



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

TESIS DE DOCTORADO

**Podar mecanizada sucesiva en caja sobre vides conducidas en canopia
libre: efecto de su intensidad sobre el equilibrio
vegetativo/reproductivo, el ambiente de la canopia y la calidad de la uva**

Tesista: Ing. Agr. Fernando Andrés Barcia Poblete

Director: Dr. Eduardo Trentacoste

Co-director: Dr. Jorge Prieto

Mendoza, 2025



UNCUYO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

TESIS DE DOCTORADO

**Podar mecanizada sucesiva en caja sobre vides conducidas en canopia
libre: efecto de su intensidad sobre el equilibrio
vegetativo/reproductivo, el ambiente de la canopia y la calidad de la uva**

DOCTORADO EN AGRONOMÍA

Tesista: Ing. Agr. Fernando Andrés Barcia Poblete

Director: Dr. Eduardo Trentacoste

Co-director: Dr. Jorge Prieto

Mendoza, 2025

DEDICATORIA

Quiero dedicarle este gran logro a Cintia, a mi compañera de vida y a mis tres amados hijos: Fernandito, Luna y Leyla. Espero que este arduo trabajo sirva de ejemplo de que, aunque el camino parezca difícil, debemos enfrentarlo... y al transitarlo... debemos disfrutar y aprender de los obstáculos, porque de esta manera es como nuestra alma evoluciona.

¡¡¡Gracias por apoyarme siempre!!!

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis directores de tesis Eduardo y Jorge, por su dedicación y paciencia para ayudarme a terminar con este largo trabajo. A Claudio por hacerme cambiar de opinión, cuando había abandonado el Doctorado. Gracias Eduardo por ser el formador de tantos científicos, y gracias por permitirme ser parte de uno de ellos, compartiendo tus conocimientos y consejos.

A Alejandro y Ana por haberme dado el espacio para dedicarle el tiempo necesario a la tesis. Al equipo de apoyo técnico: Nuny, Octavio, Vane, Gringo y Lalo, que gracias a su profesionalismo, este trabajo pudo tener excelentes resultados. A Raúl, Martín y Pata por apoyar siempre con sus opiniones y laburo. Gracias Martín por todo el apoyo en el laboratorio, sos un capo. A la familia Carbonero y su encargado Diego, por haberme brindado el espacio y los recursos para realizar parte de los experimentos.

A mis padres y mis abuelos, por todo el esfuerzo realizado para que hoy día pueda ser Ingeniero Agrónomo...y especialmente a mis abuelas: Isabel y Marta que estuvieron siempre a mi lado en los momentos difíciles y siguen estando dentro de mi corazón. A mi tía, que marcó mi lado científico y de la que recuerdo cada palabra y consejo...también la llevo en mi corazón. A mis hermanos y en especial a mi hermana Marcela por ser siempre mi soporte emocional.

Gracias al INTA y a la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCuyo por formar profesionales en ciencias, apostando a una Nación y Humanidad más próspera.

RESUMEN

Los productores vitícolas de Argentina se enfrentan a problemas de escasez de mano de obra y de altos costos de producción, lo que ha motivado la mecanización de diversas tareas, siendo la poda y la cosecha las más importantes. La poda mecanizada en caja se podría implementar sobre sistemas de conducción de un solo alambre como el Single High Wire (SHW), donde la canopia se desarrolla libremente. Sin embargo, el impacto de la poda totalmente mecanizada en la vid es aún poco conocido. El objetivo general de esta tesis fue estudiar el efecto de la poda mecanizada en caja sobre plantas de vid conducidas en canopia libre y cultivadas en clima cálido en Mendoza, Argentina, sobre la relación fuente-destino, el microclima de la canopia, la producción y la calidad de la uva. Para cumplir el objetivo se llevaron a cabo dos experimentos. El primer experimento se llevó a cabo durante dos años consecutivos y se evaluaron tres intensidades de poda mecanizada en caja (caja pequeña: PC1, mediana: PC2 y grande: PC3) sobre plantas del cv. Cabernet Sauvignon conducidas con canopia libre. Además, se incluyó un tratamiento de poda manual en pitón (PP) con carga de yemas similar al tratamiento de intensidad con poda mecánica media, con el objeto de comparar ambos tratamientos a igual carga de yemas. El segundo experimento se desarrolló sobre plantas de los cvs. Ancellotta y Syrah, donde se aplicó poda mecanizada en caja durante tres años sucesivos manteniendo la misma intensidad de poda. En este experimento se evaluó el impacto de la poda mecánica sucesiva sobre el microclima de la canopia. En ambos experimentos se realizaron mediciones para determinar el remanente de yemas, las características de la brotación, el crecimiento vegetativo, los componentes del rendimiento, índices de equilibrio vegetativo/reproductivo y los componentes de la baya.

En el primer experimento se observó que luego de dos años de poda mecánica, el tratamiento PC2 retuvo 62 yemas/m lineal de cordón, siendo un 88% mayor la cantidad de yemas que la poda manual (PP = 33 yemas/m). Como resultado la PC2 presentó un aumento en el número de racimos (47%) y del rendimiento (39%) respecto a PP, sin observarse diferencias en los componentes de la baya entre tratamientos. En adición, la intensidad de la poda mecanizada en caja tuvo efecto sobre las yemas retenidas. En el primer año de estudio el tratamiento PC1 retuvo 18 yemas/m significativamente menos que PC3, el cual retuvo 71 yemas/m. Las diferencias entre tratamientos disminuyeron con la aplicación de podas en años sucesivos, cuando al tercer año PC1 retuvo 49 yemas/m y PC3 86 yemas/m. La producción de

uva fue ligeramente o no afectada por la intensidad de poda mecánica debido a mecanismos de compensación como el porcentaje de brotación y los componentes del rendimiento, que actuaron en diferentes momentos reduciendo las diferencias entre tratamientos. Los componentes de la baya tampoco fueron afectados por la intensidad de la poda, aunque para todas las intensidades de poda mecánica evaluados, los metabolitos secundarios incrementaron en el segundo año de poda y se asociaron a valores de relación área foliar/producción (AF/P) a nivel planta de 0,4-0,5 m²/kg y de Índice de Ravaz de 7-14.

En el segundo experimento, la poda mecánica aplicada en años sucesivos (PMS) produjo un incremento de las yemas remanentes más evidente en los tres primeros años respecto al último año de estudio. En este experimento también se observó que el aumento en las yemas remanentes dejadas por la poda redujo el porcentaje de brotación e incrementó la cantidad de brotes con uva, resultando en un incremento de la cantidad de racimos. La PMS produjo un aumento en el número de racimos que fue compensado por una disminución del peso del racimo (46% para el cv. Ancellotta y 38% para el cv. Syrah) debido al menor número de bayas por racimo. Además, la aplicación de poda mecánica en años sucesivos llevó a un incremento del número de sarmientos y del área foliar a nivel planta que impactó sobre los componentes de la baya. Con la aplicación de podas mecánicas sucesivas el contenido de SST, acidez, fenoles, taninos y antocianos totales aumentó directamente, en relación con el aumento en los valores de la relación AF/P a nivel planta de 1,3 m²/kg (cv. Syrah) y entre 0,3 y 1,1 m²/kg (cv. Ancellotta) y con Índice de Ravaz de 10 (cv. Syrah) y entre 15 y 21 (cv. Ancellotta). El segundo experimento también puso en evidencia que la canopia libre genera una marcada variabilidad de la radiación transmitida y la temperatura entre distintas posiciones de la canopia. La variabilidad en el microclima que rodea hojas y racimos tuvo una ligera influencia sobre la composición de la baya sólo en el cv. Syrah, donde el contenido de antocianos en la posición noroeste fue menor que en los racimos de las posiciones sureste y top (superior). La aplicación de PMS en caja durante tres años consecutivos generó en ambos cultivares, Syrah y Ancellotta, una disminución en la radiación diaria total transmitida hacia el interior de la canopia (pasando del 35% en el primer año al 17% en el tercer año) y una disminución en la temperatura máxima del aire cercana a los racimos pasando de temperaturas máximas de 0,6 °C por encima de la temperatura medida en el exterior en el primer año a temperaturas máximas de 2,3 °C por debajo de la temperatura exterior censada en el tercer año. La disminución de la temperatura y del peso de los racimos ocurrida en planta entera, se relacionó con un incremento en la acumulación de metabolitos primarios y secundarios, siendo de principal interés los antocianos totales.

En conclusión, en la poda mecánica en caja, la intensidad de poda (o tamaño de la caja) tendría escaso impacto sobre la producción a largo plazo. Entre las razones se observan cambios en el porcentaje de brotación, disminución en el peso de los racimos y aumento en la cantidad de estos. Además, la composición de la baya fue mejorada por la PMS y el manejo de canopia libre, incrementando tanto la acumulación de metabolitos primarios como secundarios en los tres cultivares evaluados (Cabernet Sauvignon, Syrah y Ancellotta).

Palabras claves: poda invernal, relación fuente-destino, antocianos totales, radiación, temperatura, mecanización.

ABSTRACT

Winegrowers in Argentina face labour shortages and high production costs, which have led to the mechanization of various tasks, which pruning and harvesting are the most important. Mechanized box pruning could be implemented on single wire training systems such as Single High Wire (SHW), where the canopy develops freely. However, the impact of fully mechanized vine pruning is still poorly understood. The general objective of this thesis was to study the effect of mechanized box pruning on vines trained in free canopy and grown in a warm climate from Mendoza, Argentina, on the source-sink ratio, the canopy microclimate and grape production and quality. Two experiments were carried out to achieve this objective. The first experiment was carried out for two consecutive years and three intensities of mechanized box pruning (small box: PC1, medium: PC2 and large: PC3) were evaluated on cv. Cabernet Sauvignon plants trained on a single wire with free canopy. In addition, a hand spur pruning (PP) treatment with a similar bud load to the treatment PC2 was included to compare both treatments at the same bud load. The second experiment was carried out on plants of cvs. Ancellotta and Syrah, where mechanical box pruning was applied for three successive years, maintaining the same pruning intensity. In this experiment, the effect of successive mechanical pruning (SMP) on the canopy microclimate was evaluated. In both experiments, measurements were made to determine bud load, budburst characteristics, vegetative growth, yield components, indices of vegetative/reproductive and berry components.

In the first experiment, it was observed that after two years of mechanical pruning, the PC2 treatment retained 62 buds/m linear cordon, 88% more buds than hand pruning (33 buds/m). As a result, PC2 showed an increase in cluster number (47%) and yield (39%) compared to the PP treatment. No differences in berry components were observed between the PC2 and HP treatments. In addition, the intensity of mechanical box pruning had an effect on the number of retained buds. In the first year of the study, the PC1 treatment retained 18 buds/m, significantly less than the PC3 treatment, which retained 71 buds/m. The differences between the treatments decreased with pruning in subsequent years, when in the third year PC1 retained 49 buds/m and PC3 86 buds/m. Yield was little or not affected by mechanical pruning intensity, explained by compensatory mechanisms such as bud burst percentage and yield components acting at different times. Berry components were also not affected by pruning intensity, although secondary metabolites increased in the second year at all mechanical pruning intensities and were associated at plant level with leaf area to yield (LA/Y) values between 0.4-0.5 m²/kg and Ravaz index between 7-14.

In the second experiment, mechanical pruning applied for four consecutive years (SMP) resulted in an increase in the number of retained buds, which was more pronounced in the first three years than in the last year of the study. In this experiment it was also observed that the increase in retained buds caused a reduction in the percentage of bud burst and an increase in the number of shoots with grapes, resulting in an increase in the number of clusters per plant. The SMP produced an increase in the number of clusters which was compensated by a decrease in the weight of the clusters (46% for cv. Ancellotta and 38% for cv. Syrah) due to the lower number of berries per cluster. In addition, the application of mechanical pruning in successive years led to an increase in the number of shoots and leaf area at plant level. As a result, the content of total soluble solids, total acidity, total phenolics, total tannins and total anthocyanins increased as SMP progressed, with LA/Y values at plant level of 1.3 m²/kg in cv. Syrah and between 0.3 and 1.1 m²/kg in cv. Ancellotta and Ravaz, with an index of 10 in cv. Syrah and between 15 and 21 in cv. Ancellotta. The second experiment also showed that the free canopy produces a marked variability in transmitted radiation and temperature between different canopy positions. The variability of the microclimate around the leaves and clusters had a slight influence on the composition of the berries only in Syrah, where the anthocyanin content was lower in the north-west position than in the south-east and top (superior). The use of SMP in the box for three consecutive years resulted in a decrease in the total daily radiation transmitted to the canopy (from 35% in the first year to 17% in the third year) and a decrease in the maximum air temperature near the clusters from a maximum of 0.6 °C above the temperature measured outside in the first year to a maximum of 2.3 °C below the outside temperature in the third year, for both Syrah and Ancellotta. The decrease in temperature and bunch weight occurred successive mechanical pruning was related to an increase in the accumulation of primary and secondary metabolites, with total anthocyanins being of main interest.

