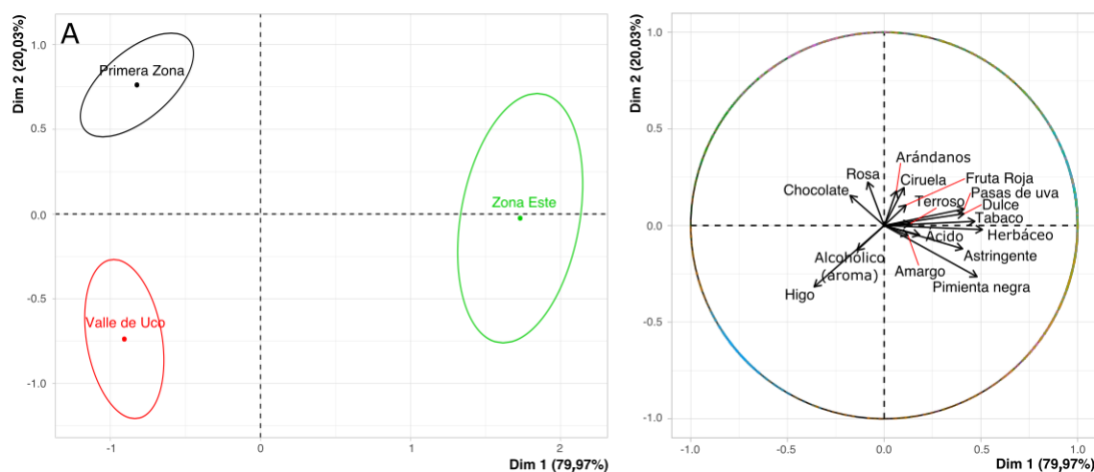


Figura 5.1. PCA con todas las variables y clasificación “Zonas” con vinos 2016. (A) Elipses de confianza construidas con base en la distribución multivariada de la prueba de Hotelling para $p < 0,05$ indicando intervalos de confianza del 95%: (B) vectores de carga.

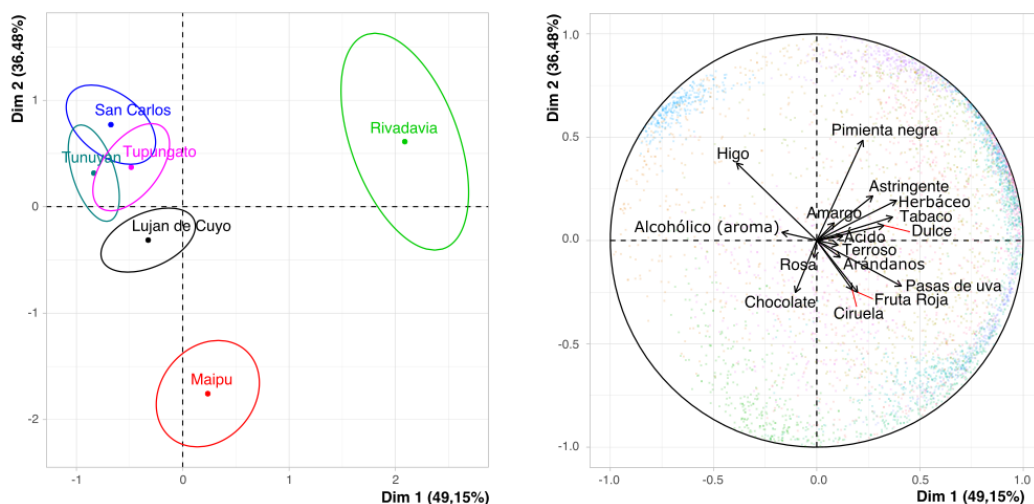


Figura 5.2. PCA con todas las variables y clasificación “Departamentos” con vinos 2016 (A) Elipses de confianza construidas con base en la distribución multivariada de la prueba de Hotelling para $p < 0,05$ indicando intervalos de confianza del 95%: (B) vectores de carga.

La Figura 5.3 representa un análisis de conglomerados realizado utilizando la técnica de conglomerados Euclídea y el método Ward.D2. Los datos fueron estandarizados para tener una media cero en cada atributo sensorial. Se puede observar que hay tres grandes grupos: Rivadavia se encuentra en un grupo individual, Maipú y Luján de Cuyo forman otro grupo, y Tunuyán, San Carlos y Tupungato forman el tercer grupo. Estos grupos encontrados en el mapa de calor concuerdan con los resultados del PCA mostrados en la Figura 5.2.

El mapa de calor permite visualizar fácilmente las grandes diferencias entre los departamentos. Rivadavia se caracteriza por tener valores más altos en descriptores como terroso, ácido, herbáceo, tabaco, dulce, pimienta negra, astringencia y pasas de uva. Es interesante observar el descriptor de ácido en los vinos de Rivadavia, dado que es una zona más cálida y se suele esperar una menor acidez en comparación con la zona de Valle de Uco. Maipú se destaca por tener valores más altos en descriptores como ciruela, pasas de uva, fruta roja y chocolate. Luján de Cuyo muestra valores más altos en los descriptores de rosas y arándanos. Tunuyán presenta un valor más elevado en el descriptor de aroma cálido (alcohólico en aroma), San Carlos muestra valores medios en higo, alcohólico en aroma, pimienta negra y ácido, y Tupungato tiene valores medios-altos en higo, amargo, fruta roja y astringencia.

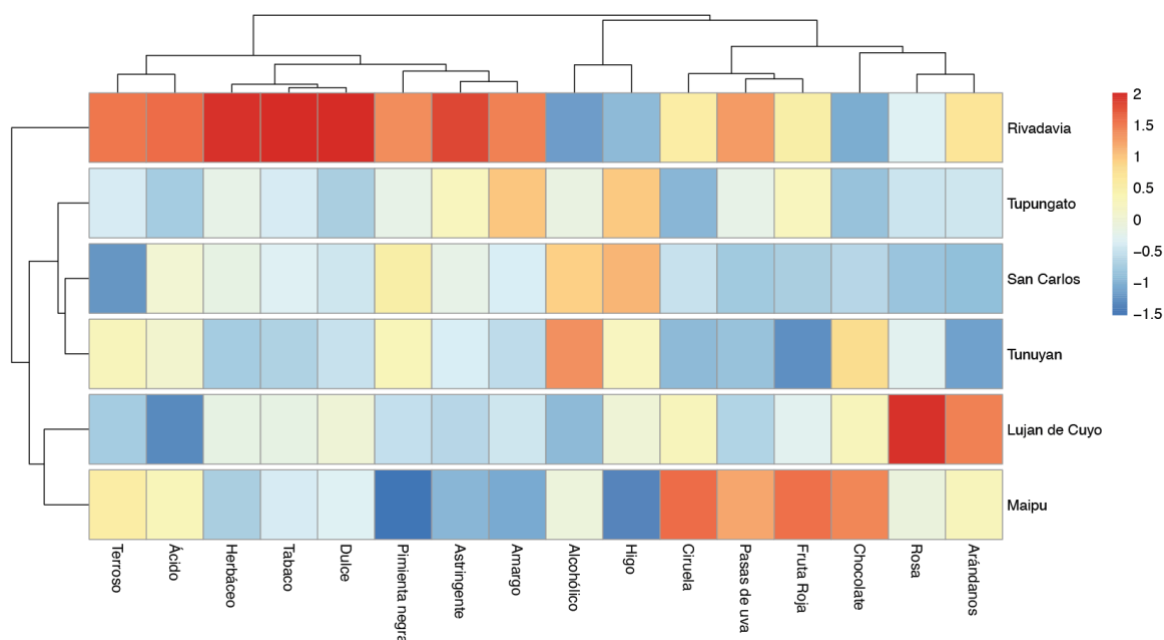


Figura 5.3. Análisis de conglomerados por departamentos con descriptores sensoriales de los vinos 2016. Los valores y los colores de las celdas indican una concentración relativa para cada departamento; el azul corresponde al valor mínimo y el rojo al valor máximo (“mapa de calor”).

El mapa de calor con las IGs de la añada 2016 (Figura 5.4), muestra dos grupos principales. En el primer grupo se encuentra San José separado del resto de los descriptores de intensidad media en ácido, amargo, herbáceo, higo y frutos rojos. También se observan dos sub-grupos, uno está conformado por las IGs Agrelo, Lunlunta y Ugarteche. Este sub-grupo tiene intensidad alta de rosas y arándanos como es el caso de Agrelo; ciruela, chocolate, pasas de uva y frutos rojos como es el caso de

Lunlunta. Por su parte, Ugarteche tiene intensidad media de rosas, con intensidad baja a nula de astringencia y pimienta negra.

Otro sub-grupo está confirmado por IGs del Valle de Uco, donde no hay elevadas intensidades de aromas.

El otro grupo principal está conformado por La Libertad, El Mirador y Rivadavia, quienes forman un grupo separado del resto. En el caso de estas 3 IGs tiene sentido este resultado observado porque pertenecen a la Zona Este y se encuentran muy próximas geográficamente. La Libertad tiene aromas a pasas de uva, terroso, tabaco y dulce.

El Mirador tiene alta intensidad en atributos como amargo, pimienta negra y herbáceo, también tiene baja a nula intensidad de descriptor alcohólico en boca.

La IG Rivadavia tiene alta intensidad en sabor ácido, sensación táctil astringencia, aromas a ciruela, pasas de uva y dulce.

Los descriptores ácido y astringencia podrían no ser comunes en zonas de baja altitud de Mendoza como Rivadavia, ya que es una zona cálida. Sin embargo, la añada 2016 tuvo gran cantidad de lluvias y fue una añada fría (ver Cuadro 3.3). La IG La Libertad, cercana a Rivadavia tuvo 38 días con temperaturas mayores a 33 °C en la añada 2016, mientras que en las añadas 2017 y 2018, tuvo 96 y 92 días con esas condiciones de temperatura, respectivamente. Las zonas de baja altitud y con suelos más pesados (mayor porcentaje de arcilla) sufrieron problemas de enfermedades como Botritis. La parcela de Rivadavia se cosechó con 21,6 Brix (Ver Cuadro 3.4), el vino final tuvo una acidez total de 6,8 g/L, y observando los registros de trabajo de la tesis, la parcela tuvo que ser cosechada con anticipación para no tener problemas de enfermedades fúngicas. En el caso de esperar hasta el momento de cosecha cercano a 24 °Brix, que en esta tesis fue considerado como la madurez estándar para las uvas de todas las parcelas, existía el peligro de infecciones de las uvas con *Botrytis cinérea*, lo que hubiera resultado en vinos de menor calidad por problemas de oxidación mediados por la presencia de la enzima lacasa.

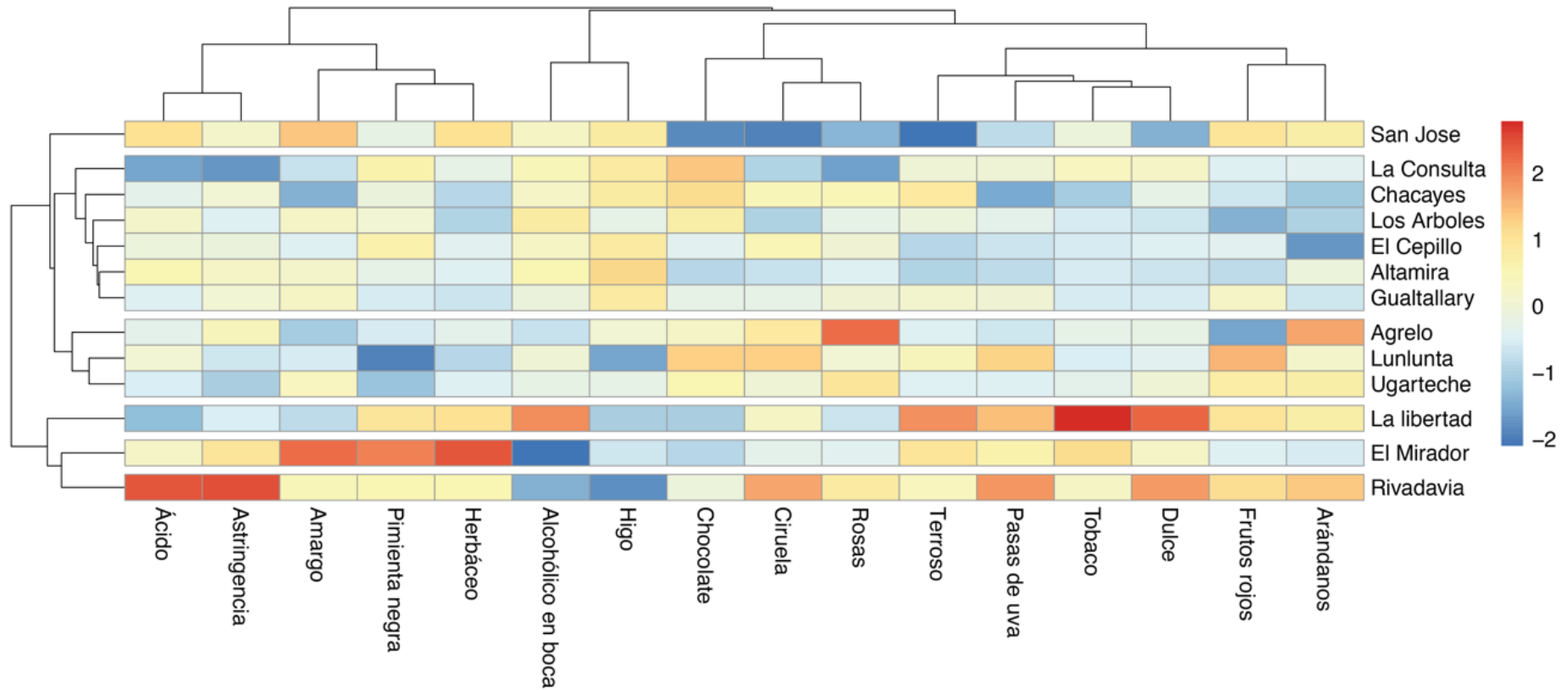


Figura 5.4. Análisis de conglomerados de IGs con descri ptores sensoriales de vinos 2016. Los valores y los colores de las celdas indican una concentración relativa para cada IGs; el azul corresponde al valor mínimo y el rojo al valor máximo (“mapa de calor”).