In conclusion, in mechanical box pruning the intensity (or box size) would have little effect on long-term yield. This was due to changes in budburst percentage, reduction in cluster weight and increase in cluster number. In addition, berry composition was improved by SMP and free canopy management, increasing both primary and secondary metabolite accumulation in the three cultivars evaluated (Cabernet Sauvignon, Syrah and Ancellotta).

Key words: winter pruning, source-sink ratio, total anthocyanins, radiation, temperature, mechanization.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	7
ÍNDICE DE CONTENIDOS	9
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABLAS	15
ABREVIATURAS	17
CERTIFICACIONES PERTINENTES	19
1. PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS.....	19
2. PRESENTACIONES A CONGRESOS DERIVADAS DE LA TESIS.....	19
CAPÍTULO I: Introducción General	20
1. MARCO TEÓRICO	20
1.1. Caracterización de la viticultura de Mendoza.....	20
1.2. Sistemas de conducción adaptados a la mecanización integral del viñedo.....	21
1.3. Mecanización de la poda	23
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	24
2.1. Objetivo e hipótesis general.....	24
2.2. Objetivos e hipótesis específicas	24
3. ESTRUCTURA DE LA TESIS	25
CAPÍTULO II: Efectos de la intensidad de la poda mecánica en caja sobre el desarrollo de yemas, el crecimiento vegetativo y los componentes del rendimiento en el cv. Cabernet Sauvignon	27
1. INTRODUCCIÓN	27
2. MATERIALES Y MÉTODOS	29
2.1. Sitio y material vegetal	29
2.2. Tratamientos y diseño experimental.....	29
2.3. Mediciones.....	31
2.4. Análisis estadístico	34
3. RESULTADOS.....	34
3.1. Yemas remanentes después de la poda	34
3.2. Brotación y desarrollo de brotes	37

3.3.	<i>Crecimiento vegetativo</i>	40
3.4.	<i>Componentes del rendimiento y equilibrio</i>	43
3.5.	<i>Composición de las bayas</i>	45
4.	DISCUSIÓN	47
4.1.	<i>La poda mecánica aumenta la producción cuando se aplica en años sucesivos en comparación con la poda manual en pitones</i>	47
4.2.	<i>Los componentes de rendimiento se compensan cuando se aplican diferentes tamaños de poda en caja de manera sucesiva</i>	49
5.	CONCLUSIONES	52

CAPÍTULO III: Influencia de la Poda Mecanizada Sucesiva durante tres años sobre la cantidad y posición de las yemas remanentes, el crecimiento vegetativo, la producción y la composición de la baya en viñedos de los cvs. Ancellotta y Syrah 53

1.	INTRODUCCIÓN	53
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	56
2.1.	<i>Sitio y material vegetal</i>	56
2.2.	<i>Tratamientos y diseño experimental</i>	56
2.3.	<i>Mediciones</i>	58
2.4.	<i>Análisis estadístico</i>	61
3.	RESULTADOS	62
3.1.	<i>Caracterización climática de las temporadas</i>	62
3.2.	<i>Cantidad y características de los pitones y yemas retenidas después de la poda</i>	64
3.3.	<i>Posición de las yemas en los pitones, porcentaje de brotación y desarrollo de brotes</i> 66	
3.4.	<i>Crecimiento vegetativo</i>	72
3.5.	<i>Producción y componentes del rendimiento</i>	75
3.6.	<i>Índices de equilibrio y capacidad de planta</i>	77
3.7.	<i>Composición de las bayas</i>	79
3.8.	<i>Relación de índice de equilibrio vegetativo/reproductivo a nivel brote y la calidad de las bayas</i> 81	
4.	DISCUSIÓN	82
4.1.	<i>La Poda Mecanizada en años sucesivos (PMS) y su efecto sobre la carga de yemas</i> ..2	82
4.2.	<i>La Poda Mecánica Sucesiva y su efecto sobre los mecanismos de compensación de la vid y del crecimiento vegetativo</i>	84
5.	CONCLUSIONES	90

CAPÍTULO IV: Influencia de la posición dentro de la canopia sobre microclima, producción, y la composición de la baya, en vides con Poda Mecanizada Sucesiva y canopia libre durante tres años en los cvs. Ancellotta y Syrah..... 92

1.	INTRODUCCIÓN	92
----	---------------------------	----

2.	MATERIALES Y MÉTODOS	94
2.1.	<i>Sitio y material vegetal</i>	94
2.2.	<i>Tratamientos y diseño experimental</i>	95
2.3.	<i>Mediciones</i>	96
2.4.	<i>Ánálisis estadístico</i>	99
3.	RESULTADOS.....	99
3.1.	<i>Radiación transmitida al interior de cada posición de la canopia y su evolución horaria</i>	
	99	
3.2.	<i>Temperatura en el interior de las distintas posiciones de la canopia y caracterización meteorológica de las temporadas</i>	105
3.3.	<i>Distribución de la producción y componentes del rendimiento en las distintas posiciones de la canopia</i>	109
3.4.	<i>Área foliar y densidad de área foliar en las posiciones de la canopia</i>	113
3.5.	<i>Composición de la baya</i>	114
4.	DISCUSIÓN	118
4.1.	<i>Caracterización de las posiciones según área foliar, densidad del área foliar, producción y componentes del rendimiento</i>	118
4.2.	<i>Composición de la baya y su relación con la radiación y la temperatura</i>	119
5.	CONCLUSIONES.....	122
	CAPÍTULO V: Discusión General.....	124
1.	APORTES DE LA TESIS AL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y AL SECTOR PRODUCTIVO	124
1.1.	<i>Poca mecánica vs poda manual</i>	124
1.2.	<i>Impacto del tamaño de caja en la poda mecanizada</i>	125
1.3.	<i>Evaluación de la Poda Mecánica Sucesiva (PMS)</i>	126
1.4.	<i>Influencia del manejo de la canopia libre sobre el ambiente y calidad de las bayas</i> .128	
1.5.	<i>Importancia del cultivar en la aplicación de la poda mecánica en caja y la conducción libre de los brotes</i>	129
2.	VALIDACIÓN DE LAS HIPÓTESIS DE LA TESIS.....	132
3.	PERSPECTIVAS FUTURAS.....	134
4.	CONCLUSIONES FINALES.....	137
	BIBLIOGRAFÍA.....	138

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Esquema que muestra los tratamientos de poda aplicados sobre plantas de cv. Cabernet Sauvignon. Tratamiento de poda manual PP (poda pitón) y de poda mecanizada PC1 (1 cm alto x 7cm ancho), PC2 (14 cm alto x 14 cm ancho) y PC3 (21 cm alto x 21 cm ancho). La altura de la caja se midió desde el borde superior del cordón. Las líneas rojas continuas de cada caja indican donde se realizó el corte..... 30
- Figura 2.** Esquema que muestra el detalle del diseño experimental en bloques completamente aleatorizados. Los bloques fueron seleccionados basados en mediciones del diámetro de tronco. Además, se muestra el detalle de una parcela experimental compuesta de 12 plantas: 10 borduras y 2 centrales de medición..... 31
- Figura 3.** Paneles izquierdos dentro de cada año de poda (1º año: 2017-2018 y 2º año: 2018-2019) Porcentaje de yemas ciegas, productivas y vegetativas en cada posición nodal desde la base de los pitones en plantas de Cabernet Sauvignon podadas mecánicamente en caja a 1 cm de altura x 7 cm de ancho (PC1, a y b), a 14 cm x 14 cm (PC2, c y d), a 21 cm x 21 cm (PC3, e y f), y podadas manualmente de pitones (PP, g y h). Paneles derechos dentro de cada año de poda: Porcentaje de pitones con solo yemas basales y con 1, 2, 3 y 4 nudos. Datos agrupados de cinco unidades experimentales de una planta. Letras distintas en cada valor ($n = 6$) paneles derechos indican diferencias significativas según la prueba LSD y $p \leq 0,05$ 38
- Figura 4.** En el 1º año: 2017-2018 (a) y 2º año: 2018-2019 (b) de poda, número de brotes con uva en relación con la ubicación de la yema dentro de los pitones en plantas de Cabernet Sauvignon podadas mecánicamente en caja a 1 cm de altura x 7 cm de ancho (PC1), a 14 cm x 14 cm (PC2), a 21 cm x 21 cm (PC3), y podadas manualmente de pitón (PP). Los valores con la misma letra no son significativamente diferentes dentro de cada año, según la prueba LSD con $p \leq 0,05$. Ns indica diferencia no significativa. Datos agrupados de cinco unidades experimentales de una planta..... 40
- Figura 5.** Evolución de la temperatura máxima (línea azul) y mínima (línea roja) durante las temporadas 2016-17 (a), 2017-18 (b) y 2018-19 (c), temperatura máxima, media y mínima promedio entre los meses de diciembre a marzo (envero a cosecha) para cada una de las 3 temporadas (d) y tiempo de exposición de las plantas a una temperatura superior a 35 °C (e). Las flechas en los paneles a-c indican las etapas fenológicas y en la secuencia de brotación (B), cuaje (Cu), envero (E) y cosecha (Co)..... 63

- Figura 6.** Paneles izquierdos dentro de cada poda PM1, PMS2 y PMS3: Porcentaje de yemas ciegas, productivas y vegetativas en cada posición de nudo desde la base de los pitones en plantas cv. Ancellotta podadas mecánicamente. Paneles derechos dentro de cada poda: Porcentaje de pitones con sólo yemas basales y con 1, 2, 3 y 4 nudos. Datos agrupados de 6 unidades experimentales de una planta. Letras distintas en cada valor ($n = 6$) paneles derechos indican diferencias significativas según la prueba LSD y $p \leq 0,05$ 67
- Figura 7.** Paneles izquierdos dentro de cada poda PM1, PMS2 y PMS3: Porcentaje de yemas ciegas, productivas y vegetativas en cada posición de nudo desde la base de los pitones en plantas de cv. Syrah podadas mecánicamente. Paneles derechos dentro de cada poda: Porcentaje de pitones con solo yemas basales y con 1, 2, 3 y 4 nudos. Datos agrupados de 6 unidades experimentales de una planta. Letras distintas en cada valor ($n = 6$) paneles derechos indican diferencias significativas según la prueba LSD y $p \leq 0,05$ 68
- Figura 8.** Número de brotes con uva y sin uva en relación con la ubicación de las yemas según madera vieja, yemas basales o yemas francas en plantas de cv. Ancellotta. Valores con la misma letra no son significativamente diferentes dentro de cada ubicación de la yema, según la prueba LSD en $p \leq 0,05$. Ns diferencia no significativa. Datos agrupados de 6 unidades experimentales de una planta..... 71
- Figura 9.** Número de brotes con uva y sin uva en relación con la ubicación de las yemas según madera vieja, yemas basales o yemas francas en plantas de cv. Syrah. Valores con la misma letra no son significativamente diferentes dentro de cada ubicación de la yema, según la prueba LSD en $p \leq 0,05$. Ns diferencia no significativa. Datos agrupados de 6 unidades experimentales de una planta..... 71
- Figura 10.** Relaciones entre pH (a), SST ($^{\circ}$ Brix) (b), Fenoles Totales (c) y Antocianos Totales (d) con el índice Área Foliar/Peso de Racimo a nivel brote (AF/PR_{brote}). Línea continua muestra relación significativa a $p = 0,05$. Línea discontinua es no significativa a $p \leq 0,05$ 81
- Figura 11.** Esquema de las posiciones de la canopia en donde se realizaron las mediciones y muestreos y donde se ubicaron los sensores de radiación y temperatura (círculos celestes). Además, se identifica la orientación de las hileras NE-SO. 96
- Figura 12.** Variación horaria de la radiación instantánea (R_{inst}) transmitida sobre cuatro posiciones de la canopia de vides cv. Ancellotta con canopia libre. Se presenta la medición realizada sobre una planta, medida el 12/01/2017, 02/02/2018 y el 29/01/2019, de las tres plantas evaluadas..... 103

Figura 13. Variación horaria de la radiación instantánea (R_{inst}) transmitida sobre cuatro posiciones de la canopia de vides cv. Syrah con canopia libre. Se presenta la medición realizada sobre una planta, medida el 03/01/2017, 12/02/2018 y el 22/01/2019, de las tres plantas evaluadas.....	104
Figura 14. Evolución de la temperatura máxima (línea azul) y mínima (línea roja) durante las temporadas 2016-17 (a), 2017-18 (b) y 2018-19 (c), temperatura máxima, media y mínima promedio entre los meses de diciembre a marzo (envero a cosecha) para cada una de las 3 temporadas (d) y tiempo de exposición de las plantas a una temperatura superior a 35 °C (e). Las flechas en los paneles a-c indican las etapas fenológicas y en la secuencia de brotación (B), cuaje (Cu), envero (E) y cosecha (Co).....	108
Figura 15. Densidad del área foliar de cada posición de la canopia: Top (verde), Centro (rojo), SE (azul) y NO (amarillo) en plantas de los cvs. Ancellotta (a) y Syrah (b), podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza. Los valores (n=6) con la misma letra no son significativamente diferentes dentro de cada P x PMS, según la prueba LSD con $p \leq 0.05$	114
Figura 16. Mapa conceptual resumen que condensa y conecta las principales conclusiones de cada capítulo experimental: azul: capítulo II, gris: capítulo III, morado: capítulo IV y naranja: capítulos II, III y IV.	131

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Número de yemas y pitones, yemas por pitón y longitud del pitón en plantas de Cabernet Sauvignon podadas mecánicamente en caja a 1 cm de altura x 7 cm de ancho (PC1), a 14 cm x 14 cm (PC2), a 21 cm x 21 cm (PC3), y podadas manualmente de pitón (PP) durante tres años (1º año: 2017, 2º año: 2018 y 3º año: 2019) en Rivadavia, Mendoza. Se muestra primero la influencia de las interacciones tratamientos de poda x años de aplicación, y luego los efectos simples.....	36
Tabla 2. Desarrollo vegetativo en plantas de Cabernet Sauvignon podadas mecánicamente en caja a 1 cm de alto x 7 cm de ancho (PC1), a 14 cm x 14 cm (PC2), a 21 cm x 21 cm (PC3) y podadas manualmente en pitones (PP) durante dos años de poda sucesivas (1º año: 2017-2018 y 2º año: 2018-2019) en Rivadavia, Mendoza. Se muestra primero la influencia de las interacciones tratamientos de poda x años de aplicación, y luego los efectos simples.....	42
Tabla 3. Componentes del rendimiento en plantas de Cabernet Sauvignon podadas mecánicamente en caja a 1 cm x 7 cm (PC1), a 14 cm x 14 cm (PC2), a 21 cm x 21 cm (PC3), y podadas manualmente de pitón (PP) durante dos años de poda sucesivas (1º año: 2017-2018 y 2º año: 2018-2019) en Rivadavia, Mendoza. Se muestra primero la influencia de las interacciones tratamientos de poda x años de aplicación, y luego los efectos simples.....	44
Tabla 4. Concentración de sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), pH, fenoles, taninos y antocianos totales en bayas de plantas de Cabernet Sauvignon podadas mecánicamente en caja a 1 cm de altura x 7 cm de ancho (PC1), a 14 cm x 14 cm (PC2), a 21 cm x 21 cm (PC3), y podadas manualmente de pitón (PP) durante dos años de poda sucesivas (1º año: 2017-2018 y 2º año: 2018-2019) en Rivadavia, Mendoza. Se muestra primero la influencia de las interacciones tratamientos de poda x años de aplicación, y luego los efectos simples.	46
Tabla 5. Número de yemas y de pitones, yemas por pitón, y largo de pitón en plantas de los cvs. Ancellotta y Syrah podadas mecánicamente durante cuatro años (PM1, PMS2, PMS3 y PMS4) en Junín, Mendoza.....	66
Tabla 6. Desarrollo vegetativo en plantas de los cvs. Ancellotta y Syrah podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza.....	74
Tabla 7. Producción y componentes del rendimiento en plantas de los cvs. Ancellotta y Syrah podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza. ...	76

Tabla 8. Índices de equilibrio área foliar/producción (AF/P _{planta}), el índice de Ravaz (IR) y AF/PR _{brote} e indicadores de capacidad de planta, Materia Seca Fuente (MSF), Materia Seca Total (MST) y relación MSF/MSP (Materia Seca Producción) en plantas de los cvs. Ancellotta y Syrah podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza.....	78
Tabla 9. Concentración de sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), pH, fenoles, taninos y antocianos totales en bayas de cvs. Ancellotta y Syrah podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza.....	80
Tabla 10. Radiación solar transmitida (int/ext) y diferencial de temperatura del aire (int-ext) según las distintas posiciones de la canopia en plantas del cv. Ancellotta podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza.....	101
Tabla 11. Radiación solar transmitida (int/ext) y diferencial de temperatura del aire (int-ext) según las distintas posiciones de la canopia en plantas del cv. Syrah podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza.....	102
Tabla 12. Producción, componentes del rendimiento y área foliar (AF _{posición}) según las posiciones de la canopia en plantas del cv. Ancellotta podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza	111
Tabla 13. Producción, componentes del rendimiento y área foliar (AF _{posición}) según las posiciones de la canopia en plantas del cv. Syrah podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza.....	112
Tabla 14. Concentración de sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), pH, fenoles, taninos y antocianos totales en bayas según las posiciones de la canopia en plantas del cv. Ancellotta podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza.....	116
Tabla 15. Concentración de sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), pH, fenoles, taninos y antocianos totales en bayas según las posiciones de la canopia en plantas del cv. Syrah podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza.....	117

ABREVIATURAS

VSP	Vertical shoot positioned
SHW	Single high wire
GDC	Doble Cortina de Ginebra
IH	Índice heliotérmico de Huglin (adimensional)
IF	Índice de frescor nocturno (°C)
ETc	Evapotranspiración de cultivo (mm día ⁻¹)
Kc	Coeficiente de cultivo (adimensional)
PP	Poda manual en pitón
PC1	Poda mecanizada en caja (1 cm de alto x 7 cm de ancho)
PC2	Poda mecanizada en caja (14 cm de alto x 14 cm de ancho)
PC3	Poda mecanizada en caja (21 cm de alto x 21 cm de ancho)
E-L	Fenofase Eichhorn and Lorenz modificado por Coombe 1995
AF_{planta}	Área foliar a nivel planta (m ² /m)
SST	Sólidos solubles totales (°Brix)
AT	Acidez titulable (g/L)
IR	Índice de Ravaz
AF/P_{planta}	Área foliar/producción, a nivel planta (m ² /kg)
PM1	Poda mecánica primera temporada
PMS2	Poda mecánica sucesiva segunda temporada
PMS3	Poda mecánica sucesiva tercera temporada
PMS4	Poda mecánica sucesiva cuarta temporada
AF/PR_{brote}	Área foliar por brote/peso promedio del racimo, a nivel de brote (cm ² /g)
MST	Materia seca total (g)
MSF	Materia seca de la fuente (g)
MSP	Materia seca de la producción (g)
NO	Noroeste
SE	Sureste
AF_{posición}	Área foliar a nivel posición de la canopia (m ² /kg)
DAF	Densidad de área foliar (m ² /m ³)
R_{max}(int/ext)	Radiación transmitida máxima diaria (%)
R_{diaria}(int/ext)	Radiación transmitida total acumulada diaria (%)
R_{inst}	Radiación transmitida instantánea (μmol m ⁻² s ⁻¹)

ΔT_{max}	Diferencial de temperaturas máximas entre el interior y el exterior de la canopia (°C)
ΔT_{med}	Diferencial de temperaturas medias entre el interior y el exterior de la canopia (°C)
ΔT_{min}	Diferencial de temperaturas mínimas entre el interior y el exterior de la canopia (°C)

CERTIFICACIONES PERTINENTES

1. PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS

Barcia, F., Prieto, J., & Trentacoste, E. R. (2023). Effects of mechanical box pruning intensity on bud development, vegetative growth, and yield components on cv. Cabernet-Sauvignon in Mendoza, Argentina. *OENO One*, 57(3), 153–163. <https://doi.org/10.20870/oenone.2023.57.3.7475>

2. PRESENTACIONES A CONGRESOS DERIVADAS DE LA TESIS

Barcia, F. A.; Prieto, J. A. & Trentacoste, E. R (2017). Producción y calidad en diferentes posiciones de la canopia de vid en box pruning (cv. Syrah). 20ma Reunión Internacional de GiESCO. Mendoza, Argentina. Book of Full Manuscripts XX International Meeting 2017 – International Group of Experts of Vitivinicultural Systems for Cooperation –GiESCO- ISBN 978-987-42-6155-7. Pág: 557-562.

CAPÍTULO I

Introducción General

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Caracterización de la viticultura de Mendoza

La vid (*Vitis vinifera* L.) es una de las principales especies frutales cultivadas a nivel mundial, con aproximadamente 7 millones de hectáreas (OIV, 2022). Argentina tiene implantadas 207.000 ha, ocupando el séptimo lugar a mundial en términos de superficie. A su vez, la vid en Argentina es la especie frutal más cultivada del país, representando aproximadamente el 39 % del total de superficie cultivada con frutales (Sanchez, 2020). Mendoza es la principal provincia productora del país, con 145.393 ha de viñedos (INV, 2023), representando el 71 % de la superficie frutal provincial (Sanchez, 2020). La agricultura de la provincia de Mendoza se desarrolla en los denominado Oasis productivos, conocidos como Oasis Norte, Este, Sur, Alta Río Mendoza y Valle de Uco. Cada Oasis presenta particularidades agroambientales distintivas y en consecuencia, la viticultura realizada en cada uno de los oasis presenta sus particularidades (variedades, sistemas de conducción, nivel de tecnificación, etc). El Oasis Este, donde se desarrollaron los estudios de esta tesis, comprende los departamentos de San Martín, Rivadavia, Junín, Santa Rosa y La Paz, y concentra el 43 % de la superficie provincial con viñedos (INV, 2023).

El clima de Mendoza se clasifica predominantemente como árido y semiárido, con variaciones locales influenciadas por la altitud y la proximidad a la cordillera de los Andes. Aproximadamente el 66% de la superficie cultivada con vid en Mendoza pertenece a la región V de Winkler, caracterizadas por ser zonas “cálidas” y de alta oferta energética, involucrando básicamente a los Oasis Este, Norte y el departamento Maipú del Oasis Alta del Río Mendoza (Ahumada 2023). En el contexto del calentamiento global, el aumento de las temperaturas y el incremento en la frecuencia en las olas de calor puede ser perjudicial y limitantes para la producción vitícola, problema más evidente en las zonas actualmente clasificadas como cálidas. En esta zona, se ha observado durante los últimos 50 años un aumento de la temperatura media de 1,08 °C y un incremento del 25 % en la cantidad de días en que la temperatura máxima fue superior a una desviación estándar de la máxima media (Deis et al, 2015). Además, algunos

trabajos predicen que gran parte de las zonas actualmente cultivadas cambiarán su aptitud vitícola y se tornarán demasiado calurosas para mitad y fines de este siglo (Cabré et al. 2016).

En los últimos años, grupos de investigación en diferentes regiones vitícolas del mundo han evaluado diversas estrategias de manejo enfocadas en la mitigación de los efectos negativos del calentamiento global. Entre las estrategias evaluadas podemos mencionar el retraso del momento de poda para modificar la fenología y llevar la madurez de las bayas a un período más fresco (Morgani et al, 2023), el uso de reguladores de crecimiento como auxinas o inhibidores de hormonas que retrasan la maduración (Pallioti et al, 2014), la modificación de la orientación de las hileras E-O para reducir la radiación incidente en horas de la tarde (Prieto et al., 2024), el forzado de yemas mediante un desbrote y deshoje severo luego de cuaje que produce una nueva brotación que retrasa la maduración de la uva (Gu et al., 2012) y el diseño de sistemas de conducción que protejan en mayor medida a los racimos de la radiación (Del Zozzo y Poni, 2024).