5.5.2. Añada 2017

Al igual que en el período anterior correspondiente a la añada 2016, se llevó a cabo un análisis de MANOVA en cada escala geográfica (Zonas, departamentos e IGs). Esto permitió establecer una comparación entre ambos períodos y evaluar posibles variaciones o patrones comunes en los resultados a lo largo del tiempo. En el caso de las categorías Zonas, departamentos e IGs, se encontró que los análisis de MANOVA de tres vías fueron significativos, considerando el origen, repetición, juez, la interacción entre origen y juez, y la interacción entre repetición y juez (ver Cuadro 5.3). Esta comparación con la añada 2016 permitió evaluar la consistencia y cambios en los resultados a lo largo de ambos períodos de estudio.

El modelo pseudo mixto se utilizó cuando se observaron interacciones significativas entre los vinos (ubicación por jueces). Utilizando un valor de $p < 0.05$, se encontró que los vinos por Zonas presentaron diferencias significativas en ocho descriptores, por departamentos en 9 descriptores, y por IGs en 11 descriptores (ver Cuadro 5.4). Esta estrategia de análisis permitió considerar de manera adecuada el efecto de las interacciones en la evaluación de los atributos sensoriales en cada nivel de ubicación geográfica.

Cuadro 5.3. p-valor de MANOVA de tres vías por Zonas, departamentos e IGs en la añada 2017.

	Zonas (n = 3)	Departamentos (n = 6)	IGs (n = 13)
<i>Origen</i>	2,20E-16	2,20E-16	2,20E-16
<i>Repetición</i>	2,20E-16	2,20E-16	2,20E-16
<i>Juez</i>	2,20E-16	2,20E-16	2,20E-16
<i>Origen:Repetición</i>	0,1355	0,04349	0,3584
<i>Origen:Juez</i>	8,27E-14	2,95E-12	3,16E-13
<i>Repetición:Juez</i>	2,20E-16	2,20E-16	2,20E-16

Cuadro 5.4. p-valor de ANOVA con modelo pseudomixto con descriptores sensoriales de vinos 2017

Descriptores de aromas	Zonas (n = 3)	Departamentos (n = 6)	IGs (n = 13)	Sabores Sensación táctil en boca	Regiones (n = 3)	Departamentos (n = 6)	IGs (n = 13)
<i>Bayas</i>	0,907	0,825	0,567	<i>Dulce</i>	0,706	0,54	0,287
<i>Frutilla</i>	0,594	0,31	0,0786	<i>Ácido</i>	0,141	0,106	0,0332
<i>Chocolate</i>	0,935	0,957	0,967	<i>Amargo</i>	0,00951	0,0116	0,042
<i>Cítrico</i>	0,139	0,282	0,523	<i>Salado</i>	0,786	0,757	0,901
<i>Ciruella</i>	0,55	0,794	0,423	<i>Astringente</i>	0,000583	1,14E-06	1,40E-

							07
<i>Eucaliptus</i>	0,0027	0,00034	0,000211	<i>Viscoso</i>	0,405	0,667	0,609
<i>Césped</i>	0,118	0,18	0,279	<i>Alcohólico</i>	0,00065	0,0000779	5,33E-05
<i>Cereza</i>	0,742	0,626	0,163	<i>Picante</i>	0,793	0,0438	0,0327
<i>Uvas</i>	0,664	0,583	0,803				
<i>Alcohólico</i>	0,000111	8,78E-06	3,01E-07				
<i>Frutos secos</i>	0,0445	0,0128	0,0447				
<i>Fruta artificial</i>	0,478	0,195	0,23				
<i>Especias para hornear</i>	0,725	0,777	0,408				
<i>Pimienta</i>	0,779	0,443	0,757				
<i>Vegetal</i>	9,32E-05	6,13E-07	1,32E-11				
<i>Roble</i>	0,916	0,257	0,395				
<i>Leñoso</i>	0,514	0,898	0,995				
<i>Humo</i>	0,0463	0,0322	0,0447				
<i>Manzana verde</i>	0,793	0,866	0,514				
<i>Cuero</i>	0,225	0,311	0,573				
<i>Medicinal</i>	0,169	0,168	0,119				
<i>Tabaco</i>	0,141	0,155	0,0295				
<i>Floral</i>	0,503	0,554	0,42				

La Figura 5.5 muestra un análisis de componentes principales (PCA) en el que se consideraron todos los atributos sensoriales, utilizando la categoría Zonas como clasificación. Las dos primeras dimensiones explicaron el 100% de la varianza acumulada. La primera dimensión explicó el 95,28% de la varianza y separó principalmente la Zona Este, que se asoció positivamente con descriptores como vegetal, ciruela, humo, cuero y césped. Por otro lado, Valle de Uco estuvo asociado con descriptores como eucalipto, astringente, amargo, picante, alcohólico (aroma y boca) y ácido. La segunda dimensión contribuyó a la separación de la Primera Zona, donde aparecieron descriptores asociados con notas leñosas, saladas y de frutilla. Las elipses de confianza indican que las regiones grandes en la cosecha 2017 presentaron diferencias significativas entre ellas, utilizando un intervalo de confianza del 95%.

Al igual que en la cosecha 2016, en la cosecha 2017 se pueden discriminar correctamente los oasis productivos incluidos en el estudio (Zona Este, Primera Zona y

Valle de Uco). En la zona Este, se encontraron aromas asociados a herbáceo y tabaco en la cosecha 2016, lo cual coincide con la familia de aromas encontrados en la cosecha 2017, como vegetal, humo y césped.

En la figura 5.6 se muestra un PCA con elipses de confianza utilizando los departamentos como variable de clasificación. Se puede observar que las dos primeras dimensiones explicaron el 88,88% de la varianza acumulada. La primera dimensión explicó el 71,4% de la varianza y separó principalmente al departamento Rivadavia, que se asoció positivamente con el aroma vegetal. Las elipses de confianza muestran que San Carlos y Luján de Cuyo no presentaron diferencias significativas entre ellos. Aunque Luján de Cuyo está muy cerca de San Carlos, en el componente principal 3 se puede observar que son diferentes (dato no mostrado). Se encontraron diferencias significativas entre Tupungato y San Carlos. Tunuyán se distinguió significativamente de los demás departamentos, al igual que Maipú. Tunuyán se asoció con descriptores como astringencia, alcohólico (aroma), picante y amargo. La segunda dimensión explicó el 17,48% de la varianza y caracterizó las diferencias departamentales mediante descriptores como frutilla, cereza y dulce, los cuales se asociaron positivamente con Maipú.

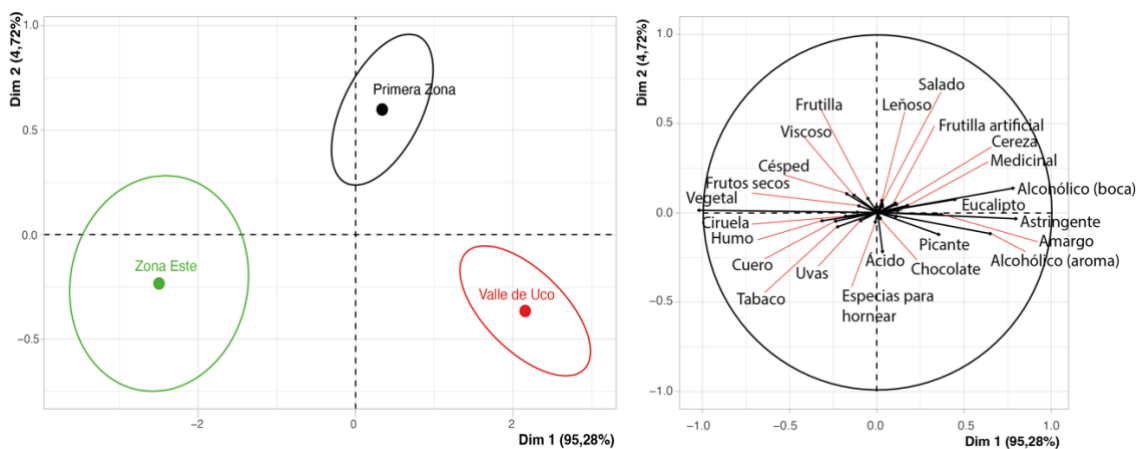


Figura 5.5. PCA incluyendo todas las variables y clasificación por “Zonas” con vinos añada 2017. (A) Elipses de confianza construidas con base en la distribución multivariada de la prueba de Hotelling para $p < 0,05$ indicando intervalos de confianza del 95%; (B) vectores de carga.

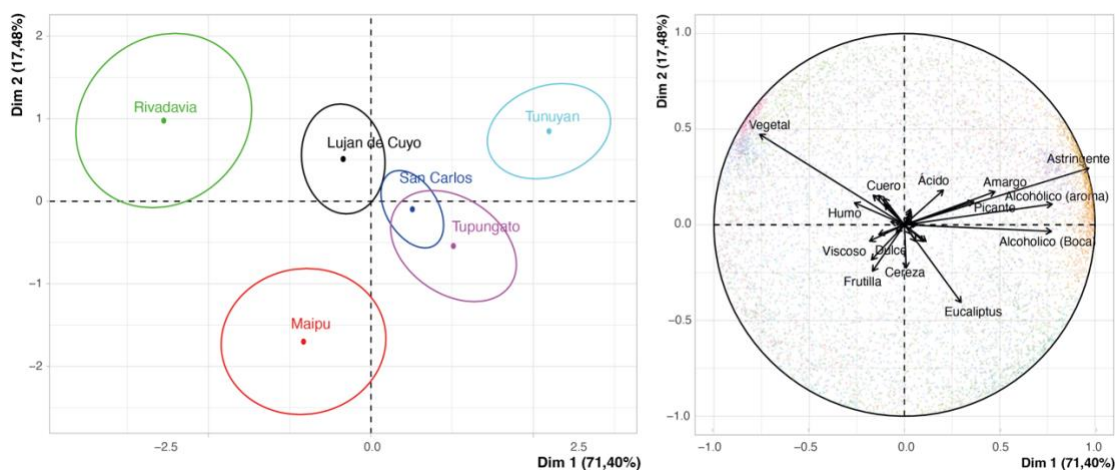


Figura 5.6. PCA con todas las variables usando como categoría de clasificación “Departamentos” con vinos añada 2017. (A) Elipses de confianza construidas con base en la distribución multivariada de la prueba de Hotelling para $p < 0,05$ indicando intervalos de confianza del 95%; (B) vectores de carga.

El mapa de calor con los datos de los vinos de la cosecha 2017 (figura 5.7) muestra claramente dos grupos principales. En el primer grupo, se encuentran los departamentos de Rivadavia y Maipú, mientras que en el segundo grupo se agrupan los demás departamentos, con subgrupos dentro de ellos. Se observa similitud en los perfiles sensoriales entre Luján de Cuyo y San Carlos dentro de los subgrupos. Además, dentro del mismo grupo, se destaca que Tupungato tiene un perfil sensorial distinto al resto de los departamentos. A diferencia del PCA de la figura 5.6, en el análisis de conglomerados Tupungato se separa de los demás departamentos.

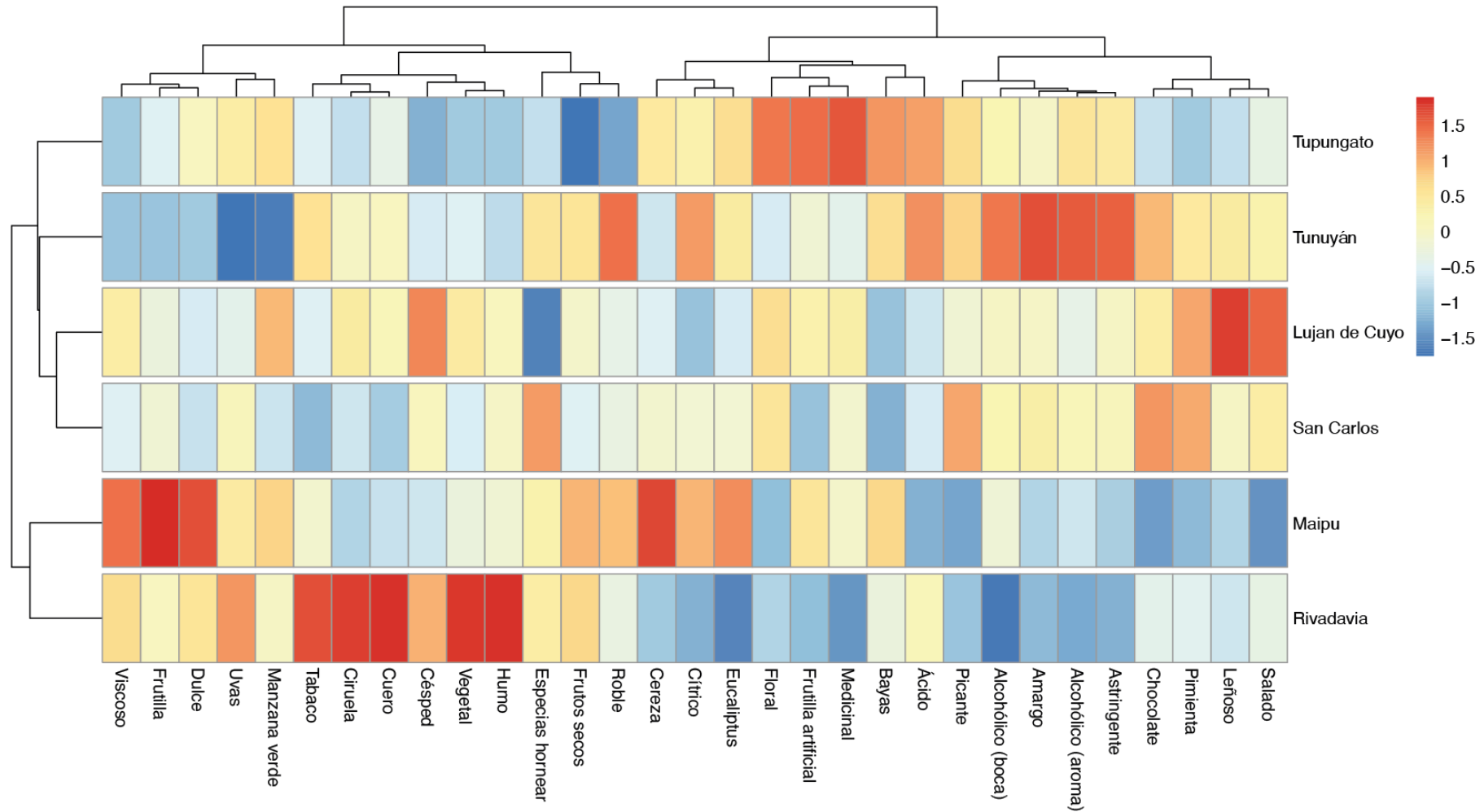


Figura 5.7. Análisis de conglomerados de departamentos con descriptores sensoriales de vinos 2017. Los valores y los colores de las celdas indican una concentración relativa para cada departamento; el azul corresponde al valor mínimo y el rojo al valor máximo (“mapa de calor”).

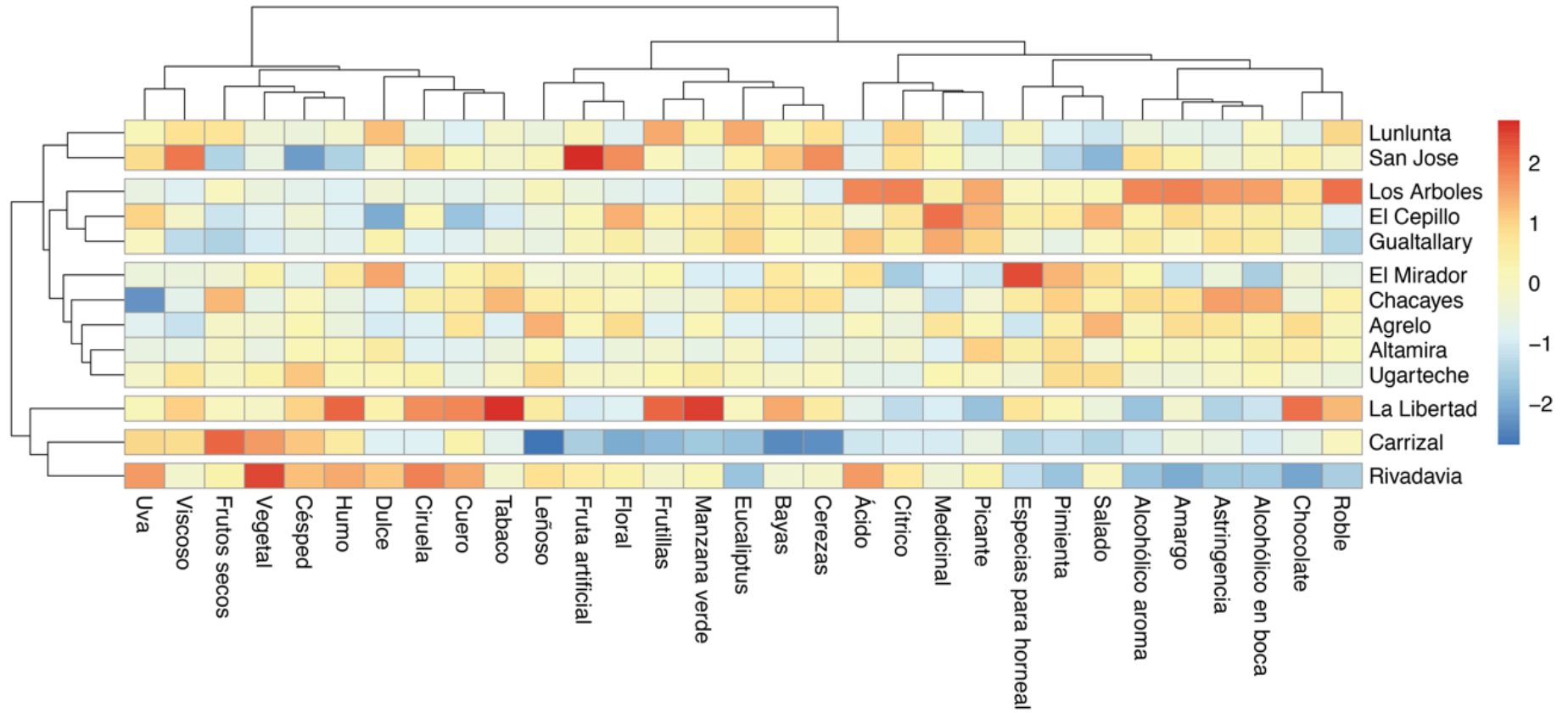


Figura 5.8. Análisis de conglomerados de IGs con descriptores sensoriales de vinos 2017. Los valores y los colores de las celdas indican una concentración relativa para cada IGs; el azul corresponde al valor mínimo y el rojo al valor máximo (“mapa de calor”).

En detalle, Rivadavia muestra intensidades más elevadas en los descriptores de tabaco, ciruela, cuero, césped, vegetal y humo. Maipú presenta mayor valor en los descriptores viscoso, frutilla, dulce y cereza. Tunuyán se caracteriza por tener un mayor valor en el aroma a roble, una sensación en boca picante, ácido, amargo, alcohólico tanto en aroma como en boca, y una mayor astringencia. Por su parte, Tupungato se destaca por tener un mayor valor en el aroma a bayas, sabor ácido, fruta artificial, medicinal y floral. Finalmente, el departamento San Carlos presenta valores medios en especias para hornear, sensación picante, aroma a chocolate y pimienta.

En la Figura 5.8 se presenta un mapa de calor con las agrupaciones de IGs cuando se utilizaron todas las variables sensoriales encontradas por el panel. Estas agrupaciones ayudan a comprender las diferencias y similitudes entre IGs utilizando un análisis no supervisado. Para los vinos de la añada 2017 se observan dos grupos que a su vez se dividen en otros subgrupos.

Lunlunta y San José formaron un grupo junto con los perfiles sensoriales. Ambas IGs provienen de dos departamentos y zonas diferentes. San José reportó una alta intensidad de descriptores de fruta artificial, viscosidad, floral y cereza. Lunlunta presentó descriptores asociados a eucalipto, frutilla y dulce.

El siguiente grupo está formado por Los Árboles, El Cepillo y Gualtallary. Las tres IGs de este grupo pertenecen a tres departamentos diferentes. Los Árboles tiene descriptores asociados a roble, picante (sensación en boca), astringencia, amargo, picante (aroma), picante, cítrico y ácido. El Cepillo se asoció a descriptores como salado, picante, medicinal y floral. En el caso de Gualtallary, los descriptores más importantes en términos de intensidad fueron medicinal y ácido.

Otro grupo fue el formado por El Mirador, Chacayes, Agrelo, Altamira y Ugarteche. En este caso, las distancias geográficas de este grupo no se correlacionaron con su agrupamiento, a excepción de Agrelo y Ugarteche, que se encuentran uno al lado del otro y están en el mismo departamento (Luján de Cuyo). Las otras IGs se ubican en promedio a 55 km de Luján de Cuyo. El Mirador se asocia a descriptores como especias para hornear, pimienta y dulce. Chacayes tiene descriptores más intensos como astringencia, picante (sensación en boca), tabaco, nuez y con ausencia del descriptor uva. La IG Agrelo presentó intensidades medias-elevadas en descriptores salados y leñoso. Altamira y Ugarteche forman un subgrupo con intensidad media en la mayoría de los descriptores evaluados.

El último grupo lo forman las IGs situadas en la zona Este, La Libertad, Carrizal y Rivadavia. La Libertad fue una de las IGs más diferentes de todas las evaluadas porque se asoció con descriptores como chocolate, manzana verde, frutilla, tabaco, cuero, ciruela y ahumado. Carrizal presentó aromas a frutos secos, vegetal y herbáceos, con nula o baja intensidad de leñoso, bayas, cerezas, frutas artificiales, floral, frutilla, manzana verde y eucalipto. Si bien Carrizal pertenece a Luján de Cuyo, se encuentra en una localidad de clima similar a La Libertad y Rivadavia (Figura 2.3).

5.5.3. Añada 2018

Se realizaron análisis de MANOVA en cada nivel de escala geográfico incluyendo Zonas, departamentos e IGs con los datos de vinos añada 2018. En el caso de Zonas, departamento e IGs, el MANOVA de tres vías fue significativo por Zonas, repetición, juez, interacción entre origen:juez y repetición:juez (Cuadro 5.5)

En el panel 2018, al igual que los otros paneles, se encontró que el factor juez fue significativo. Esto es esperable en un análisis sensorial descriptivo y probablemente signifique que los jueces usaron diferentes partes de la escala al evaluar los vinos.

En el Cuadro 5.6 se observan los descriptores por origen. Usando un $p < 0.05$, los vinos por Zonas fueron significativos en 9 descriptores, por Departamentos fue significativo en 10 descriptores y por IGs fue significativo en 6 descriptores (Cuadro 5.6).

Cuadro 5.5. p-valor de MANOVA de tres vías por Zonas, departamentos e IGs en la añada 2018.

	Zonas (n = 3)	Departamentos (n = 6)	IGs (n = 13)
<i>Origen</i>	4,439E-13	2,20E-16	2,20E-16
<i>Repetición</i>	2,20E-16	2,20E-16	2,20E-16
<i>Juez</i>	2,20E-16	2,20E-16	2,20E-16
<i>Origen:Repetición</i>	0,5419	0,383	0,6459
<i>Origen:Juez</i>	1,220E-09	2,20E-16	2,20E-16
<i>Repetición:Juez</i>	2,20E-16	2,20E-16	2,20E-16

Cuadro 5.6. p-valor de ANOVA con modelo pseudomixto con descriptores sensoriales de vinos 2018.

Descriptores de aromas	Zonas (n = 3)	Departamentos (n = 6)	IGs (n = 13)	Sabores Sensación táctil en boca	Regiones (n = 3)	Departamentos (n = 6)	IGs (n = 13)
<i>Vainilla</i>	0,228	0,289	0,234	<i>Dulce</i>	0,615	0,188	0,121
<i>Banana</i>	0,14	0,162	0,316	<i>Amargo</i>	0,237	0,319	0,685
<i>Especiado</i>	0,517	0,81	0,749	<i>Ácido</i>	0,152	0,248	0,193
<i>Mermelada</i>	0,408	0,0812	0,109	<i>Salado</i>	0,676	0,112	0,129
<i>Chocolate</i>	0,818	0,827	0,9	<i>Astringente</i>	0,000167	1,64E-05	2,2E-09
<i>Pimiento verde</i>	0,314	0,585	0,291	<i>Picante</i>	0,0444	0,23	0,093
<i>Ciruela</i>	0,416	0,134	0,103	<i>Viscosidad</i>	0,624	0,246	0,0113
<i>Tierra</i>	0,262	0,46	0,253	<i>Alcohólico</i>	0,0557	0,0807	0,0022
<i>Alcohólico</i>	0,025	0,0923	0,0562				
<i>Césped</i>	0,255	0,106	0,425				
<i>Herbáceo</i>	0,666	0,844	0,75				
<i>Cuero</i>	0,0365	0,00305	0,0509				
<i>Frutos rojos</i>	0,00067	0,0624	0,103				
<i>Rosas</i>	0,0225	0,0869	0,0626				
<i>Pasas de uva</i>	0,65	0,427	0,164				
<i>Humo</i>	0,0133	0,00188	4,88E-05				
<i>Humedad</i>	0,0108	0,02216	0,0013				
<i>Acético</i>	0,0294	0,00573	0,0509				
<i>Manteca</i>	0,29	0,0534	0,742				
<i>Roble</i>	0,594	0,436	0,739				

La Figura 5.9 muestra un PCA donde los descriptores sensoriales son variables dependientes usando regiones como clasificación. Las dos primeras dimensiones explicaron el 100% de la varianza acumulada. La primera dimensión explicó el 94,51% de la varianza y separó la Zona Este de las regiones Primera Zona y Valle de Uco. La Primera Zona y Valle de Uco se asociaron positivamente a descriptores como alcohólico en boca, astringente, ciruela, frutos rojos, mientras que Zona Este se encontró asociado a humedad, acético, humo, cuero, pimiento verde y tierra. La segunda dimensión contribuye a la separación de Primera Zona y Valle de Uco. Las elipses de confianza muestran que las regiones en la cosecha 2018 fueron diferentes entre ellos al usar intervalos de confianza del 95%.

La Figura 5.10 muestra un PCA con elipses de confianza usando departamentos como variable de clasificación. Se puede observar que las dos primeras dimensiones explicaron el 81,48% de la varianza acumulada. La primera dimensión explicó el 66,14% de la varianza y separó principalmente al departamento Rivadavia, que se asoció positivamente con los aromas a humedad, acético, pasas de uva, césped y cuero. Las elipses de confianza muestran que Maipú, Tupungato y San Carlos no tuvieron diferencias significativas entre ellos. Luján de Cuyo está muy próximo a San Carlos, pero en el componente principal 3 se puede observar que son diferentes (dato no mostrado). La segunda dimensión explicó el 15,34% de la varianza y separó al departamento Tunuyán de Maipú, Tupungato y San Carlos.

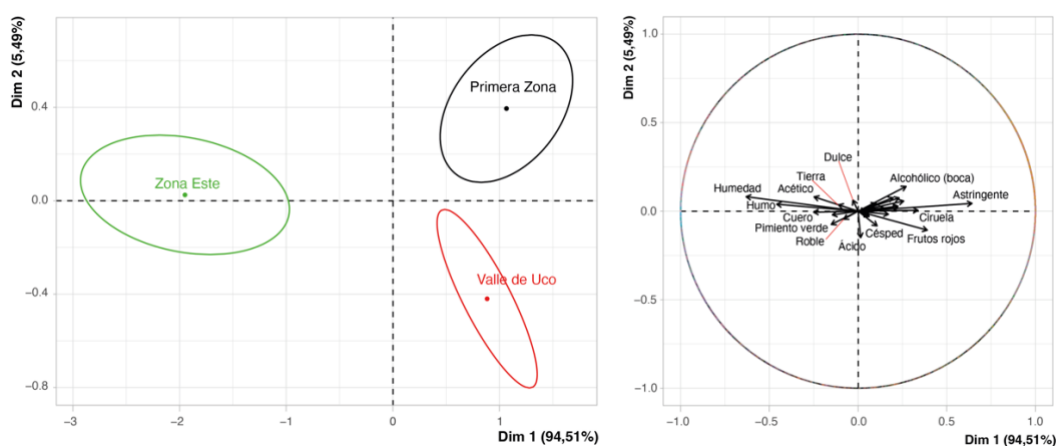


Figura 5.9. PCA con todas las variables y clasificación por Zonas con vinos 2018. (A) Elipses de confianza construidas con base en la distribución multivariada de la prueba de Hotelling para $p < 0,05$ indicando intervalos de confianza del 95%; (B) vectores de carga.