1.2. Sistemas de conducción adaptados a la mecanización integral del viñedo

El sistema de conducción es la manipulación física de la forma de una planta (Reynolds et al, 2009), tanto de las estructuras permanentes, como de la zona de renovación y de los brotes que originan el nuevo crecimiento (Ahumada 2023). La disposición espacial de cada una de las estructuras mencionadas anteriormente influye sobre el microclima de la canopia, principalmente sobre la radiación solar interceptada y la temperatura (Louarn et al, 2008), que influyen en el crecimiento vegetativo de los brotes, la fotosíntesis, transpiración y eficiencia en el uso del agua (Prieto et al. 2013; 2020), y finalmente sobre la producción, calidad de las bayas y de los vinos producidos (Reshef et al, 2019). En este sentido, el agua constituye el mayor condicionante para el desarrollo del viñedo y sus necesidades deben ser consideradas en relación con las prácticas de conducción (Smart y Coombe, 1983). Los sistemas de conducción pueden ser diseñados considerando varios objetivos, entre ellos manipular la exposición a la luz solar de hojas y racimos, facilitar la renovación de madera de fructificación, facilitar el movimiento de la maquinaria dentro del viñedo y la adaptabilidad a la mecanización integral de la poda y la cosecha (Reynolds et al, 2009).

Los sistemas de conducción se pueden clasificar según distintos criterios (Carboneau et al., 1981; Kliewer y Dokoozlian, 2005; Reynolds et al., 2009; Del Zozzo y Poni, 2024), pero tres factores podrían ser los principales a tener en cuenta: (i) sostén de las estructuras perennes (con y sin apoyo); (ii) la cantidad de planos de la canopia que genera una misma planta (canopia simple y dividida) y (iii) y disposición de los brotes del nuevo crecimiento (con posicionamiento vertical u horizontal y canopia libre). Por lo general, cada sistema de conducción resulta de la

combinación de las características mencionadas anteriormente y de modificaciones particulares en función del sitio, el cultivar y manejos culturales.

Uno de los sistemas de conducción más utilizado a nivel mundial es el espaldero con posicionamiento vertical de brotes (o VSP por sus siglas en inglés: “*vertical shoot positioned*”), probablemente debido a su facilidad para ejecutar diversas operaciones, el trabajo en verde y la mecanización de las labores (Ahumada 2023). El espaldero generalmente se forma con un cordón ubicado a una altura entre 0,8-1,0 m desde el suelo y canopia simple con brotes conducidos verticalmente que permiten optimizar la interceptación de la luz y minimizar el sombreado mutuo de las hileras. El VSP permite la mecanización de la cosecha utilizando máquinas vendimiadoras cabalgantes continuas. La poda solo puede ser parcialmente realizada mecánicamente mediante la pre-poda. También requiere tareas manuales para realizar el posicionamiento de los brotes (Morris, 2007).

Más recientemente se ha desarrollado el sistema denominado “alambre único alto” de sus siglas en inglés “*single high wire*” (SHW), donde se forma un único cordón entre los 1,5-1,7 m de altura, la canopia es simple y crece de manera libre, sin alambres de conducción y sin requerir el posicionamiento de los brotes, también denominada como de canopia libre (Poni et al, 2016). La canopia libre en SHW presenta como principal ventaja que permite la mecanización integral tanto de la cosecha como de la poda, donde la poda tipo “*box pruning*” (de ahora en más “poda en caja”) ha sido desarrollada satisfactoriamente (Kurtural y Fidelibus, 2021). Por otro lado, existen otros sistemas de canopia dividida (por ej. Lira, GDC, Scott Henry) generalmente utilizados en viñedos vigorosos y zonas húmedas, para disminuir la expresión vegetativa y aumentar el rendimiento manteniendo o aumentando en algunos casos la calidad de la uva. La implementación de los sistemas de canopia dividida es muy baja a nivel mundial, debido principalmente a la alta demanda de mano de obra para las operaciones en verde, en especial para mantener las canopias separadas en el tiempo, y debido también a las pocas posibilidades de mecanización (Del Zozzo y Poni 2024).

En términos generales, el 58 % de la superficie vitícola de Mendoza se maneja con el sistema de conducción tipo espaldero, el 41 % en parral y un 1 % en otros sistemas (INV, 2023). El espaldero registra un aumento entre 2010 y 2024 del 5 %, mientras que el parral ha disminuido un 18,6% en el mismo período. Este efecto podría estar relacionado a una transformación de los viñedos hacia esquemas más mecanizados (Sanchez Vives et al, 2024) y cambios en las zonas de producción.

La posibilidad de mecanizar la totalidad de las operaciones y la necesidad de sostener altos rendimientos en zonas de elevado potencial productivo ha llevado un creciente interés en el SHW (Ahumada 2023). Este sistema tiene como ventaja destacada que permite la mecanización integral de la poda y la cosecha (Kurtural y Fidelibus, 2021) y una alta eficiencia en la captación de luz solar debido a una mayor área foliar expuesta (Louarn et al., 2008). Además, estudios recientes indican que los sistemas de conducción de canopia libre podrían reducir la temperatura de las bayas con la consecuente mejora en la composición química (Martínez de Toda y Balda, 2015; Gladstone y Dokoozlian, 2015; Reshefet al., 2019). De este modo, la canopia libre en SHW presentaría ventajas en regiones cálidas con alto potencial productivo y con escasez de mano de obra por sobre el VSP en espaldero (Del Zozzo y Poni, 2024).

1.3. Mecanización de la poda

La poda en la vid consiste en la eliminación de partes vivas de la planta, con el objeto de mantener la forma de la planta adaptada al sistema de conducción, reducir el envejecimiento mediante la renovación de sus partes y regular la carga de yemas para mantener el balance vegetativo/reproductivo (Aliqué et al., 2010). La poda manual permite seleccionar yemas fértiles de una manera regular a lo largo de la estructura de carga de la planta. La poda generalmente es realizada durante el invierno, cuando las plantas se encuentran en reposo vegetativo, la disponibilidad de mano de obra es mayor, y hay escasa superposición con otras labores.

La poda manual requiere de mano de obra altamente calificada, que cada día es más difícil de conseguir (Batistella et al., 2013) y tiene como principal desventaja su elevado costo, representando aproximadamente el 15 % del costo total de mano de obra (Novello et al., 2021). Por este motivo, el desarrollo de la pre-poda mecánica permite un uso más eficiente de la mano de obra de los podadores, siendo de más fácil implementación sobre los sistemas de conducción en espaldero. La pre-poda consiste en realizar mecánicamente el corte de los sarmientos a una altura aproximada de 30 a 40 cm por sobre el cordón y el trozado del sarmiento por encima de dicho corte, para evitar principalmente la tarea del tironeo. De esta manera el podador sólo se concentra en la tarea de selección de yemas y de establecer su carga por planta, pudiendo disminuir aproximadamente entre el 29 % y 61 % el costo total de poda (Allegro et al, 2023).

La escasez de mano de obra y los altos costos de poda han llevado al desarrollo, desde hace algún tiempo, de distintas alternativas de poda totalmente mecanizada como la poda en seto semi-mínima, poda larga asistida (Poni et al., 2016; Clingeffer 2013) y la poda en caja o box pruning (Kurtural et al., 2013). La poda mecánica en caja combinada con el sistema de conducción SHW presenta la gran ventaja de que es de fácil ejecución, ya que las cuchillas de la

maquinaria no presentan obstáculos en su avance (Kurtural y Fidelibus, 2021). La poda mecanizada en caja permitiría una disminución del costo de poda del 58 y 80 % (Allegro et al., 2023).

A pesar de las ventajas económicas de la poda mecanizada, cabe destacar la amplia brecha entre la información recopilada desde la década de 1970 sobre poda invernal mecanizada y su escasa adopción real por parte del sector vitivinícola a nivel mundial (Poni et al., 2016). Esto sugiere que todavía podrían no estar resueltas algunas cuestiones sobre su implementación, entre las que se destacan la determinación de las dimensiones óptimas de la caja de poda, la evolución del rendimiento a través años, el equilibrio vegetativo/reproductivo de las plantas y su influencia sobre la calidad de la uva y principalmente, los requerimientos específicos de cada cultivar (Ahumada et al., 2020).

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. Objetivo e hipótesis general

De esta manera, el presente trabajo tiene como **objetivo general** estudiar el efecto de la poda mecanizada en caja sobre plantas de vid (*Vitis vinifera* L.) conducidas en canopia libre y cultivadas en clima cálido, sobre la relación fuente-destino, el microclima de la canopia y la calidad de la uva. Se plantea como **hipótesis general** que es posible realizar la poda mecanizada en caja a través de temporadas sucesivas, sin disminuir significativamente el rendimiento ni perjudicar la calidad de la uva a lo largo de los años.

2.2. Objetivos e hipótesis específicas

Objetivo específico 1 e hipótesis relacionadas al capítulo II. Evaluar los efectos de la intensidad de la poda mecánica en caja y su comparación con un tratamiento podado manualmente sobre los siguientes aspectos: (i) la longitud del pitón, el número de yemas retenidas, la brotación, el crecimiento y desarrollo de los brotes, (ii) los componentes del rendimiento y la composición de las bayas, y (iii) el equilibrio de la planta.

Hipótesis 1: La poda mecánica en caja retiene una mayor cantidad de yemas en comparación con la poda manual en pitón, lo que conduce a un mayor número de racimos y producción.

Hipótesis 2: La poda mecánica afecta negativamente la composición de la baya debido al aumento en la producción en comparación con la composición de la baya de viñedo podado manualmente.

Hipótesis 3: El mayor tamaño de la caja en la poda mecánica incrementa la longitud de los pitones, la cantidad de yemas retenidas y la producción. *El mayor tamaño de la caja se relaciona positivamente con el Índice de Ravaz, y negativamente con el AF/P_{planta} y con la composición de la baya.*

Objetivo específico 2 e hipótesis relacionadas al capítulo III. Evaluar el efecto de la Poda Mecanizada Sucesiva (PMS) en caja con tamaños similares aplicada durante tres años sucesivos en los cultivares Ancellotta y Syrah sobre: la cantidad y posición de las yemas remanentes, el porcentaje de brotación y características de los brotes, la producción y la composición de las bayas. Determinar relaciones entre diferentes índices equilibrio vegetativo/reproductivo y la composición de la baya en viñedos manejados con poda mecánica y canopia libre.

Hipótesis 4: La poda mecánica aplicada en años sucesivos, manteniendo el tamaño de caja constante a través de las temporadas, produce estabilización de las yemas remanentes y de la producción.

Hipótesis 5: La poda mecánica aplicada en años sucesivos mantiene con el tiempo similares valores en los índices de equilibrio vegetativo/reproductivo sin modificar la composición de la baya.

Objetivo específico 3 e hipótesis relacionadas al capítulo IV. En un viñedo de los cultivares Syrah y Ancellotta con Poda Mecanizada Sucesiva (PMS) en caja y conducción libre de brotes aplicada durante tres años sucesivos (i) caracterizar el microclima (radiación y temperatura del aire) en distintas posiciones de la canopia, (ii) caracterizar el área foliar, la producción, y la composición de las bayas en distintas posiciones de la canopia y (iii) evaluar la influencia del microclima alrededor de los racimos sobre la composición química de las bayas.

Hipótesis 6: La posición de los racimos dentro de la canopia afecta las características de los racimos y la composición de la baya.

Hipótesis 7: La PMS afecta la estructura de la canopia, modificando las condiciones de radiación y de temperatura en su interior, y la composición de la baya.