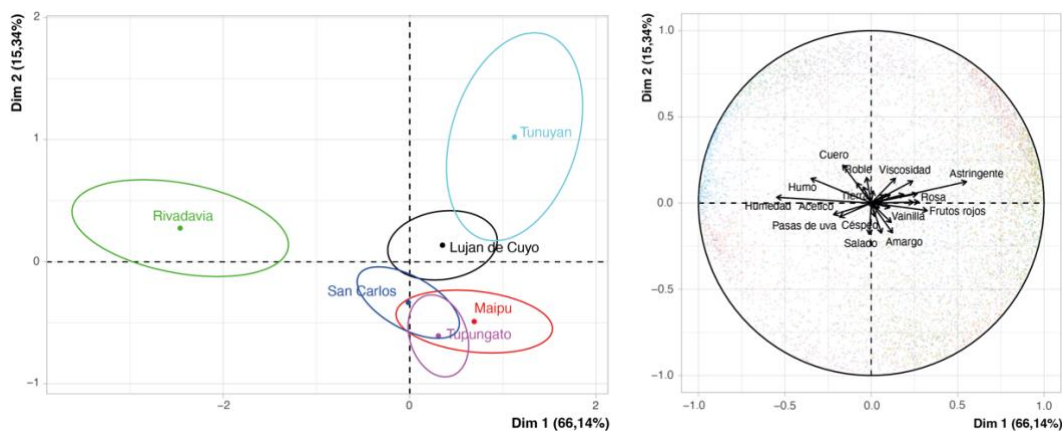


Figura 5.10. PCA con todas las variables usando como clasificación departamentos con vinos 2018. (A) Elipses de confianza construidas con base en la distribución multivariada de la prueba de Hotelling para $p < 0,05$ indicando intervalos de confianza del 95%; (B) vectores de carga.

El mapa de calor con los datos de vinos 2018 para departamentos (Figura 5.11) muestra que hay tres grandes grupos, donde Rivadavia se encuentra separado del resto con un perfil sensorial distinto y valores altos de aromas como pasas de uva, acético, humo, humedad, cuero, pimienta verde y tierra. El segundo grupo está conformado por Tunuyán con descriptores con valores altos de pimienta verde, roble, tierra, herbáceo, especiado, viscosidad, rosas y astringencia. El siguiente grupo está conformado por Maipú, Luján de Cuyo, San Carlos y Tupungato. Maipú tiene valores altos de descriptores como dulce, herbáceo, alcohólico en aroma, picante, vainilla, amargo, césped y chocolate. Luján de Cuyo tiene un perfil sensorial caracterizado por aromas a mermelada, banana, manteca, vainilla y alcohólico en boca. San Carlos tiene muchos descriptores en intensidad media, con excepción de amargo, césped y salado con intensidad más alta. Tupungato tiene alta intensidad del descriptor ácido.

La Figura 5.12 muestra el mapa de calor usando IGs como categoría de clasificación, donde las IGs La Libertad y Rivadavia forman un grupo separado con respecto a las demás. La Libertad y Rivadavia se asociaron con descriptores como humedad, acético, cuero, humo, ácido, pimienta verde y roble.

Chacayes y Los Árboles formaron un grupo. Chacayes presentó una alta intensidad de herbáceos, especiados, picantes (aroma) y rosas, y Los Árboles reportó un gran grupo de descriptores de intensidad similar, entre los que podrían destacarse roble y viscosidad. La agrupación entre estas dos IGs tiene sentido por las distancias geográficas que las separan (véase la Figura 2.2). Chacayes y Los Árboles se encuentran en el mismo departamento, incluso la formación geológica de ambos está ligada al abanico aluvial del río Arroyo Grande del "Manzano". Este abanico se formó a lo largo de miles de años por la acumulación de material arrastrado por el río Arroyo Grande proveniente de la Cordillera de los Andes (Corona, 2019).

En el tercer gran grupo existen varios subgrupos. En el primer subgrupo se encuentran Ugarteche y San José. Ugarteche se asocia con descriptores como manteca, banana, mermelada, viscosidad y pimienta verde, mientras que San José tiene descriptores como picante (sensación en boca), chocolate y dulce. Ugarteche se encuentra en el departamento de Luján de Cuyo y San José en el departamento de Tupungato. San José limita al oeste con Ugarteche y está separada por las colinas de Los Cerrillos. Aunque existen diferencias climáticas en GDD y elevación (Cuadro 2.1 y 3.3), las uvas fueron cosechadas en fechas muy cercanas, lo que es una razón posible para la agrupación de estas IGs.

En el tercer grupo, la IG El Mirador se separa del resto, con pasas de uva como descriptor asociado y una baja intensidad en los descriptores banana, roble y especias. El Mirador se encuentra en la Zona Este, en el departamento Rivadavia. Por su cercanía geográfica, debería encontrarse en el primer grupo junto con La Libertad y Rivadavia. Observando las diferencias y similitudes con las otras parcelas del departamento, la parcela ubicada en El Mirador posee el sistema de conducción aérea en espaldera, mientras que las otras poseen el sistema de conducción parral, y además fue la parcela ubicada a menor elevación en este estudio.

En el siguiente subgrupo se encuentran Altamira y La Consulta. En la IG Altamira el descriptor más intenso fue salado, mientras que en La Consulta fueron herbáceo y amargo. Ambas IG se encuentran en San Carlos y geográficamente están próximas entre sí. La formación de ambas IGs se debe al abanico aluvional del río Tunuyán (Corona, 2019). Por lo tanto, con base en las características edafoclimáticas similares de ambas IGs, la agrupación observada fue la esperada.

El Cepillo y Guatallary conforman otro grupo. El Cepillo tuvo asociados descriptores como herbáceo en baja intensidad y terroso. Gualtallary tuvo alta intensidad en ácido, y baja intensidad de cuero y dulce. Ambas IGs se encuentran en la Zona del Valle de Uco, pero en departamentos diferentes. La distancia geográfica entre las dos IGs es de aproximadamente 46 km.

Agrelo y Lunlunta forman el último subgrupo dentro del tercer conglomerado. Agrelo presentó descriptores asociados a vainilla, picante (sensación en boca) y astringencia. Lunlunta no tuvo descriptores en intensidades altas, pero presentó descriptores en intensidades bajas en comparación con el resto, como cuero, roble, mermelada, pimienta verde, ácido y pasas de uva. Ambas IGs se encuentran en la Primera Zona. Agrelo y Lunlunta se encuentran en los departamentos Luján de Cuyo y Maipú, respectivamente. En cuanto al clima, tienen similar GDD y una elevación similar (Cuadro 2.1, Cuadro 3.3), lo que podría explicar la similitud de sus perfiles sensoriales.

Hasta la fecha no existen estudios que analicen las características sensoriales de las IGs a pequeña escala en Mendoza. En el capítulo IV se presentó un agrupamiento similar en las IGs de Rivadavia y La Libertad, todas pertenecientes a la zona Este, basándose en el perfil de CPs. En el caso de Gualtallary, los CPs formaron un grupo separado del resto de las IGs (Figura 4.7). Este estudio muestra que Guatallary, tanto en la cosecha 2017 como en la 2018, presentó perfiles sensoriales similares que la IG El

Cepillo (Figura 5.4 y Figura 5.8). Este análisis no indica que los vinos sean idénticos, sólo que comparten algunas características que los agrupan, cuando el análisis se realiza con diferentes añadas. También se observa que Chacayes y Los Árboles formaron un grupo con los CPs, pero utilizando los datos sensoriales sólo hay coincidencia en el año 2018, no así para el año 2017.

Observando los resultados de los tres años de estudio, hay descriptores que coinciden, principalmente sabores y sensaciones táctiles en boca. En el caso de aromas, también hay descriptores similares, pero la preparación de los estándares de referencia fue distinta. A pesar de que cada panel fue realizado en un laboratorio y lugares diferentes, el efecto de la añada parece jugar un rol muy importante en la generación de estos descriptores.

La discriminación de regiones grandes es consistente en los tres años de estudio. La Zona Este fue caracterizada generalmente por descriptores herbáceos (vegetal, herbáceo y pimienta verde), humo, pasa de uva y ciruela. El Valle de Uco en el año 2016 tuvo aromas a higo y alcohólico en boca, mientras que en la cosecha 2017 y 2018 fueron vinos más astringentes y ácidos, con aromas a frutos rojos, eucalipto, césped y ciruela. La Primera Zona no tuvo muchos descriptores marcados, pero en el año 2016 predominó el aroma a rosas y chocolate, en el año 2017 los aromas leñoso y frutilla fueron los que prevalecieron. En el año 2018 fueron vinos con una sensación cálida en boca.

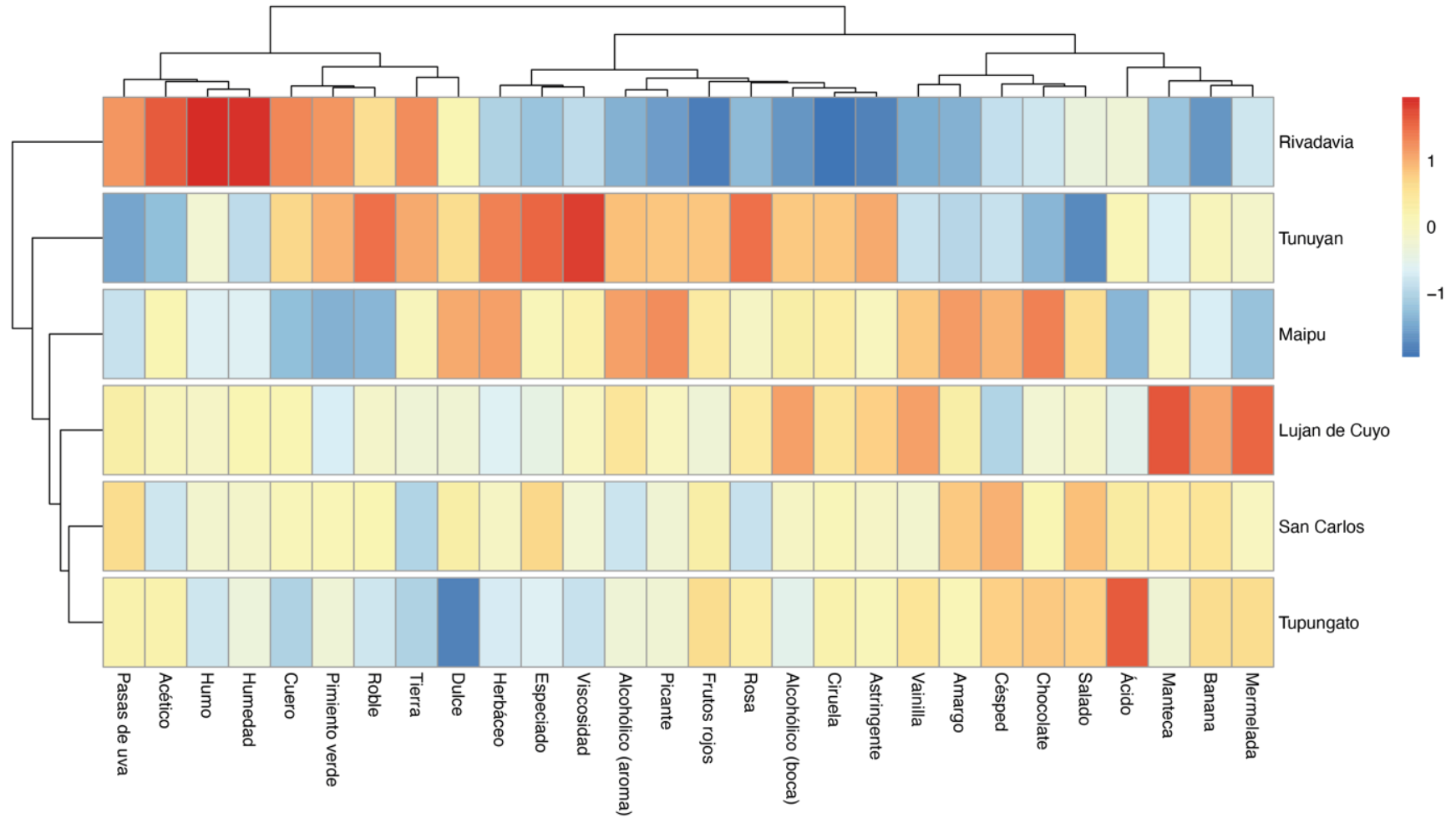


Figura 5.11. Análisis de conglomerados de departamentos con descriptores sensoriales de vinos 2018. Los valores y los colores de las celdas indican una concentración relativa para cada departamento; el azul corresponde al valor mínimo y el rojo al valor máximo (“mapa de calor”).

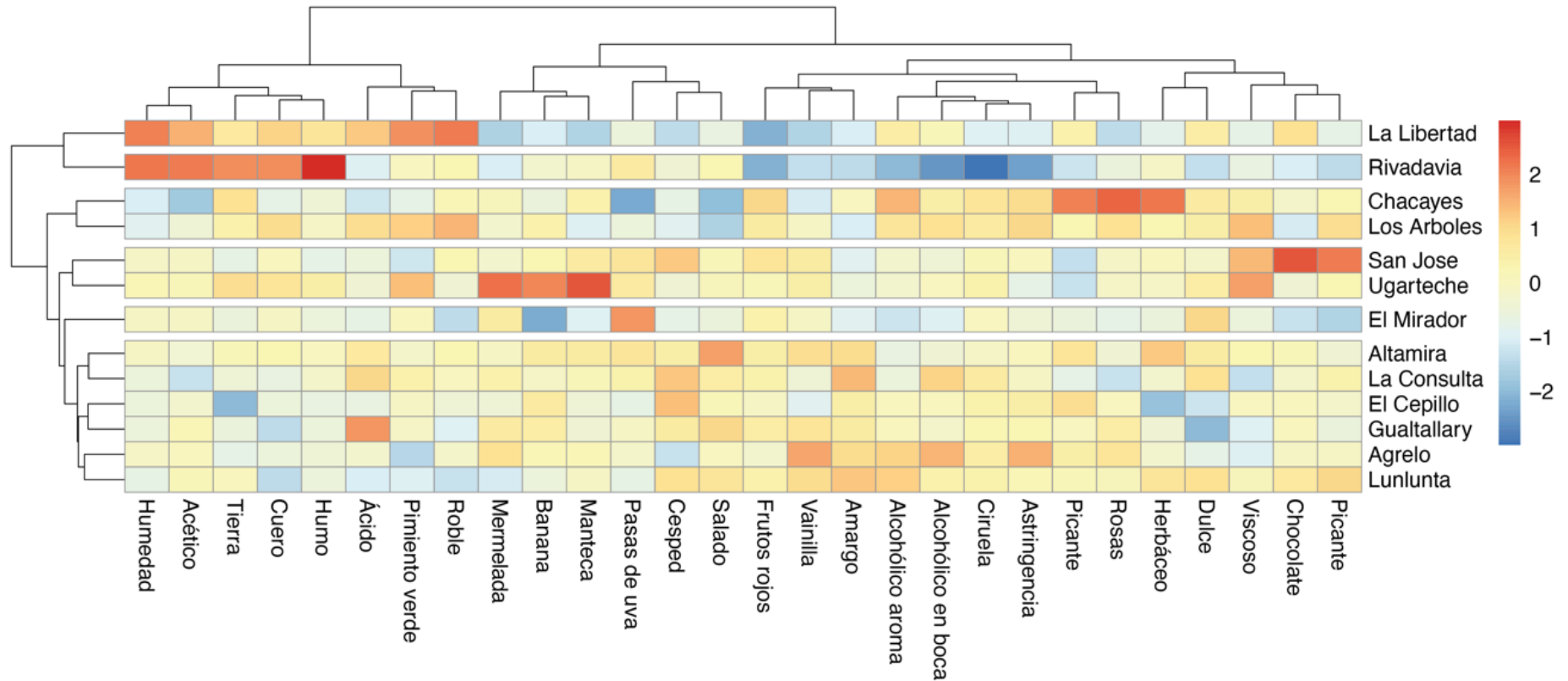


Figura 5.12. Análisis de conglomerados de IGs con descriptores sensoriales de vinos 2018. Los valores y los colores de las celdas indican una concentración relativa para cada IGs; el azul corresponde al valor mínimo y el rojo al valor máximo (“mapa de calor”).