3. ESTRUCTURA DE LA TESIS

La tesis fue desarrollada en cinco capítulos. En el **capítulo I** se realizó una introducción general de la problemática a abordar, aportando al lector información sobre las características de la vitivinicultura mendocina, la adaptación de la mecanización en los sistemas de conducción y la mecanización de la poda. En el **capítulo II**, se expone los resultados obtenidos en un ensayo

diseñado para evaluar diferentes intensidades de poda mecánica en el cv. Cabernet Sauvignon conducido con canopia libre durante dos años. En el ensayo se compararon tres intensidades de poda mecanizada en caja con la canopia creciendo libremente y además, se comparó un tratamiento intermedio de poda mecanizada con poda manual conducido en VSP. Los resultados del Capítulo II permitieron cumplir con el objetivo específico I, responder las hipótesis asociadas a este objetivo y brindar conocimiento sobre las dimensiones óptimas del tamaño de caja, también aportó información clave sobre las ventajas y desventajas del uso de poda selectiva (poda manual) y de la poda no selectiva de yemas (poda mecánica en caja). La influencia de las estrategias de poda sobre la relación de los índices de equilibrio vegetativo/reproductivo y su relación con la calidad de las bayas es también abordado en el Capítulo II. En el **capítulo III** se planteó un ensayo de tres años de poda mecanizada aplicada en temporadas sucesivas en los cvs. Ancellotta y Syrah con canopia libre. Los resultados del Capítulo III permitieron cumplir con el objetivo específico II, responder las hipótesis asociadas a este objetivo y brindar conocimiento sobre la evolución a través de las temporadas del rendimiento, los índices de equilibrio vegetativo/reproductivo y su influencia sobre la calidad de la baya para dos cultivares. En el **capítulo IV**, sobre el mismo experimento en los cvs. Ancellotta y Syrah se caracterizó el microclima de los racimos bajo la canopia libre. Para alcanzar este objetivo la canopia de las plantas se dividió en cuatro posiciones: top, centro, noroeste y sureste, realizando en cada posición una detallada descripción de variables ambientales (temperatura y radiación). Los resultados del capítulo IV permitieron cumplir con el objetivo específico III, responder las hipótesis asociadas a este objetivo y brindar conocimiento sobre la variabilidad espacial de frutos, hojas y ambiente, y su relación con la calidad de la uva. Por último, en el **capítulo V** se integran y discuten los resultados obtenidos en cada capítulo, principalmente brindando conocimiento al comparar los tres cultivares investigados. Además, se discuten los posibles aportes novedosos al sector productivo y aplicaciones en futuras investigaciones.

CAPÍTULO II

Efectos de la intensidad de la poda mecánica en caja sobre el desarrollo de yemas, el crecimiento vegetativo y los componentes del rendimiento en el cv. Cabernet Sauvignon

1. INTRODUCCIÓN

La cosecha y la poda invernal, cuando se realizan manualmente, representan los costos operativos más altos dentro del manejo del viñedo. Además, la poda invernal requiere mano de obra calificada, que actualmente es difícil de encontrar en muchas regiones vitivinícolas (Battistella et al., 2013). La mecanización total del viñedo reduce los costos, las necesidades de mano de obra y permite realizar intervenciones de tareas específicas más rápidamente (Pezzi y Bordini, 2008; Kurtural et al., 2012). La mecanización de la poda y la cosecha, que se está expandiendo en varias regiones vitivinícolas del mundo, requiere especial atención en cuanto al diseño del viñedo: sistema de conducción, manejo de la canopia, adaptación varietal para generar una canopia apropiada y compatible con la maquinaria disponible y mantener altos niveles de producción y calidad (Kurtural y Fidelibus, 2021). Actualmente, en Argentina, los viñedos son manejados con alta intensidad de mano de obra; se ha implementado la mecanización para la cosecha en viñedos de grandes superficie, mientras que la poda sigue siendo manual o se realiza solo parcialmente mediante pre-poda.

La poda manual es selectiva y permite un control preciso del número de yemas en relación con el vigor de la planta, el cultivar y los criterios de manejo (Greven et al., 2014), aunque se ha asociado con una excesiva intensidad de poda (Poni et al., 2016). Por el contrario, la poda mecánica no es selectiva, donde el control de la carga de yemas es menos preciso, pudiendo conducir a una sobreproducción en relación con la capacidad de crecimiento de la planta. Varios estudios han comparado los resultados de la poda mecánica y la poda manual en términos de producción. Algunos autores han encontrado que la poda mecánica aumenta el rendimiento después de varios años de aplicación, principalmente debido a un mayor número de racimos (Martinez de Toda y Sancha, 1999; Peppi et al., 2017), mientras que otros no encontraron diferencias, asociadas con una compensación parcial a través del porcentaje de brotación y otros componentes del rendimiento (Gatti et al., 2011; Caprara y Pezzi, 2013). La poda mecanizada puede conducir a una producción excesiva, con una marcada disminución del vigor de la planta

y de los componentes del rendimiento, como la brotación, la fertilidad de los brotes y el número de bayas por racimo en las temporadas siguientes (Poni et al., 2016).

Además, la poda mecánica en caja, aplicada con diferentes intensidades, puede modificar la arquitectura de la canopia a través de cambios en el número y la longitud de los pitones. Luego la intensidad de poda puede impactar sobre el número y fertilidad de los brotes, lo que tiene consecuencias sobre los componentes del rendimiento (McLoughlin et al., 2011; Kurtural et al., 2012). Por tanto, la intensidad de la poda mecánica requiere una consideración especial, ya que determinará la longitud de los pitones y producirá variaciones en el microclima. Si no se realiza adecuadamente, podría dar lugar a un número de yemas interanual diferente y, en consecuencia, a posibles variaciones en el rendimiento (Poni et al., 2004; Peppi et al., 2017). La expansión de la poda mecánica en caja está limitada, entre otros factores, por el uso de sistemas de conducción que no son apropiados para podadoras mecánicas, estructuras de soporte inadecuadas y un conocimiento insuficiente sobre la manera de manejar los viñedos para que produzcan uvas de calidad durante toda su vida útil (Poni et al., 2004; Palliotti, 2012; Caprara y Pezzi, 2013).

En este estudio, se evaluaron los efectos de tres intensidades de poda en plantas del cv. Cabernet Sauvignon conducidas con canopia libre y podadas mecánicamente en caja. Se incluyó un tratamiento de poda manual en pitón con carga de yemas similar a un tratamiento con poda mecánica para comparar ambos métodos. Las vides podadas manualmente se condujeron en un sistema convencional de brotes posicionados verticalmente (VSP). Los objetivos de este capítulo fueron evaluar los efectos de la intensidad de la poda mecánica en caja y su comparación con un tratamiento podado manualmente sobre los siguientes aspectos: (i) la longitud del pitón, el número de yemas retenidas, la brotación, el crecimiento y desarrollo de los brotes, (ii) los componentes del rendimiento y la composición de las bayas, y (iii) el equilibrio de la planta.

A partir de los objetivos enunciados se plantean las siguientes hipótesis:

Hipótesis 1: La poda mecánica en caja retiene una mayor cantidad de yemas en comparación con la poda manual en pitón, lo que conduce a un mayor número de racimos y producción.

Hipótesis 2: La poda mecánica afecta negativamente la composición de la baya debido al aumento en la producción en comparación con la composición de la baya de viñedo podado manualmente.

Hipótesis 3: El mayor tamaño de la caja en la poda mecánica incrementa la longitud de los pitones, la cantidad de yemas retenidas y la producción. *El mayor tamaño de la caja se relaciona*

positivamente con el Índice de Ravaz, y negativamente con el AF/ P_{planta} y con la composición de la baya.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Sitio y material vegetal

El experimento se llevó a cabo durante dos temporadas consecutivas, desde el invierno de 2017 hasta la poda de invierno de 2019, en un viñedo comercial de cv. Cabernet Sauvignon ubicado en Rivadavia (33° 17' S, 68° 25' O, 671 m snm), Mendoza, Argentina. Las vides se plantaron en el año 2000, se condujeron en un sistema de brotes con posicionamiento vertical (VSP) y se podaron en cordón bilateral. El cordón permanente estaba a 0,9 m sobre el suelo y los brotes se sujetaron mediante tres alambres de conducción para formar una canopia de 1,2 m de altura desde el cordón permanente. Las hileras estaban orientadas en dirección N-S y las plantas espaciadas 2,0 m entre sí y 2,5 m entre hileras. El clima de la región es árido, con 196 mm de lluvia anual, que se concentra principalmente durante el verano. De acuerdo con el índice heliotérmico de Huglin (IH) y el índice de frescor nocturno (IF) estimados para el periodo 1996-2019, la región se clasifica como “cálida” con un valor de IH de 2835 y “noches frías” con un valor de IF de 13,1 °C (Tonietto y Carboneau, 2004). Las vides se regaron con una sola línea de goteo por hilera, con emisores de 2 L/h espaciados a 0,6 m. El riego se manejó para reponer el 100 % de la ETc, utilizando los kc propuestos por FAO 56 para vides de mesa y pasas a lo largo de toda la estación de crecimiento. A partir de muestras de suelo, se determinó textura y se calculó el agua fácilmente aprovechable (FAO 56) a partir del 30% del agua disponible total. Además, se realizaron determinaciones gravimétricas de humedad de suelo previo al riego para un mejor control de la lámina de riego aplicada. Cuando la humedad gravimétrica del suelo estuvo por debajo al umbral establecido, la programación de riego fue debidamente ajustada.

2.2. Tratamientos y diseño experimental

Desde el invierno de 2017 hasta 2019, se aplicaron cuatro tratamientos de poda: una poda manual en pitón y tres intensidades de poda mecánica en caja (Figura 1). Los cordones permanentes se mantuvieron a 0,9 m sobre el suelo. Las vides podadas en pitón (PP) se podaron manualmente para retener 36 yemas distribuidas en 18 pitones por metro de cordón. La canopia se condujo en VSP y la poda en verde se realizó generalmente dos veces por temporada a 20 cm por encima del último alambre de sostén. Los tratamientos de poda mecánica consistieron en tres intensidades determinadas por diferentes tamaños de poda en caja: PC1 (1 cm de alto x 7

cm de ancho), PC2 (14 cm de alto x 14 cm de ancho) y PC3 (21 cm de alto x 21 cm de ancho), para todos los casos la altura fue medida desde el borde superior del cordón. Los tamaños de las cajas de poda se mantuvieron en las mismas plantas durante todos los años del estudio. Este esquema permitió comparar las tres intensidades de poda mecánica y, al mismo tiempo, dado que PP y PC2 retuvieron el mismo número de yemas por metro de cordón en la primera poda, comparar la poda mecánica y manual con la misma intensidad inicial. En las plantas podadas mecánicamente, los brotes no tuvieron sostén (canopia libre) y se aplicó una única poda de verano sobre los brotes descendentes a una altura de 40 cm sobre el suelo (desfalde) para facilitar el paso de la maquinaria y el control de malezas.

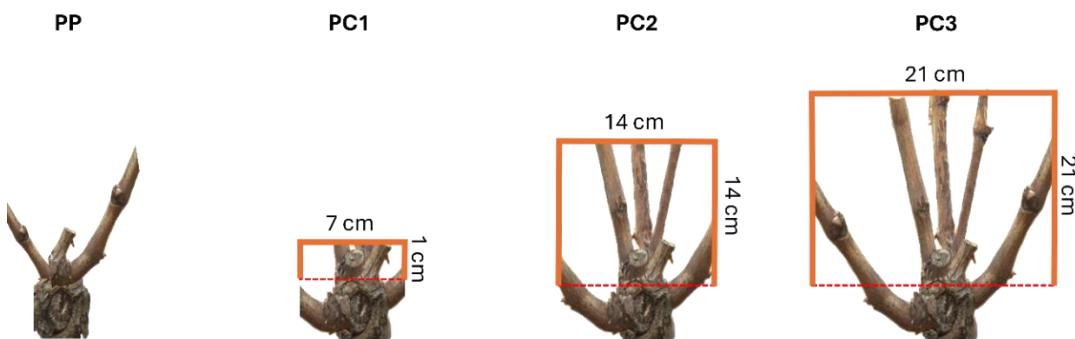


Figura 1. Esquema que muestra los tratamientos de poda aplicados sobre plantas de cv. Cabernet Sauvignon. Tratamiento de poda manual PP (poda pitón) y de poda mecanizada PC1 (1 cm alto x 7cm ancho), PC2 (14 cm alto x 14 cm ancho) y PC3 (21 cm alto x 21 cm ancho). La altura de la caja se midió desde el borde superior del cordón. Las líneas rojas continuas de cada caja indican donde se realizó el corte.

El experimento se realizó en un diseño de bloques completamente al azar con cinco repeticiones. Los bloques se seleccionaron de acuerdo con mediciones previas del diámetro del tronco. Cada unidad experimental constó de 12 plantas distribuidas en cuatro hileras consecutivas (3 plantas por hilera), y las plantas centrales de las dos hileras centrales se utilizaron para la recolección de datos, o sea 2 plantas de observación por unidad experimental (Figura 2).