Las sensaciones táctiles en boca como astringencia y sabor amargo están relacionadas con la concentración de CPs. La astringencia es un proceso complejo que involucra muchos mecanismos y generalmente se considera una sensación táctil causada por una pérdida de lubricación en la saliva (Kallithraka et al., 2001). Se cree que el principal mecanismo detrás de la pérdida de lubricidad de la saliva es el resultado de la interacción de agentes astringentes, como los taninos, con proteínas salivales y glicosaminoglicanos (mucopolisacáridos). Se ha demostrado que la posterior agregación y precipitación de los complejos proteína-tanino reduce la lubricación de la saliva al aumentar la fricción en la cavidad bucal (Baxter et al., 1997; Dinnella et al., 2009). Este proceso provoca una sensación de sequedad y granuloso en la boca y se ha demostrado que la sensación difiere según el tamaño y la concentración de los complejos proteína-tanino, así como la dureza o la blandura del precipitado (de Wijk & Prinz, 2005).

La percepción amarga está relacionada con fenoles de bajo peso molecular como flavonoles, agliconas y flavanoles monoméricos (Preys et al., 2006; Sáenz-Navajas et al., 2010). Algunos estudios recientes muestran que la percepción amarga puede ser fácilmente predicha por la cantidad de flavonoles en vinos (Ferrero-del-Teso et al., 2022).

5.5.4. Discriminación de regiones, departamentos e IGs usando los descriptores sensoriales independientemente de la añada

Para comprender la discriminación de las zonas por los datos sensoriales a lo largo de diferentes añadas, se realizó un análisis MFA integrando los datos obtenidos de cada zona a lo largo de las tres añadas (2016, 2017 y 2018). Como muestra la figura 5.13, la influencia de la añada en la clasificación de las zonas es evidente. El Valle de Uco y la Zona Este se explicaron mejor por la segunda dimensión. Hubo un mejor consenso en la Primera Zona que en las otras dos zonas. Los descriptores sensoriales se muestran en la Figura 5.13b para la clasificación por Zonas. Los descriptores que estuvieron presente en las tres añadas fueron aromas; especiado, vegetal/herbáceo, astringencia y humo. El aroma a frutos rojos se asoció con la Zona Este en la añada 2016, pero con las regiones del Valle de Uco y la Primera zona en 2018. Como quedó en evidencia en los capítulos anteriores, el efecto del año de cosecha tiene un impacto muy fuerte en la composición química de los vinos Malbec de Mendoza y, por tanto, en sus propiedades sensoriales directamente ligadas a dicha composición. En cuanto a las condiciones climáticas y a diferencia de las añadas 2017 y 2018, la cosecha 2016 fue

calificada en términos climáticos como muy fría, lluviosa y húmeda, condiciones que no son típicas de Mendoza. En el caso de las añadas 2017 y 2018, las características climáticas fueron similares a las observadas históricamente en Mendoza, lo que se reflejó en las características químicas de los vinos, que compartieron algunos de los descriptores discriminantes (química y sensorialmente). Las añadas 2017 y 2018 mostraron características climáticas similares a los promedios históricos de Mendoza, y las añadas pueden predecirse fácilmente utilizando modelos como PCA y PLS-DA con los CPs como se presentó en el capítulo anterior.

El MFA con los promedios de cada variable sensorial para las tres cosechas clasificadas por departamento mostró una clara influencia del año de cosecha en los departamentos Rivadavia y Maipú (Figuras 5.13c y 5.14d). Rivadavia está más fuertemente correlacionado con la segunda dimensión, mientras que la observación de Maipú está más fuertemente correlacionada con la primera dimensión. Rivadavia y Maipú no tuvieron un buen consenso en las cosechas 2017 y 2018. San Carlos y Tunuyán tuvieron un buen consenso en los tres años de estudio. Tupungato, Luján de Cuyo y San Carlos podrían estar potencialmente formando un gran grupo debido a características sensoriales similares. Observando los PCA individuales de las añadas 2017 y 2018 (Figuras 5.6 y 5.10, respectivamente), y los datos de 2016 (Figura 5.6), las añadas podrían estar estrechamente relacionadas por sus características sensoriales. El coeficiente RV calculado entre las configuraciones de las añadas 2016 y 2017 fue de 0,89, 2016 y 2018 fue de 0,86 y 2017 y 2018 fue de 0,71.

El MFA en Figura 5.13e, que integra las variables sensoriales de las tres añadas utilizando las IGs como criterio de clasificación, presentó una distribución menos clara de las IGs por localización geográfica. Sin embargo, hay lugares separados del resto que también están próximos geográficamente. La Libertad, La Antonia y La Vendimia - todas IGs situadas en la parte izquierda del MFA- se asociaron a fruta roja, vegetal, herbáceo, cuero, humedad, pimienta negra, humo, acético y dulce. Esta separación de las IGs de la Zona Este también se observó en la clasificación por regiones y departamentos, mostrando coherencia en la clasificación sobre diferentes denominaciones geográficas.

Los Árboles y Chacayes se encuentran en el cuadrante superior derecho. Ambas IGs están ubicadas en el mismo departamento y una al lado de la otra. Se observa un buen consenso en las tres cosechas para estas dos IGs.

El análisis MFA es útil para entender que hay zonas donde el impacto de la añada es más fuerte que en otras. Entender el comportamiento de cada zona a lo largo de diferentes añadas es crucial, más cuando las añadas tienen climas contrastantes. Así, por ejemplo, las añadas 2016 y 2018 fueron muy diferentes en términos climáticos, provocando que IGs como Lunlunta presenten un comportamiento diferente para cada añada, a diferencia de otras IGs como Agrelo, donde el consenso entre las tres añadas es mucho mayor, probablemente evidenciando una mayor consistencia de las características sensoriales de los vinos de ese lugar entre añadas. Esta tendencia resalta la potencialidad del estudio realizado para entender la tipicidad de una variedad de uva, en este caso el Malbec, pero que podría trasladarse a otras variedades de uva, en vinos de regiones de todo el mundo.

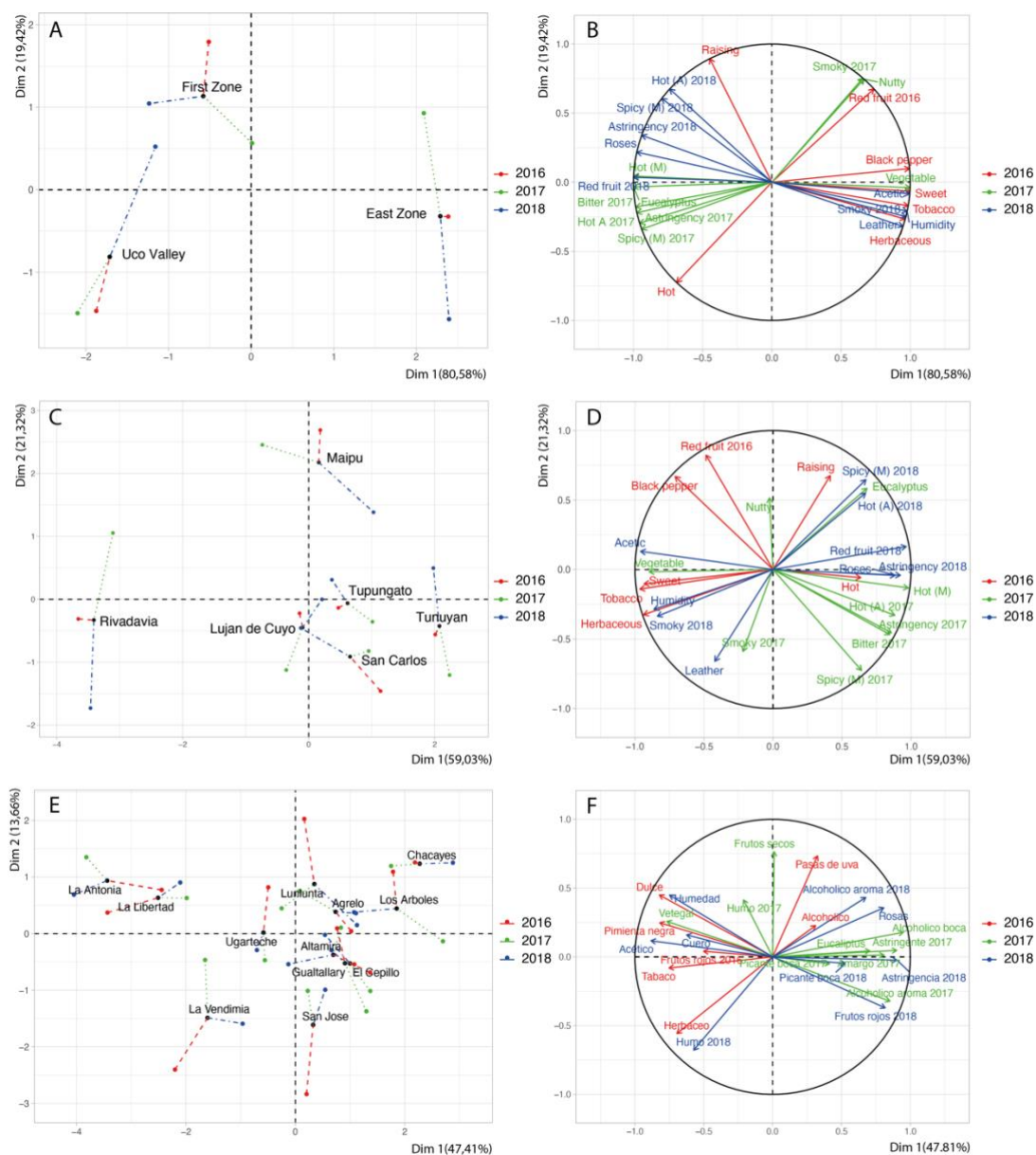


Figura 5.13. MFA con variables sensoriales de 3 años usando Zonas (a y b), departamentos (c y d) e IGs (e y f) como variable de clasificación. En los gráficos de corrección se muestra un MFA de consenso (a, c y e), la longitud de la línea está inversamente relacionada con la fuerza de acuerdo.

5.6. Conclusiones

En este capítulo, se llevó a cabo un análisis minucioso de los descriptores sensoriales usando análisis sensorial descriptivo para vinos Malbec de Mendoza, Argentina, obtenidos de diferentes IGs en las añadas 2016, 2017 y 2018. Esta investigación se enfocó en entender la influencia de diferentes factores, como la añada y el terroir, en las características analíticas y tipicidad sensorial de los vinos.

Encontrar la tipicidad de los vinos de diferentes orígenes tiene implicaciones tanto para los consumidores, ya que profundiza la comprensión del producto, como para los

productores, permitiendo avanzar en la construcción de una comunicación más sólida que respalde el concepto de terroir con evidencia científica. Desde una perspectiva de análisis sensorial, las posibilidades presentadas aquí, resaltando las diferentes formas de clasificar la tipicidad de los vinos en diferentes escalas geográficas y a lo largo de las cosechas, podrían mover la discusión hacia un mayor consenso, proporcionando evidencia de patrones sensoriales consistentes para terroirs específicos. Mirando más específicamente lo encontrado en Malbec, conocer la tipicidad del Malbec y si es posible distinguir entre diferentes escalas geográficas permitirá una comunicación más detallada y segura de la identidad y características de los vinos de Argentina. La presencia de descriptores sensoriales comunes en vinos de diferentes años originados en el mismo lugar, afectados por diferentes características climáticas, permite que los vinos de las diferentes áreas geográficas examinadas sean identificados por su tipicidad. En el futuro, la metodología presentada aquí podría contribuir a una comprensión extensa del efecto del terroir desde una perspectiva sensorial.

Capítulo 6

Discusión general y conclusiones

Discusión general

Esta tesis ha realizado una exploración profunda del impacto de las condiciones climáticas y edafológicas en las características fenólicas y sensoriales de los vinos Malbec producidos en las principales regiones vitivinícolas de Mendoza, Argentina. A través de un estudio de tres añadas consecutivas, se han elaborado vinos bajo condiciones estandarizadas a escala similar a la industrial con réplicas de cada elaboración para estudiar el efecto del origen de las uvas en la composición de los CPs y las características sensoriales de estos vinos. Esta investigación ha contribuido significativamente en dos frentes: 1- desarrollo de metodologías innovadoras para el estudio del terroir y 2-entender el comportamiento de la variedad Malbec producida en diferentes orígenes de Mendoza, presentando evidencia de cómo el entorno afecta el perfil de compuestos fenólicos y sensoriales del vino.

En perspectiva con estudios previos, se evidencia una profundización significativa en la comprensión de cómo factores ambientales a gran escala, como la elevación, la variabilidad de temperatura y precipitaciones, impactan en la composición de los vinos. Esta contribución es particularmente relevante en el contexto del cambio climático, donde la adaptabilidad de las prácticas vitivinícolas es y será crucial en futuro inmediato. La evidencia proporcionada aquí sobre la adaptación de la variedad Malbec a altitudes variadas puede guiar la expansión de viñedos en regiones antes consideradas impensadas.

Los resultados obtenidos proveen una base firme para investigaciones futuras, permitiendo la exploración y comparación con otras regiones vitivinícolas, tanto en Argentina como a nivel mundial. Esto es particularmente relevante para los vinos Malbec de altura, así como para aquellos de zonas con climas extremos, fríos y cálidos. En un contexto de cambio climático, estos hallazgos son relevantes, especialmente para comprender el comportamiento de la variedad Malbec en viñedos de altura, lo cual puede dar soporte en futuras decisiones sobre la expansión de zonas de cultivo. Además de dar base científicas a las actuales como el caso de las IG Pampa El Cepillo y Cordón El Cepillo, donde información de la actual tesis junto a otra información recolectada por productores locales fue utilizada en la presentación ante el INV para la aprobación de estas nuevas IG.

Además, los hallazgos de esta tesis plantean nuevas preguntas sobre la influencia a largo plazo de las condiciones climáticas o aparición de años atípicos desde el punto de vista climático en la evolución química y sensorial de los vinos Malbec. Esta es una dirección importante para la investigación futura, en la cual se debería incluir el efecto de la añada en el potencial de envejecimiento de los vinos Malbec.

Considerando a Argentina como un país del “nuevo mundo” en la producción de vinos, aunque con una historia de 400 años en la elaboración de vinos desde los tiempos jesuitas, los hallazgos contribuyen al proceso de posicionamiento internacional de sus regiones vitivinícolas. La evidencia científica contribuye a dar bases sólidas de que Mendoza puede producir vinos distintos dependiendo el origen de las uvas, reforzando su posicionamiento en el mercado global con conceptos aportados por esta tesis, como los vinos de parcela.

El análisis climático detallado de las zonas vitivinícolas de Mendoza, que utiliza el índice bioclimático Winkler para medir los GGD a través de un mapa, muestra la variabilidad climática de la región. Este estudio incluye datos sobre temperaturas máximas y mínimas, frecuencia de días con temperaturas superiores a 33°C, precipitaciones y GGD durante tres años contrastantes. Estos datos se complementan con análisis químicos de los vinos, proporcionando una perspectiva integral sobre la composición fenólica y las características sensoriales de los mismos.

La investigación ha demostrado que la variabilidad interanual afecta significativamente la composición fenólica de los vinos Malbec, resaltando la importancia de considerar múltiples añadas para obtener una comprensión más completa de una región determinada. Además, se ha observado que el origen geográfico y climático de las uvas ejerce una influencia determinante en su composición, reforzando la idea de que el terroir es un factor esencial en la calidad del vino.

La tesis también aborda cómo el ambiente influye en los CPs, discutiendo los efectos de la elevación, temperaturas elevadas, GDD y el impacto de años fríos, como fue el caso de 2016. Se muestra información detallada de la tipicidad sensorial del Malbec en distintas regiones y escalas, desde grandes regiones a IGs, utilizando paneles de análisis sensorial descriptivo realizados en dos laboratorios de Argentina y uno en California, Estados Unidos. Estos estudios han contribuido a una mejor comprensión de la caracterización y discriminación sensorial de los vinos en diferentes regiones, resaltando la presencia de descriptores sensoriales comunes a pesar de las variaciones climáticas. El enfoque proporciona una huella distintiva para reconocer la tipicidad de

las regiones, departamentos e IG estudiados, mejorando la comunicación sobre los vinos producidos en Mendoza y reforzando su identidad en el mercado internacional.

Conclusiones y perspectivas futuras

La investigación presentada en esta tesis sobre el comportamiento del Malbec de Mendoza, incluye un análisis detallado de la diversidad climática de la región y su impacto directo en las características de los vinos en tres añadas contrastantes, sumando un mapa con información climática desde 1958 hasta 2019. Esta información es de utilidad para los productores de vinos en la comunicación sobre la variabilidad climática en las principales zonas vitivinícolas de Mendoza y sus efectos sobre la composición de los vinos. Todo este cúmulo de información aquí presentado desde una perspectiva integrada sustenta científicamente la tipicidad de los vinos Malbec mendocinos, inclusive la caracterización de parcelas únicas con potencialidad de producir vinos de calidad superlativa. Así, con el fin de continuar construyendo el acervo de conocimiento de estos sitios únicos se debería continuar en esta línea de tipificación que permita a la industria vitivinícola nacional afianzar aún más este concepto en mercados internacionales.

En particular, se ha observado que las regiones de mayor altitud, con climas más fríos, presentan concentraciones elevadas de determinados CPs y cambios en los niveles de antocianos, incluyendo un aumento en derivados di-hidroxilados (más estables ante procesos oxidativos). Estos hallazgos subrayan que tanto el efecto de la añada como el origen geográfico de las uvas son factores determinantes en la composición fenólica de los vinos de Mendoza, con análisis quimiométricos que proporcionan una caracterización y discriminación detallada de los mismos.

La investigación también ha permitido una comprensión más profunda de los vinos Malbec de distintas regiones como el Valle de Uco, Primera Zona y Zona Este, enfocándose en sus perfiles fenólicos únicos. Se destaca que diferentes terruños generan vinos distintivos, una afirmación respaldada por la comparación de datos entre diferentes regiones.

Además, se introdujo por primera vez en la bibliografía científica el concepto de 'vinos de parcelas', que es el equivalente de los climat de Francia, junto con una metodología para predecir las parcelas usando sus perfiles de CPs. Esta información

mostró que en Mendoza es posible identificar parcelas de Malbec, independientemente del año de estudio, aplicando dos modelos estadísticos.

Finalmente, la implementación de una metodología innovadora para el estudio del terroir mediante análisis sensorial descriptivo ha ofrecido una nueva perspectiva. Esta metodología resalta los perfiles sensoriales distintivos de cada Zona, departamento e IG de Mendoza, confirmando la tipicidad de los vinos a pesar de las variaciones climáticas. Rastrear la tipicidad de vinos de diferentes orígenes tiene implicaciones tanto para los consumidores -profundizando en su comprensión del producto- como para los productores -favoreciendo la construcción de firmas sólidas para apoyar el concepto de terroir con pruebas científicas-. Desde el punto de vista del análisis sensorial, las posibilidades que aquí se presentan: diferentes formas de clasificar la tipicidad de los vinos a distintas escalas geográficas y a lo largo de diferentes añadas, enriquecen el debate hacia la búsqueda de un mayor consenso, al aportar pruebas de “firmas” o “huellas” sensoriales consistentes y coherentes para terruños específicos. Centrándonos más específicamente en los resultados del Malbec, conocer la tipicidad del Malbec y, si es posible, distinguir entre diferentes escalas geográficas permite una comunicación más detallada y segura de la identidad y características de los vinos de Argentina. La presencia de descriptores sensoriales comunes en diferentes añadas, afectadas por diferentes características climáticas, permite identificar la tipicidad de los vinos de las diferentes zonas geográficas examinadas y da una robustez consistente a los modelos propuestos.

Con las bases establecidas en esta tesis, las investigaciones futuras podrían incluir el análisis de datos de compuestos volátiles medidos por GC-MS de los vinos para buscar correlaciones entre dicha información química y descriptores sensoriales. Esta información adicional podría profundizar en la autenticidad de los vinos de cada región o parcela, como herramientas para los productores ante posible falsificación de vinos. Además, la información generada en esta tesis puede ser utilizada como punto de partida para estudios sobre el potencial de añejamiento de los vinos Malbec de Mendoza, un aspecto que hasta ahora no ha sido ampliamente explorado de manera integrada con distintas matrices de datos ni en diferentes años, una variable relevante considerando los cada día mas frecuentes años contrastantes en términos climáticos.

Bibliografía

- Adams, D. O. (2006). Phenolics and ripening in grape berries. *American Journal of Enology and Viticulture*, *57*, 249–256.
- Alonso, R., Berli, F. J., Fontana, A., Piccoli, P., & Bottini, R. (2016). Malbec grape (*Vitis vinifera* L.) responses to the environment: Berry phenolics as influenced by solar UV-B, water deficit and sprayed abscisic acid. *Plant Physiology and Biochemistry*, *109*, 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.09.007>
- Anesi, A., Stocchero, M., Dal Santo, S., Commisso, M., Zenoni, S., Ceoldo, S., Tornielli, G. B., Siebert, T. E., Herderich, M., Pezzotti, M., & Guzzo, F. (2015). Towards a scientific interpretation of the terroir concept: plasticity of the grape berry metabolome. *BMC Plant Biology*, *15*, 191. <https://doi.org/10.1186/s12870-015-0584-4>
- Asenstorfer, R. E., Iland, P. G., Tate, M. E., & Jones, G. P. (2003). Charge equilibria and pKa of malvidin-3-glucoside by electrophoresis. *Analytical Biochemistry*. [https://doi.org/10.1016/S0003-2697\(03\)00249-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2697(03)00249-5)
- Astray, G., Mejuto, J. C., Martínez-Martínez, V., Nevares, I., Alamo-Sanza, M., & Simal-Gandara, J. (2019). Prediction Models to Control Aging Time in Red Wine. *Molecules* 2019, Vol. 24, Page 826, 24(5), 826. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES24050826>
- Azuma, A., Yakushiji, H., Koshita, Y., & Kobayashi, S. (2012). Flavonoid biosynthesis-related genes in grape skin are differentially regulated by temperature and light conditions. *Planta*, *236*(4), 1067–1080. <https://doi.org/10.1007/s00425-012-1650-x>
- Baranowski, J. D., & Nagel, C. W. (1981). Isolation and Identification of the Hydroxycinnamic Acid Derivatives in White Riesling Wine. *American Journal of Enology and Viticulture*.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. M., & Walker, S. C. (2014). Fitting Linear Mixed-Effects Models using lme4. *Journal of Statistical Software*, *67*(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Baxter, N. J., Lilley, T. H., Haslam, E., & Williamson, M. P. (1997). Multiple interactions between polyphenols and a salivary proline-rich protein repeat result in complexation and precipitation. *Biochemistry*, *36*(18), 5566–5577. <https://doi.org/10.1021/bi9700328>

- Berli, F., D'Angelo, J., Cavagnaro, B., Bottini, R., Wuilloud, R., & Silva, M. F. (2008). Phenolic composition in grape (*Vitis vinifera* L. cv. Malbec) ripened with different solar UV-B radiation levels by capillary zone electrophoresis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*, 2892–2898. <https://doi.org/10.1021/jf073421+>
- Berli, F. J., Alonso, R., Beltrano, J., & Bottini, R. (2015). High-altitude solar UV-B and abscisic acid sprays increase grape berry antioxidant capacity. *American Journal of Enology and Viticulture*. <https://doi.org/10.5344/ajev.2014.14067>
- Berli, F. J., Fanzone, M., Piccoli, P., & Bottini, R. (2011a). Solar UV-B and ABA are involved in phenol metabolism of *Vitis vinifera* L. Increasing biosynthesis of berry skin polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *59*, 4874–4884. <https://doi.org/10.1021/jf200040z>
- Berli, F. J., Fanzone, M., Piccoli, P., & Bottini, R. (2011b). Solar UV-B and ABA are involved in phenol metabolism of *Vitis vinifera* L. Increasing biosynthesis of berry skin polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *59*, 4874–4884. <https://doi.org/10.1021/jf200040z>
- Bokulich, N. A., Thorngate, J. H., Richardson, P. M., & Mills, D. A. (2014). Microbial biogeography of wine grapes is conditioned by cultivar, vintage, and climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *111*(1), E139–E148. https://doi.org/10.1073/PNAS.1317377110/SUPPL_FILE/SD10.TXT
- Bonnans, S., & Noble, a C. (1993). Effect of sweetener type and of sweetener and acid levels on temporal perception of sweetness, sourness and fruitiness. *Chemical Senses*, *18*(3), 273–283. <https://doi.org/10.1093/chemse/18.3.273>
- Boulton, R. (2001). The Copigmentation of Anthocyanins and Its Role in the Color of Red Wine: A Critical Review. *American Journal of Enology and Viticulture*, *52*(2), 67–87. <http://www.ajevonline.org/content/52/2/67.abstract>
- Breiman, L. (2001). Statistical modeling: The two cultures. *Statistical Science*, *16*(3), 199–215. <https://doi.org/10.1214/ss/1009213726>
- Brouillard, R., George, F., & Fougousse, a. (1997). Polyphenols produced during red wine ageing. *BioFactors (Oxford, England)*, *6*, 403–410.
- Buscema, F., & Boulton, R. (2015). Phenolic Composition of Malbec: A Comparative Study of Research-Scale Wines between Argentina and the United States.