Detalle del Diseño Experimental

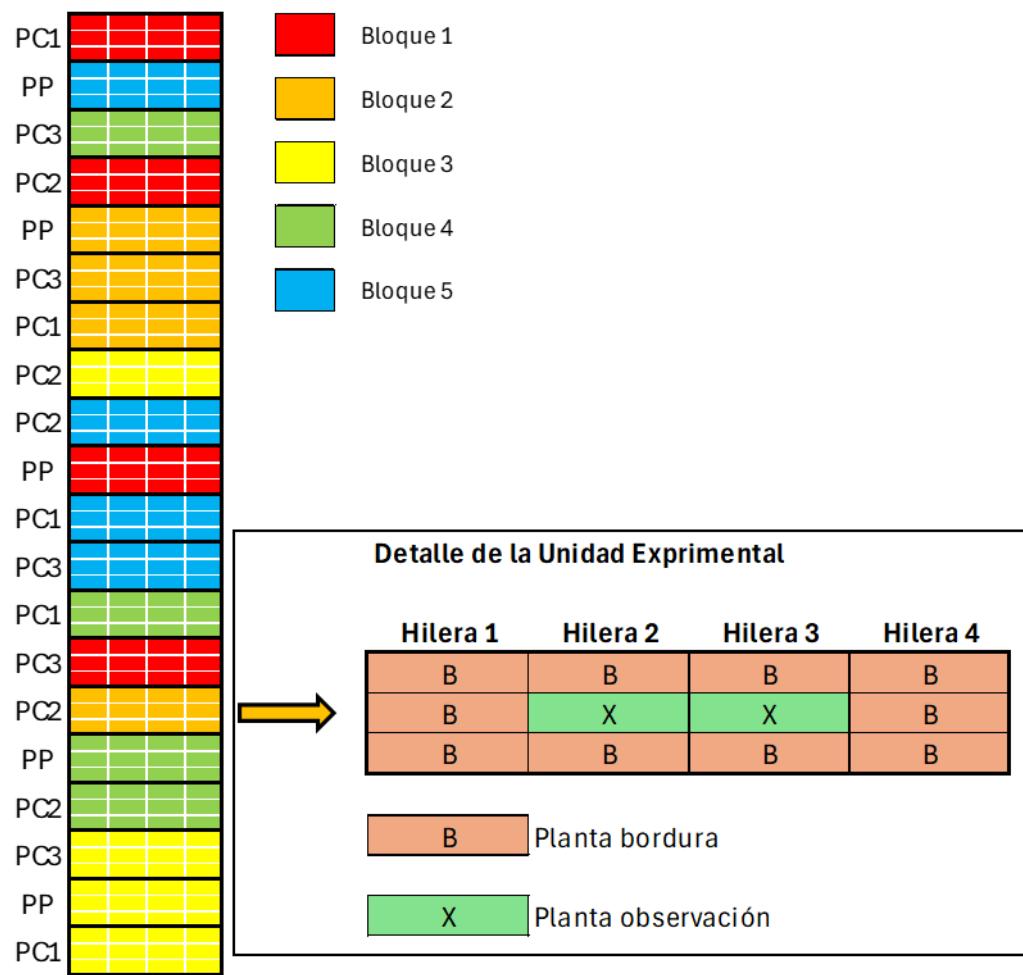


Figura 2. Esquema que muestra el detalle del diseño experimental en bloques completamente aleatorizados. Los bloques fueron seleccionados basados en mediciones del diámetro de tronco. Además, se muestra el detalle de una parcela experimental compuesta de 12 plantas: 10 borduras y 2 centrales de medición.

2.3. Mediciones

2.3.1. Yemas retenidas luego de la poda y posterior desarrollo de brotes

Después de la poda, se registró el número de pitones, la longitud y el número de yemas por pitón contadas a partir del primer nudo en dos plantas por unidad experimental. Se calculó el número total de yemas por metro de cordón. Sólo las variables relacionadas a la carga de yemas, fueron medidas durante tres años, aprovechando el momento de medición de peso de poda de la temporada anterior final y considerando pertinente sumar un año más de datos para estas variables. Cuando las inflorescencias alcanzaron la fenofase E-L 15 (flores individuales en grupos compactos, Eichhorn y Lorenz modificado por Coombe 1995), seleccionamos 10 y 15 pitones contiguos en una planta por unidad experimental, según el primer y segundo año de poda,

respectivamente. Cada yema ubicada desde la base hasta el extremo del pitón fue clasificada como: (i) “yema ciega” cuando no se produjo la brotación, (ii) “yema productiva” cuando desarrolló un brote con al menos una inflorescencia y (iii) “yema vegetativa” cuando desarrolló un brote sin inflorescencias (Di Lorenzo y Pisciotta, 2019). Luego se estimó la frecuencia de cada categoría de yema considerando la posición dentro del pitón (es decir, base, posición 1, 2, 3, etc., según corresponda). Los pitones con cinco nudos fueron escasos y, por lo tanto, no se tuvieron en cuenta. La posición “basal” consideró al conjunto de yemas ubicadas en la base del sarmiento que podrían ser en su mayoría casqueras. Las yemas en posiciones 1 (primera yema separada mediante un pequeño entrenudo desde la base del sarmiento), 2, 3 etc, serán denominadas en este trabajo como “yemas francas”. En una planta por unidad experimental, y en la misma época se contó a lo largo de todo el cordón, el número de brotes con uva y sin uva, en este caso considerando la posición de la yema dentro de la planta como: (i) brote desarrollado de una yema ubicada en madera vieja del cordón, (ii) desde una yema ubicada en la base de pitón y (iii) desde una yema franca. La brotación se expresó como porcentaje del número total de brotes contabilizados en invierno antes de la poda, dividido por el número total de nudos retenidos en la poda en dos cepas por réplica.

2.3.2. Área foliar y crecimiento vegetativo

El área foliar por planta (AF_{planta}) se determinó luego de la cosecha y previo a la caída de las hojas, en la fenofase E-L 41 (maduración del sarmiento, Eichhorn y Lorenz modificado por Coombe 1995), en una planta por unidad experimental. Se extrajeron hojas de la mitad sur de una de las plantas de medición (se alternaron entre las temporadas de medición), se pesaron inmediatamente y se separó una submuestra de 20 hojas. Se determinó la longitud de la sección del cordón desfoliado. Se eliminaron los peciolos de todas las hojas y se extendieron las láminas sobre una superficie blanca, evitando superposiciones. El área foliar de esas hojas se estimó a través de fotografías digitales procesadas posteriormente con CobCal ver. 2.0 (INTA, BsAs, Argentina). Con los datos de peso y área total de las hojas se construyó una relación entre área total de las hojas y el peso fresco total (2017-2018: 3,89 m²/kg y 2018-2019: 3,87 m²/kg). El área foliar del resto de las repeticiones se estimó luego a través del peso fresco de sus hojas y utilizando la relación anteriormente mencionada. Luego, se estimó el área foliar por metro lineal de cordón utilizando la longitud del cordón desfoliado. Luego de la caída de las hojas, se registró la longitud de los brotes y el número de yemas en los brotes primarios y laterales en dos plantas por unidad experimental y se midió el peso de poda en dos plantas por unidad experimental durante el invierno.

2.3.3. Componentes del rendimiento, composición de las bayas e índice de equilibrio de la vid

La fecha de cosecha se determinó cuando la concentración promedio de sólidos solubles totales (SST, °Brix) monitoreada en tres plantas por tratamiento desde principios de marzo estuvo en el rango 23-24 °Brix. Se cosecharon dos plantas de las dos hileras centrales de cada unidad experimental (10 vides por tratamiento) el 20 y el 13 de marzo de 2018 y 2019, respectivamente. En la cosecha, se registró el rendimiento de ambas plantas y se expresó en kg de uva por metro de cordón. Luego, se obtuvo una muestra de aproximadamente 20 kg combinando racimos de ambas plantas por unidad experimental y se transportó al laboratorio para registrar el número y el peso del racimo. Cuarenta racimos de cada unidad experimental se colocaron en una mesa en el laboratorio. A continuación, se seleccionaron al azar dos muestras de 45 bayas, considerando la posición de la baya dentro de cada racimo (es decir, 15 bayas de la posición apical, 15 de la posición mediana y 15 de la posición basal). Se pesó cada baya de la muestra y se calculó el peso medio de la baya pesando las bayas individuales. Después, se estimó el número de bayas por racimo considerando el peso medio de las bayas y el peso del racimo (sin el raquis).

Cada muestra de 45 bayas se congeló a -20 °C para su posterior análisis. La primera muestra de bayas fue utilizada para determinar sólidos solubles totales (SST), pH y acidez titulable (AT). Para esto, las bayas se trajeron del freezer, se mantuvieron a temperatura ambiente hasta que alcanzaron los 20 °C, luego la humedad condensada sobre la superficie de las mismas se secó con papel absorbente y se prensaron manualmente. En el mosto obtenido se midieron los SST (°Brix) utilizando un refractómetro con compensación de temperatura (Atago-Co Ltd., Japón), y el pH se evaluó con un pHmetro digital (Denver Instrument UV-10) previamente calibrado. La AT se midió titulando con NaOH 0,1 N y se expresó como g/L de equivalentes de ácido tartárico. La segunda muestra de bayas fue utilizada para la determinación de compuestos fenólicos. Para la extracción de estos compuestos se tomaron 20 bayas de la muestra conservada a -20 °C, se pesaron y se procedió inmediatamente a la separación manual de los hollejos, siempre teniendo la precaución de secar mediante papel absorbente la humedad condensada sobre los hollejos. Luego, los hollejos fueron pesados y conservados en bolsas de aluminio a -20 °C hasta su procesamiento. A partir de la muestra de hollejos, se realizó la extracción de los compuestos fenólicos en frascos color caramelo empleando como solvente 40 mL de una solución de acetona al 70 % en agua ultrapura (Milli-Q). Los frascos se incubaron durante una noche (17-18 h) en agitador orbital (100-150 rpm, 15-20 °C). Transcurrido este tiempo, se separó la fracción líquida conteniendo los compuestos fenólicos, se centrifugó por 5

minutos a 4500 rpm, y el sobrenadante fue sometido a la concentración y eliminación de acetona empleando un evaporador rotatorio al vacío (BÜCHI R-100, Flawil, Suiza), a 35-40 °C. El extracto obtenido fue conservado a -20 °C hasta el momento del análisis. Los parámetros fenólicos globales en hollejos (fenoles, taninos y antocianinas totales), se determinaron por espectrofotometría UV-Visible siguiendo la metodología propuesta en estudios previos (Harbertson et al., 2002 y 2003; Heredia et al., 2006).

El número de racimos por brote se calculó en una planta por repetición utilizando el número total de racimos cosechados y el número de brotes contados antes de la poda en la misma planta. El índice de Ravaz (rendimiento/peso de poda) y la relación hoja/fruto (AF/P_{planta}) se estimaron como indicadores del equilibrio vegetativo-productivo.

2.4. Análisis estadístico

Se utilizó un análisis de varianza de dos vías para evaluar el efecto de los tratamientos, el número de años de podas sucesivas y las interacciones entre tratamientos y años de poda sucesiva sobre las variables de respuesta como los componentes del número y características de los brotes y los componentes de la producción. Gran parte de las variables fueron medidas una vez en cada una de las dos temporadas, y así el análisis estadístico utilizado (ANOVA) lo consideramos más apropiados que sobre otros análisis, como medidas repetidas en el tiempo. Las medias se analizaron utilizando la prueba LSD a un nivel de significancia de = 0,05. Todos los gráficos se prepararon con el software GraphPad Prism versión 5.01 (California, EE. UU.). Los análisis estadísticos se realizaron con el software INFOSTAT (UNC, Argentina).

3. RESULTADOS

3.1. Yemas remanentes después de la poda

En la primera temporada, los tratamientos generaron tres niveles contrastantes de número de yemas por metro de cordón: 18 yemas/m en PC1, entre 32 y 28 yemas/m en PC2 y PP (respectivamente), y 77 yemas/m en el tratamiento PC3 (Tabla 1). En las temporadas sucesivas, el tamaño de caja aplicado a cada tratamiento se mantuvo, pero el patrón de número de yemas cambió.

Los tratamientos de poda, el año de poda sucesiva y sus interacciones afectaron significativamente al número de yemas por planta y las características de los pitones después de la poda (Tabla 1). Esta interacción reflejó los cambios en el número de yemas y pitones por metro de cordón causados por la poda mecánica sucesiva en caja frente al patrón uniforme de poda

manual a lo largo del tiempo. En los tratamientos de poda mecánica, el número de yemas retenidas por metro fue el más bajo en PC1 (media de 35 yemas/m), intermedio en PC2 (55 yemas/m) y el más alto en PC3 (82 yemas/m), promediado durante los tres años. Sin embargo, tanto PC1 como PC2 exhibieron un aumento significativo en el número de yemas del primero al tercer año de poda, en contraste con PC3, donde el número de yemas se mantuvo sin cambios en los últimos dos años de poda sucesiva. El tratamiento PP mostró un promedio de 32 yemas/m durante los tres años. Al inicio del experimento, el tratamiento PP presentó un número de yemas similar al PC2, mientras que en el segundo año presentó un número de yemas similar al PC1 y fue inferior a todos los tratamientos de poda mecánica en caja en el tercer año de poda.

En los tratamientos mecánicos, el número de pitones por metro aumentó significativamente del primer al tercer año de poda. En la primera temporada, los tratamientos PC1 y PC2 presentaron un menor número de pitones por metro (18) que el tratamiento PC3 (29). Tras la tercera poda, el número de pitones no fue diferente entre las intensidades de poda mecánica en caja. Durante las tres temporadas de poda, el PP mantuvo un promedio de 18 pitones/m, que fue significativamente menor que los tratamientos de poda mecánica en la segunda y tercera poda.

Tabla 1. Número de yemas y pitones, yemas por pitón y longitud del pitón en plantas de Cabernet Sauvignon podadas mecánicamente en caja a 1 cm de altura x 7 cm de ancho (PC1), a 14 cm x 14 cm (PC2), a 21 cm x 21 cm (PC3), y podadas manualmente de pitón (PP) durante tres años (1º año: 2017, 2º año: 2018 y 3º año: 2019) en Rivadavia, Mendoza. Se muestra primero la influencia de las interacciones tratamientos de poda x años de aplicación, y luego los efectos simples.

Fuente de variación		Yemas	Pitones	Yemas/pitón	Largo de pitón
Año	Poda	(#/m)	(#/m)	(#)	(cm)
1º año	PP	28 ab	16 a	1,76 c	5,72 bc
	PC1	18 a	18 a	0,95 a	3,01 a
	PC2	32 b	19 a	1,71 c	6,33 c
	PC3	72 de	29 b	2,53 f	11,52 e
2º año	PP	33 b	19 a	1,81 cd	5,76 bc
	PC1	38 b	32 b	1,20 b	3,26 a
	PC2	62 d	34 bc	1,83 cd	6,52 c
	PC3	87 f	38 cd	2,27 e	8,93 d
3º año	PP	35 b	18 a	2,02 d	4,89 b
	PC1	49 c	41 de	1,20 b	2,91 a
	PC2	73 e	41 de	1,76 c	5,11 b
	PC3	86 f	44 e	1,92 cd	6,46 c
Poda (P)		32	18	1,86	5,46
	PC1	35	30	1,12	3,06
	PC2	55	31	1,77	5,99
	PC3	82	37	2,24	8,97
Año (A)		1º año	20	1,74	6,64
		2º año	31	1,78	6,12
		3º año	36	1,73	4,84
P x A		p-valor	<0,0001	0,0001	<0,0001
P		p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001
A		p-valor	<0,0001	<0,0001	0,6581
					<0,0001

Los valores (n=5) seguido de la misma letra no son significativamente diferentes dentro de cada efecto P, A y P x A, según la prueba LSD con $p \leq 0,05$. Las letras solo se presentan cuando el ANOVA indica un efecto significativo. Cuando la interacción Poda x Año es significativa no se muestran las letras para diferencias en los efectos simples.

La poda, el año de poda sucesiva y sus interacciones tuvieron efectos sobre la longitud de los pitones. Mientras que la poda y la interacción entre poda y año afectaron el número de yemas por pitón. En promedio, durante las tres temporadas de poda, PC1 presentó los pitones más cortos (3,1 cm) con el menor número de yemas por pitón (1,12 yemas/pitón), que fue

significativamente menor que PC3, que presentó los pitones más largos (9,0 cm) y el mayor número de yemas por pitón (2,2). El número de yemas por pitón varió entre las temporadas para cada uno de los tres tratamientos de poda mecánica. Las yemas por pitón aumentaron de la primera a la tercera poda en PC1, se mantuvieron estables en PC2 y disminuyeron hacia la tercera poda en PC3. En PP, la longitud de los pitones fue similar entre las podas, pero el número de yemas por pitón varió de 1,8 a 2,0. Los tratamientos PP y PC2 mostraron una longitud de pitón y un número de yemas similares, excepto en la tercera poda, cuando PC2 presentó un menor número de yemas por pitón que PP.

3.2. Brotación y desarrollo de brotes

El porcentaje de pitones según la cantidad de yemas remanentes luego de la poda se muestran en la Figura 3, paneles de la derecha. En la primera poda, PC1 presentó una proporción similar de pitones con solo yemas basales y pitones con una yema franca (Fig. 3a). En la segunda poda, el porcentaje de pitones con una yema aumentó del 54 % al 66 %, mientras que el resto fueron pitones con una yema basal y dos yemas (Fig. 3b). En la primera poda, PC2 mostró proporciones similares de pitones con solo yemas basales y uno o dos yemas (Fig. 3c). Para la segunda poda, PC2 aumentó la proporción de pitones con una yema del 32 % al 42 %. Los pitones con yemas basales disminuyeron hasta el 9 %, en contraste con los pitones con dos y tres yemas, que aumentaron hasta el 37 % y el 10 %, respectivamente (Fig. 3d). PC3 presentó una mayor proporción de pitones con una y dos yemas en la primera poda (31 % para ambos) y una menor proporción de pitones con yemas basales (5 %), tres (21 %) y cuatro yemas (11 %) (Fig. 3e). En la segunda poda, los pitones con una yema de PC3 aumentaron del 31 % al 50 %, los pitones sólo con yema basal no cambiaron y los pitones con dos, tres y cuatro yemas disminuyeron ligeramente sus porcentajes en comparación con la temporada anterior (Fig. 3f). PP mostró una distribución similar en ambas podas, con un bajo porcentaje de pitones que tuvieron solo la yema basal (12 % en ambas podas) y mayoritariamente pitones con una o dos yemas (aproximadamente 43 % cada uno) (Fig. 3g, h).

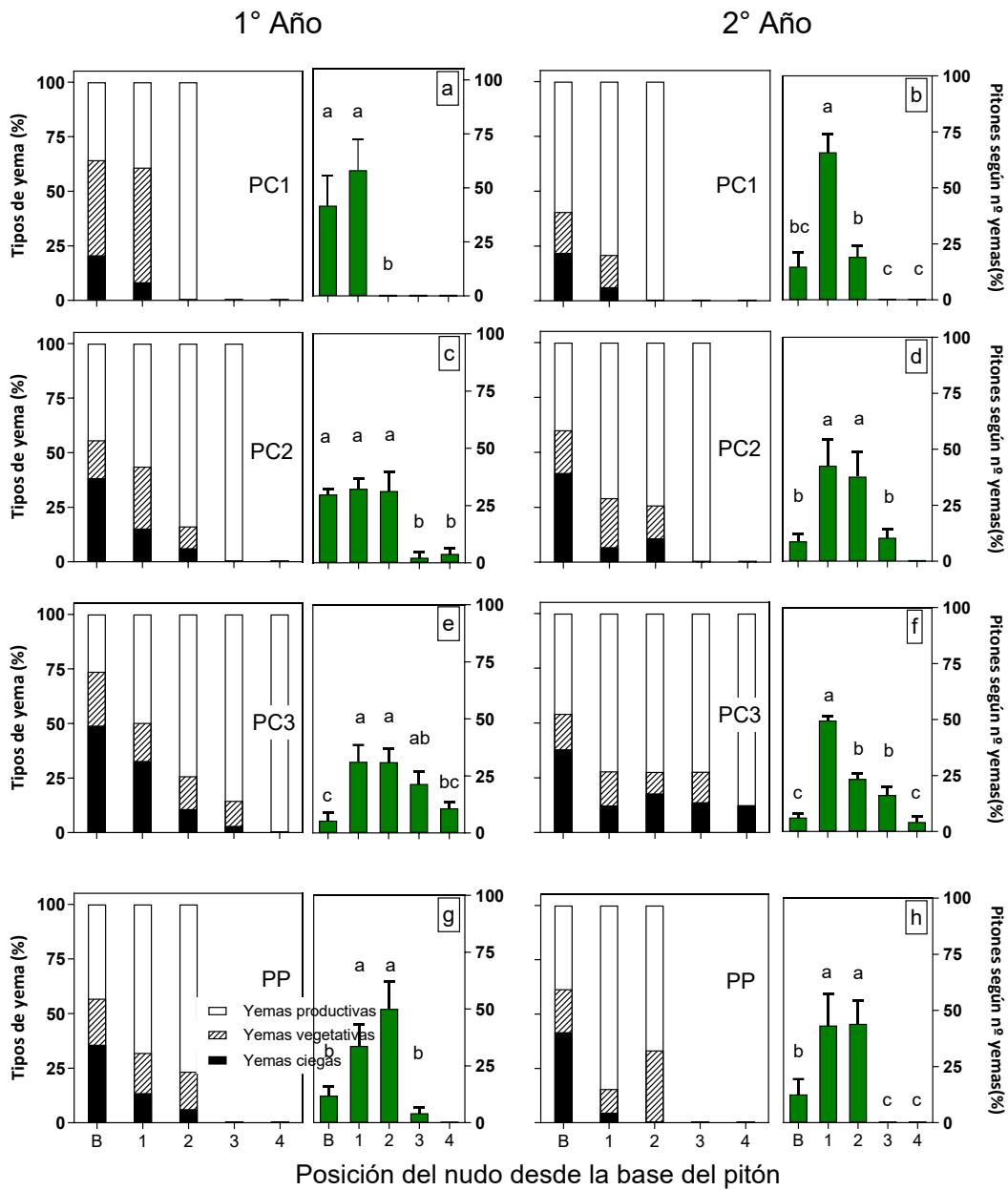


Figura 3. Paneles izquierdos dentro de cada año de poda (1° año: 2017-2018 y 2° año: 2018-2019) Porcentaje de yemas ciegas, productivas y vegetativas en cada posición nodal desde la base de los pitones en plantas de Cabernet Sauvignon podadas mecánicamente en caja a 1 cm de altura x 7 cm de ancho (PC1, a y b), a 14 cm x 14 cm (PC2, c y d), a 21 cm x 21 cm (PC3, e y f), y podadas manualmente de pitones (PP, g y h). Paneles derechos dentro de cada año de poda: Porcentaje de pitones con solo yemas basales y con 1, 2, 3 y 4 nudos. Datos agrupados de cinco unidades experimentales de una planta. Letras distintas en cada valor ($n = 6$) paneles derechos indican diferencias significativas según la prueba LSD y $p \leq 0,05$.