- American Journal of Enology and Viticulture*, 66(1), 30–36. <https://doi.org/10.5344/ajev.2014.14006>
- Byer, S. R. (2019). *The Impact of Vineyard Site on Pinot Noir Musts and Wines from California and Oregon*. University of California, Davis.
- Cabré, M. F., Quénol, H., & Nuñez, M. (2016). Regional climate change scenarios applied to viticultural zoning in Mendoza, Argentina. *International Journal of Biometeorology*, 60(9), 1325–1340. <https://doi.org/10.1007/S00484-015-1126-3/FIGURES/7>
- Canizo, B. V., Escudero, L. B., Pellerano, R. G., & Wuilloud, R. G. (2019). Data mining approach based on chemical composition of grape skin for quality evaluation and traceability prediction of grapes. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 514–522. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2019.04.043>
- Casassa, L. F., Beaver, C. W., Mireles, M., Larsen, R. C., Hopfer, H., Heymann, H., & Harbertson, J. F. (2013). Influence of fruit maturity, maceration length, and ethanol amount on chemical and sensory properties of Merlot wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 64(4), 437–449. <https://doi.org/10.5344/ajev.2013.13059>
- Casassa, L. F., & Harbertson, J. F. (2014). Extraction, evolution, and sensory impact of phenolic compounds during red wine maceration. *Annual Review of Food Science and Technology*, 5(December 2013), 83–109. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030713-092438>
- Catania, A. A., Galiotti, H., Catania, C. D., Sari, S. E., Aliquo, G., & Bonada, M. (2011). Influence of four alternatives of oak aging of the color and phenolic composition of Malbec and Cabernet Sauvignon wines. *Bulletin de l'OIV*.
- Cejudo-Bastante, M. J., Hermosín-Gutiérrez, I., & Pérez-Coello, M. S. (2011). Micro-oxygenation and oak chip treatments of red wines: Effects on colour-related phenolics, volatile composition and sensory characteristics. Part II: Merlot wines. *Food Chemistry*, 124, 738–748. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.064>
- Charles, L. S., & Collins, C. (2017). More than \$5 million to study Australian Shiraz terroir. *Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker*.
- Cheynier, V., Dueñas-Paton, M., Salas, E., Maury, C., Souquet, J. M., Sarni-Manchado, P., & Fulcrand, H. (2006). Structure and properties of wine pigments and tannins. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(Figure 1), 298–305.
- Chira, K., Pacella, N., Jourdes, M., & Teissedre, P. L. (2011). Chemical and sensory evaluation of Bordeaux wines (Cabernet-Sauvignon and Merlot) and correlation

- with wine age. *Food Chemistry*, 126(4), 1971–1977. <http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&CSC=Y&NEWS=N&PAGE=fulltext&D=fsta2&AN=2011-04-Hj1995>
- Civille, G. V., & Lawless, H. T. (1986). The importance of language in describing perceptions. *Journal of Sensory Studies*. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.1986.tb00174.x>
- Cozzolino, D., Cynkar, W. U., Damberg, R. G., Gishen, M., & Smith, P. (2010). Grape (*Vitis vinifera*) compositional data spanning ten successive vintages in the context of abiotic growing parameters. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 139(4), 565–570. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.09.017>
- D'Alessandro, S., & Pecotich, A. (2013). Evaluation of wine by expert and novice consumers in the presence of variations in quality, brand and country of origin cues. *Food Quality and Preference*. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2012.10.002>
- Danner, L., Johnson, T. E., Ristic, R., Meiselman, H. L., & Bastian, S. E. P. (2017). “I like the sound of that!” Wine descriptions influence consumers’ expectations, liking, emotions and willingness to pay for Australian white wines. *Food Research International*, 99, 263–274. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.05.019>
- de Rosas, I., Ponce, M. T., Malovini, E., Deis, L., Cavagnaro, B., & Cavagnaro, P. (2017). Loss of anthocyanins and modification of the anthocyanin profiles in grape berries of Malbec and Bonarda grown under high temperature conditions. *Plant Science*, 258, 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.01.015>
- de Wijk, R. A., & Prinz, J. F. (2005). The role of friction in perceived oral texture. *Food Quality and Preference*, 16(2), 121–129. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2004.03.002>
- Deis, L., de Rosas, M. I., Malovini, E., Cavagnaro, M., Cavagnaro, J. B., & others. (2015). Climate change impact in Mendoza. Climate variation on the last 50 years. A view to grapevine physiology. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo*, 47(1), 67–92.
- Di Paola-Naranjo, R., Baroni, M., Podio, N., Rubinstein, H., Fabani, M., Badini, R., Inga, M., Osters, H., Cagnoni, M., Gallegos, E., Gautier, E., Peral-García, P., Hoogewerff, J., & Wunderlin, D. (2011). Fingerprints for main varieties of argentinean wines: Terroir differentiation by inorganic, organic, and stable isotopic analyses coupled to chemometrics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 7854–7865. <https://doi.org/10.1021/jf2007419>

- Dinnella, C., Recchia, A., Fia, G., Bertuccioli, M., & Monteleone, E. (2009). Saliva characteristics and individual sensitivity to phenolic astringent stimuli. *Chemical Senses*, *34*(4), 295–304. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjp003>
- Drappier, J., Thibon, C., Rabot, A., & Geny-Denis, L. (2019). Relationship between wine composition and temperature: Impact on Bordeaux wine typicity in the context of global warming—Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *59*(1), 14–30. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1355776>
- Ebeler, S. E. (2001). Analytical chemistry: Unlocking the secrets of wine flavor. *Food Reviews International*, *17*(1), 45–64. <https://doi.org/10.1081/FRI-100000517>
- Eder, R., Wendelin, S., & Barna, J. (1994). Classification of red wine cultivars by means of anthocyanin analysis. Pt. 1. Application of multivariate statistical methods for differentiation of grape samples. In *Mitteilungen Klosterneuburg (Austria): Vol. v. 44*.
- Famularo, B., Bruwer, J., & Li, E. (2010). Region of origin as choice factor: wine knowledge and wine tourism involvement influence. *International Journal of Wine Business Research*, *22*(4), 362–385. <https://doi.org/10.1108/17511061011092410>
- Fanzone, M., Peña-Neira, Á., Jofre, V., Assof, M., & Zamora, F. (2010a). Phenolic characterization of Malbec wines from Mendoza province (Argentina). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *58*(750 mL), 2388–2397. <https://doi.org/10.1021/jf903690v>
- Fanzone, M., Peña-Neira, Á., Jofre, V., Assof, M., & Zamora, F. (2010b). Phenolic characterization of Malbec wines from Mendoza province (Argentina). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *58*, 2388–2397. <https://doi.org/10.1021/jf903690v>
- Ferrero-del-Teso, S., Suárez, A., Ferreira, C., Perenzoni, D., Arapitsas, P., Mattivi, F., Ferreira, V., Fernández-Zurbano, P., & Sáenz-Navajas, M. P. (2022). Modeling grape taste and mouthfeel from chemical composition. *Food Chemistry*, *371*(September 2021). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131168>
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, *37*(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/JOC.5086>
- Fontana, A., Antonioli, A., D’Amarío Fernández, M. A., & Bottini, R. (2017). Phenolics profiling of pomace extracts from different grape varieties cultivated in

- Argentina. *RSC Advances*, 7(47), 29446–29457.
<https://doi.org/10.1039/c7ra04681b>
- Fontana, A. R., Antonioli, A., & Bottini, R. (2016). Development of a high-performance liquid chromatography method based on a core-shell column approach for the rapid determination of multiclass polyphenols in grape pomaces. *Food Chemistry*, 192, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.101>
- Forina, M., & Drava, G. (1997). Chemometrics for wine. Applications. *Analisis*, 25(3).
- Frankel, E. N., Waterhouse, A. L., & Teissedre, P. L. (1995). Principal Phenolic Phytochemicals in Selected California Wines and Their Antioxidant Activity in Inhibiting Oxidation of Human Low-Density Lipoproteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/jf00052a008>
- Fushing, H., Lee, O., Heitkamp, C., Heymann, H., Ebeler, S. E., Boulton, R. B., & Koehl, P. (2019). Unraveling the Regional Specificities of Malbec Wines from Mendoza, Argentina, and from Northern California. *Agronomy 2019, Vol. 9, Page 234*, 9(5), 234. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY9050234>
- Gislason, N. E., Currie, B. L., & Waterhouse, A. L. (2011). Novel antioxidant reactions of cinnamates in wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(11), 6221–6226.
- Goldner, M. C., & Zamora, M. C. (2007). Sensory characterization of vitis vinifera cv. Malbec wines from seven viticulture regions of Argentina. *Journal of Sensory Studies*, 22(2007), 520–532. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2007.00123.x>
- Goldner, M. C., Zamora, M. C., Lira, P. D. L., Gianninoto, H., & Bandoni, A. (2009). Effect of ethanol level in the perception of aroma attributes and the detection of volatile compounds in red wine. *Journal of Sensory Studies*, 24, 243–257. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2009.00208.x>
- Harbertson, J. F., Mireles, M. S., Harwood, E. D., Weller, K. M., & Ross, C. F. (2009). Chemical and sensory effects of saignée, water addition, and extended maceration on high brix must. *American Journal of Enology and Viticulture*, 60(Singleton 1992), 450–460.
- Harris, I., Jones, P. D., Osborn, T. J., & Lister, D. H. (2014). Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34(3), 623–642. <https://doi.org/10.1002/JOC.3711>
- Heymann, H., Ebeler, S. E., Robinson, A. L., Buscema, F., Stoumen, M. E., King, E. S., Hopfer, H., Boulton, R. B., & Ebeler, S. E. (2015). Effect of Region on the Volatile

- Composition and Sensory Profiles of Malbec and Cabernet Sauvignon Wines. *Advances in Wine Research*, 248, 109–122. <https://doi.org/10.1021/bk-2015-1203.ch007>
- Heymann, H., & Noble, a C. (1987a). Descriptive Analysis of Commercial Cabernet Sauvignon Wines from California. *American Journal of Enology and Viticulture*, 38(1), 41–44.
- Heymann, H., & Noble, A. C. (1987b). Descriptive Analysis of Commercial Cabernet Sauvignon Wines from California. *American Journal of Enology and Viticulture*, 38(1), 41–44.
- Heymann, H., Robinson, A. L., Buscema, F., Stoumen, M. E., King, E. S., Hopfer, H., Boulton, R. B., & Ebeler, S. E. (2015). Effect of Region on the Volatile Composition and Sensory Profiles of Malbec and Cabernet Sauvignon Wines. *Advances in Wine Research*, 109–122. <https://doi.org/10.1021/bk-2015-1203.ch007>
- Hira, A., & Swartz, T. (2014). What makes Napa Napa? The roots of success in the wine industry. *Wine Economics and Policy*, 3, 37–53. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.wep.2014.02.001>
- Hopfer, H., Nelson, J., Ebeler, S., & Heymann, H. (2015). Correlating Wine Quality Indicators to Chemical and Sensory Measurements. *Molecules*, 20(5), 8453–8483. <https://doi.org/10.3390/molecules20058453>
- Hufnagel, J. C., & Hofmann, T. (2008). Orosensory-directed identification of astringent mouthfeel and bitter-tasting compounds in red wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/jf073031n>
- Humbert, F., & Jacket, O. (2010). L'émergence des vins d'AOC et métamorphose du consommateur. *Des Hommes et Du Vin Rencontres Du Clos-Vougeot*, 107–122.
- Instituto Nacional de Vitivinicultura. (2021). *Superficie de vid en Argentina*. Observatorio Vinícola Argentino. <https://www.argentina.gob.ar/inv/vinos/estadisticas/variedades-de-uva>
- Jaffré, J., Valentin, D., Dacremont, C., & Peyron, D. (2009). Burgundy red wines: Representation of potential for aging. *Food Quality and Preference*, 20(7), 505–513. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.05.001>
- Jang, M., Cai, L., Udeani, G. O., Slowing, K. V., Thomas, C. F., Beecher, C. W. W., Fong, H. H. S., Farnsworth, N. R., Kinghorn, A. D., Mehta, R. G., Moon, R. C., & Pezzuto, J. M. (1997). Cancer chemopreventive activity of resveratrol, a natural

product derived from grapes. *Science*.

<https://doi.org/10.1126/science.275.5297.218>

- Jansen, M. A. K. (2002). Ultraviolet-B radiation effects on plants: Induction of morphogenic responses. *Physiologia Plantarum*. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1160319.x>
- Jones, G. V., Duff, A. A., Hall, A., & Myers, J. W. (2010). Spatial analysis of climate in winegrape growing regions in the western United States. *American Journal of Enology and Viticulture*, *61*(3), 313–326.
- Joshi, V. K., & Devi, M. P. (2009). Resveratrol: Importance, role, contents in wine and factors influencing its production. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences*.
- Josse, J., & Husson, F. (2016). missMDA: A Package for Handling Missing Values in Multivariate Data Analysis. *Journal of Statistical Software*, *70*(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v070.i01>
- Kallithraka, S., Bakker, J., Clifford, M. N., & Vallis, L. (2001). Correlations between saliva protein composition and some T-I parameters of astringency. *Food Quality and Preference*, *12*(2), 145–152. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(00\)00040-9](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(00)00040-9)
- Kassambara, A. (2015). *Factoextra: Extract and visualize the results of multivariate data analyses. R package version 1.0. 3, 2015*.
- Kassambara, A. (2016). *Factoextra: extract and visualize the results of multivariate data analyses. R Package Version, 1*.
- Kerridge, G. H., & Antcliff, A. J. (1999). *Wine grape varieties*. Csiro Publishing.
- King, E. S., Stoumen, M., Buscema, F., Hjelmeland, A. K., Ebeler, S. E., Heymann, H., & Boulton, R. B. (2014). Regional sensory and chemical characteristics of malbec wines from mendoza and california. *Food Chemistry*, *143*, 256–267. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.085>
- Kolde, R. (2012). Pheatmap: pretty heatmaps. *R Package Version, 1*(2), 726.
- Kustos, M., Gambetta, J. M., Jeffery, D. W., Heymann, H., Goodman, S., & Bastian, S. E. P. (2020). A matter of place: Sensory and chemical characterisation of fine Australian Chardonnay and Shiraz wines of provenance. *Food Research International*, *130*(April 2019). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108903>
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, *82*(13), 1–26. <https://doi.org/10.18637/JSS.V082.I13>

- Ky, I., Lorrain, B., Kolbas, N., Crozier, A., & Teissedre, P. L. (2014). Wine by-Products: Phenolic characterization and antioxidant activity evaluation of grapes and grape pomaces from six different French grape varieties. *Molecules*, *19*(1), 482–506. <https://doi.org/10.3390/molecules19010482>
- Lacoste, P. (2015). El Malbec de Francia: la Denominación de Origen Controlada “Cahors”. Historia y perspectivas. *Idesia (Arica)*, *33*, 113–124. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292015000100012&nrm=iso
- Lattey, K. a., Bramley, B. R., & Francis, I. L. (2010). Consumer acceptability, sensory properties and expert quality judgements of Australian Cabernet Sauvignon and Shiraz wines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, *16*, 189–202. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2009.00069.x>
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). Sensory Evaluation of Food - Principles and Practices. In *Sensory Evaluation of Food - Principles and Practices* (pp. 473–478). <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5>
- Lê, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, *25*(1), 1–18. <https://doi.org/10.18637/JSS.V025.I01>
- Les Climats du vignoble de Bourgogne - UNESCO World Heritage Centre.* (n.d.). Retrieved October 8, 2023, from <https://whc.unesco.org/fr/list/1425>
- Li, Z., Pan, Q., Jin, Z., Mu, L., & Duan, C. (2011). Comparison on phenolic compounds in *Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon wines from five wine-growing regions in China. *Food Chemistry*, *125*(1), 77–83. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.039>
- Liaw, A., & Wiener, M. (2002). *Classification and Regression by randomForest*. 2(3). <http://www.stat.berkeley.edu/>
- Lund, C. M., Thompson, M. K., Benkwitz, F., Wohler, M. W., Triggs, C. M., Gardner, R., Heymann, H., & Nicolau, L. (2009). *New Zealand Sauvignon blanc Distinct Flavor Characteristics : Sensory , Chemical , and Consumer Aspects. 1*, 1–12.
- Makris, D. P., Kallithraka, S., & Mamalos, A. (2006). Differentiation of young red wines based on cultivar and geographical origin with application of chemometrics of principal polyphenolic constituents. *Talanta*, *70*(5), 1143–1152. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2006.03.024>

- Mattivi, F., Vrhovsek, U., Masuero, D., & Trainotti, D. (2009). Differences in the amount and structure of extractable skin and seed tannins amongst red grape varieties. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2008.00027.x>
- Matus, M. S., Rodríguez, J. G., & Ocvirk, M. M. (2006). Raleo de racimos en vitis vinifera cv. Malbec. Efecto sobre los componentes del rendimiento y la composición polifenólica de las bayas. *Revista Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 28, 105–112.
- McKenzie, R. L., Aucamp, P. J., Bais, A. F., Björn, L. O., & Ilyas, M. (2007). Changes in biologically-active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. In *Photochemical and Photobiological Sciences*. <https://doi.org/10.1039/b700017k>
- Mcrae, J. M., & Kennedy, J. A. (2011). Wine and Grape Tannin Interactions with Salivary Proteins. *Molecules*, 16, 2348–2364. <https://doi.org/10.3390/molecules16042348>
- Meilgaard, M. (1991). Affective tests : Consumer tests and in-house panel acceptance tests. *Sensory Evaluation Techniques*, 201–235. <https://ci.nii.ac.jp/naid/20001671540/en/>
- Mercurio, M. D., Damberg, R. G., Cozzolino, D., Herderich, M. J., & Smith, P. A. (2010). Relationship between red wine grades and phenolics. 1. Tannin and total phenolics concentrations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/jf103230b>
- Monagas, M., & Bartolomé, B. (2009). Anthocyanins and Anthocyanin-Derived Compounds. In *Wine Chemistry and Biochemistry* (pp. 439–456). <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74118-5>
- Monagas, M., Bartolomé, B., & Gómez-Cordovés, C. (2005). Updated knowledge about the presence of phenolic compounds in wine. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(2), 85–118. <https://doi.org/10.1080/10408690490911710>
- Movahed, N., Pastore, C., Cellini, A., Allegro, G., Valentini, G., Zenoni, S., Cavallini, E., D'Inca, E., Torielli, G. B., & Filippetti, I. (2016). The grapevine VviPrx31 peroxidase as a candidate gene involved in anthocyanin degradation in ripening berries under high temperature. *Journal of Plant Research*, 129(3), 513–526. <https://doi.org/10.1007/s10265-016-0786-3>

- Mueller, S., Lockshin, L., Saltman, Y., & Blanford, J. (2010). Message on a bottle: The relative influence of wine back label information on wine choice. *Food Quality and Preference*, *21*(1), 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.07.004>
- Muñoz, C., Gomez-Talquenca, S., Chialva, C., Ibáñez, J., Martinez-Zapater, J. M., Peña-Neira, Á., & Lijavetzky, D. (2014). Relationships among gene expression and anthocyanin composition of malbec grapevine clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *62*, 6716–6725. <https://doi.org/10.1021/jf501575m>
- Murray, J. M., Delahunty, C. M., & Baxter, I. a. (2001). Descriptive sensory analysis: past, present and future. *Food Research International*, *34*(6), 461–471. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00070-9](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00070-9)
- Nay, B., Monti, J. P., Nuhrich, A., Deffieux, G., Merillon, J. M., & Vercauteren, J. (2000). Methods in synthesis of flavonoids. Part 2: High yield access to both enantiomers of catechin. *Tetrahedron Letters*, *41*(47), 9049–9051. [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(00\)01649-X](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(00)01649-X)
- Noble, A., & Ebeler, S. (2002). Use of Multivariate Statistics in Understanding Wine Flavor. *Food Reviews International*, *18*(October 2014), 1–21. <https://doi.org/10.1081/FRI-120003414>
- Oldfield, S. C. (2001). *The effects of ripening on Cabernet Sauvignon grapes and wines*. University of California, Davis.
- Pagés, J., & Husson, F. (2005). Multiple factor analysis with confidence ellipses: A methodology to study the relationships between sensory and instrumental data. *Journal of Chemometrics*, *19*(3), 138–144. <https://doi.org/10.1002/cem.916>
- Parr, W. V., Valentin, D., Green, J. A., & Dacremont, C. (2010). Evaluation of French and New Zealand Sauvignon wines by experienced French wine assessors. *Food Quality and Preference*, *21*(1), 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.08.002>
- Pastorkova, E., Zakova, T., Landa, P., Novakova, J., Vadlejch, J., & Kokoska, L. (2013). Growth inhibitory effect of grape phenolics against wine spoilage yeasts and acetic acid bacteria. *International Journal of Food Microbiology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.12.018>
- Pereira, G. E., Gaudillere, J. P., Leeuwen, C. Van, Hilbert, G., Maucourt, M., Deborde, C., Moing, A., & Rolin, D. (2006). ¹H NMR metabolite fingerprints of grape berry: Comparison of vintage and soil effects in Bordeaux grapevine growing

- areas. *Analytica Chimica Acta*, 563(1-2 SPEC. ISS.), 346–352. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.11.007>
- Pittari, E., Moio, L., & Piombino, P. (2021). Interactions between polyphenols and volatile compounds in wine: A literature review on physicochemical and sensory insights. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 3, pp. 1–29). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app11031157>
- Porter, L. J., Hrstich, L. N., & Chan, B. G. (1985). The conversion of procyanidins and prodelfinidins to cyanidin and delphinidin. *Phytochemistry*. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)94533-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)94533-3)
- Preys, S., Mazerolles, G., Courcoux, P., Samson, A., Fischer, U., Hanafi, M., Bertrand, D., & Cheynier, V. (2006). Relationship between polyphenolic composition and some sensory properties in red wines using multiway analyses. *Analytica Chimica Acta*, 563(1-2 SPEC. ISS.), 126–136. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.10.082>
- Price, S. F., Breen, P. J., Valladao, M., & Watson, B. T. (1995). Cluster sun exposure and quercetin in Pinot noir grapes and wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 46(2), 187–194.
- Qannari, E. M. (2017). Sensometrics approaches in sensory and consumer research. *Current Opinion in Food Science*, 15, 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.04.001>
- R Foundation for Statistical Computing. (2016). R: A Language and Environment for Statistical Computing. *R Foundation for Statistical Computing*, 1(3.3.2). <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74686-7>
- Rainey, B. A. (1986). Importance of reference standards in training panelist. *Journal of Sensory Studies*. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.1986.tb00167.x>
- Rentzsch, M., Wilkens, A., & Winterhalter, P. (2009). Non-flavonoid Phenolic Compounds. In M. V. Moreno-Arribas & M. C. Polo (Eds.), *Wine Chemistry and Biochemistry* (pp. 509–527). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-0-387-74118-5_23
- Ren, R., Shi, J., Zeng, M., Tang, Z., Xie, S., & Zhang, Z. (2023). Inter- and intra-varietal genetic variations co-shape the polyphenol profiles of *Vitis vinifera* L. grapes and wines. *Food Chemistry*: X, 20. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101030>

- Ritchey, J. G., & Waterhouse, A. L. (1999). A standard red wine: Monomeric phenolic analysis of commercial Cabernet Sauvignon wines. *American Journal of Enology and Viticulture*.
- Robinson, A. L., Adams, D. O., Boss, P. K., Heymann, H., Solomon, P. S., & Trengove, R. D. (2012a). Influence of geographic origin on the sensory characteristics and wine composition of *Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon wines from Australia. *American Journal of Enology and Viticulture*, 63(4), 467–476. <https://doi.org/10.5344/ajev.2012.12023>
- Robinson, A. L., Adams, D. O., Boss, P. K., Heymann, H., Solomon, P. S., & Trengove, R. D. (2012b). Influence of geographic origin on the sensory characteristics and wine composition of *Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon wines from Australia. *American Journal of Enology and Viticulture*, 63(4), 467–476. <https://doi.org/10.5344/ajev.2012.12023>
- Robinson, A. L., Boss, P. K., Solomon, P. S., Trengove, R. D., Heymann, H., & Ebeler, S. E. (2014). Origins of grape and wine aroma. Part 1. Chemical components and viticultural impacts. *American Journal of Enology and Viticulture*, 65, 1–24. <https://doi.org/10.5344/ajev.2013.12070>
- Robinson, A. L., Mueller, M., Heymann, H., Ebeler, S. E., Boss, P. K., Solomon, P. S., & Trengove, R. D. (2010). Effect of simulated shipping conditions on sensory attributes and volatile composition of commercial white and red wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 61, 337–347.
- Rodríguez, G., Hough, G., & Secreto, J. (2014). Soldesa: Freely available software for descriptive analysis data acquisition. In *Journal of Sensory Studies*. <https://doi.org/10.1111/joss.12105>
- Rodríguez, J., Matus, M., Catenia, C., & Avagnina De del Montes, S. (1999). El Malbec, cepaje emblemático de los vinos tintos argentinos. *Vinifera*, 61–64.
- Romero-Pérez, A. I., Lamuela-Raventós, R. M., Waterhouse, A. L., & De La Torre-Boronat, M. C. (1996). Levels of cis- and trans-Resveratrol and Their Glucosides in White and Rosé *Vitis vinifera* Wines from Spain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(8), 2124–2128. <https://doi.org/10.1021/JF9507654>
- Roullier-Gall, C., Boutegrabet, L., Gougeon, R. D., & Schmitt-Kopplin, P. (2014). A grape and wine chemodiversity comparison of different appellations in Burgundy: Vintage vs terroir effects. *Food Chemistry*, 152, 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.056>

- Roullier-Gall, C., Lucio, M., Noret, L., Schmitt-Kopplin, P., & Gougeon, R. D. (2014). How subtle is the “terroir” effect? Chemistry-related signatures of two “climats de Bourgogne.” *PLoS ONE*, *9*(5), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097615>
- Russell, L. (2020). *emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means*. R package version 1.5. 5-1.
- Sáenz-Navajas, M. P., Ferreira, V., Dizy, M., & Fernández-Zurbano, P. (2010). Characterization of taste-active fractions in red wine combining HPLC fractionation, sensory analysis and ultra performance liquid chromatography coupled with mass spectrometry detection. *Analytica Chimica Acta*, *673*(2), 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.05.038>
- Sáenz-Navajas, M. P., González-Hernández, M., Campo, E., Fernández-Zurbano, P., & Ferreira, V. (2012). Orthonasal aroma characteristics of spanish red wines from different price categories and their relationship to expert quality judgements. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2012.00195.x>
- Schlosser, J., Reynolds, A. G., King, M., & Cliff, M. (2005). Canadian terroir: Sensory characterization of Chardonnay in the Niagara Peninsula. *Food Research International*, *38*(1), 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.07.003>
- Schultz, H. R. (2000). Climate change and viticulture: A European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, *6*(1), 2–12. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00156.x>
- Singleton, V. L. (1987). Oxygen with Phenols and Related Reactions in Musts , Wines , and Model Systems : Observations and Practical Implications. *American Journal of Enology and Viticulture*, *38*(1), 69–77.
- Singleton, V. L., & Esau, P. (1969). Phenolic substances in grapes and wine, and their significance. In *Advances in food research. Supplement*.
- Spayd, S. E., Tarara, J. M., Mee, D. L., & Ferguson, J. C. (2002). Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *American Journal of Enology and Viticulture*.
- Stone, H., & Sidel, J. L. (1985). Sensory Evaluation Practices. In *Global Cosmetic Industry*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374181-3.00017-X>
- Tao, Y. S., Liu, Y. Q., & Li, H. (2009). Sensory characters of Cabernet Sauvignon dry red wine from Changli County (China). *Food Chemistry*, *114*(2), 565–569. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.087>

- Tian, Y., Yan, C., Zhang, T., Tang, H., Li, H., Yu, J., Bernard, J., Chen, L., Martin, S., Delepine-Gilon, N., Bocková, J., Veis, P., Chen, Y., & Yu, J. (2017). Classification of wines according to their production regions with the contained trace elements using laser-induced breakdown spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, *135*, 91–101. <https://doi.org/10.1016/J.SAB.2017.07.003>
- Urvieta, R., Buscema, F., Bottini, R., Coste, B., & Fontana, A. (2018). Phenolic and sensory profiles discriminate geographical indications for Malbec wines from different regions of Mendoza, Argentina. *Food Chemistry*, *265*(May), 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.083>
- Varela, P., & Ares, G. (2014). *Novel techniques in sensory characterization and consumer profiling*. CRC Press.
- Varela, P., & Gámbaro, A. (2006). Sensory descriptive analysis of Uruguayan Tannat wine: Correlation to quality assessment. *Journal of Sensory Studies*. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2006.00061.x>
- Vérette, E., Noble, A. C., & Somers, T. C. (1988). Hydroxycinnamates of *Vitis vinifera*: Sensory assessment in relation to bitterness in white wines. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *45*(3), 267–272.
- Vidal, S., Francis, L., Williams, P., Kwiatkowski, M., Gawel, R., Cheynier, V., & Waters, E. (2004). The mouth-feel properties of polysaccharides and anthocyanins in a wine like medium. *Food Chemistry*, *85*, 519–525. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00084-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00084-0)
- Vila, H., Catania, C., & Ojeda, H. (2005). Influencia del tiempo de maceración sobre el color, la composición tánica y la astringencia de vinos Cabernet Sauvignon y Malbec de Argentina. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, *37*(1).
- Waterhouse, A. L., Sacks, G. L., & Jeffery, D. W. (2016). Understanding Wine Chemistry. In *Understanding Wine Chemistry*. <https://doi.org/10.1002/9781118730720>
- Wehrens, R. (2011). Chemometrics with R. In *Chemometrics with R*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-17841-2>
- Winkler, A. J., Cook, J. A., Kliwer, W. M., & Lider, L. A. (1974). Climate and soils. *General Viticulture*. University of California Press, Berkeley, 58–75.
- Zamora, F. M. (2003). Elaboración y crianza del vino tinto: aspectos científicos y prácticos. In *Elaboración y crianza del vino tinto: aspectos científicos y prácticos*. AMV Ediciones y Ediciones Mundi-Prensa.