El desarrollo de las yemas según su posición dentro del pitón fue clasificado como: sin desarrollo de brotes (yemas ciegas), con desarrollo de brotes con al menos un racimo (yemas productivas) o con desarrollo de brote sin racimo (yemas vegetativas) (Fig. 3). Hubo una marcada disminución en el porcentaje de yemas ciegas desde la base hasta las posiciones de nudo distal

en todos los tratamientos de poda en ambos años de poda (Fig. 3, paneles izquierdos). Además, la proporción de yemas ciegas aumentó con la longitud del pitón y el número de yemas por pitón. En PC1, el 20 % de las yemas de la posición basal no brotaron, descendiendo al 7 % en la posición uno. Las yemas productivas en la posición basal aumentaron del 36 % al 60 % de la primera a la segunda poda. De manera similar, en la posición uno se observó un 40 % y un 80 % de yemas productivas en la primera y segunda poda, respectivamente. En PC2, que mostró patrones similares de desarrollo de yemas en ambos años de poda, la proporción de yemas ciegas en la posición basal fue del 40 % (promedios para la primera y segunda poda), disminuyendo al 10 % en las posiciones de la primera y segunda yema. En los dos años de poda, la proporción de yemas productivas aumentó del 40 % en la posición basal al 63 %, 79 % y 100 % en las posiciones de la primera, segunda y tercera yema, respectivamente. En PC3, la proporción de yemas en la posición basal que no brotaron fue del 43 % (promedios para primer y segundo año de poda). La proporción de yemas que permanecieron ciegas en las posiciones de la primera, segunda y tercera yema fue del 33 %, 11 % y 3 % para el primer año de poda, y del 12 % en promedio desde la primera hasta la cuarta yema para el segundo año. La proporción de yemas productivas y vegetativas en PC3 cambió con el número de años de poda. En el primer año, las posiciones basales mostraron una proporción similar (25 %) de yemas vegetativas y productivas, pero en el segundo año, las yemas productivas aumentaron hasta un 46 %, mientras que el 16 % fueron vegetativas. La mayoría (70 %) de las yemas desde las posiciones de la primera a la cuarta posición en este tratamiento fueron productivas. Finalmente, en PP, el 39 % de las yemas en posición basal fueron ciegas, mientras que el 70 % de las yemas provenientes de la primera y segunda posición fueron productivas.

Se analizó el número de brotes con uva por metro de cordón en relación con la ubicación de la yema en la madera vieja, en la base del pitón o en una yema franca de pitón (Fig. 4). En el primer año de poda, el número de brotes con uva provenientes de yemas franca de pitón aumentó significativamente con el tamaño de la caja, desde tres brotes con uva por metro en PC1 hasta 10 brotes en PC2 y 25 brotes con uva en PC3. De manera similar a PC2, el tratamiento PP produjo 13 brotes con uva de yemas francas. En todos los tratamientos, los brotes más fértiles se desarrollaron a partir de yemas del pitón, mientras que los desarrollados a partir de madera vieja y yemas basales fueron menos fértiles. Del total de brotes con uva contabilizados dentro de cada tratamiento, los brotes con uva de yemas de base y madera vieja representaron el 74 %, 47 %, 23 % y 35 % de la población en PC1, PC2, PC3 y PP, respectivamente. En el segundo año, el número de brotes con uva desarrollados a partir de los pitones se vio afectado de manera significativa por los tratamientos de poda. Los brotes con uva a partir de yemas francas

aumentaron considerablemente en PC1 (17 brotes/m) y PC2 (22 brotes/m), reduciendo la diferencia con PC3 (24 brotes/m) que se había observado en la primera poda. El tratamiento PP presentó 14 brotes con uva/m, lo que fue significativamente menor que los de PC2 y PC3. Durante el segundo año de poda, los brotes con uva desarrollados a partir de yemas basales y de madera vieja fueron similares entre los tratamientos y representaron el 45 % en PC1 y alrededor del 30 % en PC2 y PC3.

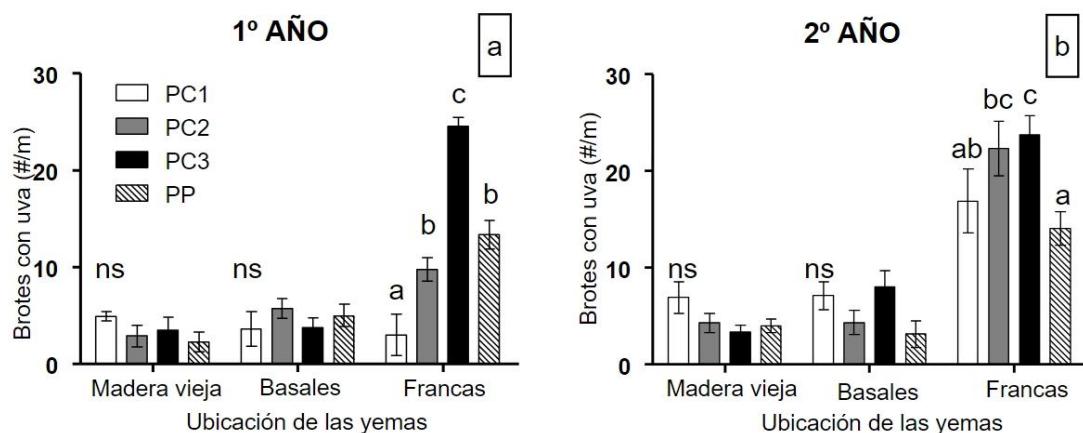


Figura 4. En el 1º año: 2017-2018 (a) y 2º año: 2018-2019 (b) de poda, número de brotes con uva en relación con la ubicación de la yema dentro de los pitones en plantas de Cabernet Sauvignon podadas mecánicamente en caja a 1 cm de altura x 7 cm de ancho (PC1), a 14 cm x 14 cm (PC2), a 21 cm x 21 cm (PC3), y podadas manualmente de pitón (PP). Los valores con la misma letra no son significativamente diferentes dentro de cada año, según la prueba LSD con $p \leq 0,05$. Ns indica diferencia no significativa. Datos agrupados de cinco unidades experimentales de una planta.

3.3. Crecimiento vegetativo

Las variables asociadas al crecimiento vegetativo se vieron afectadas por los tratamientos de poda y el año de poda sucesiva. Mientras que el porcentaje de brotación, la longitud de los entrenudos y el número de nudos por brote mostraron una interacción significativa entre la intensidad de poda y el año. La excepción fue el número de brotes, que no se vio afectado por la intensidad de poda ni el año (Tabla 2).

El porcentaje de brotación mostró un patrón general decreciente a medida que aumentaba el tamaño de la caja. Dentro de los tratamientos, el porcentaje de brotación se vio afectado de manera diferente por el año de poda. En PC1 y PC2, el porcentaje de brotación disminuyó del primero al segundo año de poda, pero en PC3, la brotación no fue diferente entre ambas podas. De manera similar, PP mostró una brotación similar en ambos años de poda (promedio del 133 %), lo que explicó en parte la interacción observada entre intensidad de poda y el año. La marcada diferencia en la brotación compensó la cantidad de yemas retenidas en la poda, de modo que el número de brotes fue similar en los diferentes tratamientos.

Respecto al crecimiento de los brotes, PC1 y PP mostraron brotes más largos con entrenudos más largos que los tratamientos PC2 y PC3, sin diferencias entre ellos. Además, los brotes de los tratamientos PC1, PC2 y PP mostraron un mayor número de yemas que los brotes de PC3 durante el primer año de poda, sin diferencias entre tratamientos en el segundo año. El peso de poda fue mayor en los tratamientos PP y PC1 (1,17 kg/m) que en PC2 y PC3 (0,90 kg/m), mientras que el área foliar total no se vio afectada significativamente por el tratamiento de poda. En el segundo año, los brotes presentaron un mayor crecimiento, con más yemas y entrenudos más largos que en la primera poda. Como resultado, las yemas totales por metro, el área foliar y el peso de poda aumentaron en el último año de poda.

Tabla 2. Desarrollo vegetativo en plantas de Cabernet Sauvignon podadas mecánicamente en caja a 1 cm de alto x 7 cm de ancho (PC1), a 14 cm x 14 cm (PC2), a 21 cm x 21 cm (PC3) y podadas manualmente en pitones (PP) durante dos años de poda sucesivas (1º año: 2017-2018 y 2º año: 2018-2019) en Rivadavia, Mendoza. Se muestra primero la influencia de las interacciones tratamientos de poda x años de aplicación, y luego los efectos simples.

Fuente de variación		Brotación	Sarmientos	Largo Sarmientos	Largo entrenudo	Nudos por sarmiento	Área foliar	Peso poda
Año	Podación	(%)	(#/m)	(cm)	(cm)	(#)	(m ² /m)	(kg/m)
1º año	PP	145 c	41	97,8	5,3 a	18,1 c	7,02	1,36
	PC1	218 d	37	92,8	5,4 a	17,0 c	5,28	1,27
	PC2	127 bc	40	83,3	5,2 a	16,1 c	5,28	1,14
	PC3	60 a	42	66,8	5,4 a	12,1 b	5,21	0,89
2º año	PP	122 bc	41	65,4	6,8 b	9,7 a	4,71	0,97
	PC1	111 b	41	63,6	6,6 b	9,8 a	4,19	1,10
	PC2	72 a	44	53,2	5,2 a	10,3 ab	3,55	0,83
	PC3	50 a	44	52,1	4,9 a	10,4 ab	3,59	0,77
Podación (P)	PP	133	41	81,6 b	6,1	13,9	5,86	1,17 b
	PC1	164	39	78,2 b	6,0	13,4	4,73	1,18 b
	PC2	99	42	68,3 a	5,2	13,2	4,41	0,98 a
	PC3	55	43	59,4 a	5,2	11,3	4,40	0,83 a
Año (A)	1º año	137	40	85,2 b	5,3	15,8	5,7 b	1,17 b
	2º año	89	42	58,6 a	5,9	10,0	4,0 a	0,92 a
P x A	p-valor	0,0001	0,6142	0,2170	0,0190	0,0016	0,8284	0,4240
P	p-valor	<0,0001	0,3271	<0,0001	0,0128	0,0141	0,1022	0,0013
A	p-valor	<0,0001	0,0663	0,0001	0,0289	<0,0001	0,0010	0,0005

Los valores (n=5) con la misma letra no son significativamente diferentes dentro de cada efecto: P, A y P x A, según la prueba LSD con p≤0,05. Las letras solo se presentan cuando el ANOVA indica un efecto significativo. Cuando la interacción Poda x Año es significativa no se muestran las letras para diferencias en efectos simples

3.4. Componentes del rendimiento y equilibrio

Los tratamientos de poda, el año de poda sucesiva y sus interacciones afectaron significativamente la producción, el número de racimos y el peso de los racimos (Tabla 3). La interacción reflejó la marcada influencia del tratamiento de poda durante el primer año de aplicación, pero no durante el segundo año. En contraste, el peso de las bayas y los racimos por brote se vieron afectados por el tratamiento de poda y el año de poda, sin que la interacción poda x año fuera significativa.

Durante el primer año de poda, la producción fue significativamente mayor en PC3 (5,97 kg/m), seguido de PC2 (3,43 kg/m), PP (2,93 kg/m), mientras que PC1 (1,57 kg/m) presentó el rendimiento más bajo (Tabla 3). El número de racimos aumentó con el tamaño de la caja y fue el componente del rendimiento que más influyó en las respuestas de la producción a los tratamientos de poda en el primer año de aplicación. En contraste, el peso del racimo no fue diferente entre los tratamientos. El tratamiento manual PP presentó una producción similar (2,93 kg/m) al PC1 y PC2, pero fue menor que PC3. Durante el segundo año, el rendimiento no se vio afectado por la intensidad de la poda mecánica en caja y todos los tratamientos de poda mecánica fueron un 26 % más productivos que el tratamiento manual PP. Al igual que en el primer año, el número de racimos aumentó con el tamaño de la caja, pero el peso del racimo disminuyó. Por lo tanto, tomando el promedio de los dos años de poda, PC3 fue el más productivo y PC1 y PP los menos productivos. Respecto al peso de la baya, las mismas fueron más pesadas en PC1 (1,34 g) respecto a PC3 (1,21 g), el resto de los tratamientos mostró pesos de bayas intermedios. En adición, los racimos por brote sólo fueron mayores en PC3 (2,13 racimos/brote). Tanto el peso de la baya como los racimos por brote fueron mayores en el segundo año de poda.

El balance entre crecimiento productivo y vegetativo se evaluó a través de la relación producción/peso de poda (es decir, índice de Ravaz) y de la relación área foliar/producción (AF/P_{planta}; Tabla 3). Nuestros resultados mostraron que ambos índices respondieron a la poda y al año, pero la interacción sólo fue significativa para la relación AF/P_{planta}. El índice de Ravaz aumentó de 4 en PC1 a 11 en PC3, mientras que fue de 5 en plantas que se podaron manualmente (PP), sin diferencias significativas entre PC1 y PC2.

En el primer año de poda, la relación AF/P_{planta} fue mayor en PC1 (3,62 m²/kg) que en PP (2,37 m²/kg), PC2 (1,79 m²/kg) y PC3 (1,00 m²/kg), sin diferencias significativas entre los últimos tres tratamientos mencionados. En el segundo año de poda, la relación AF/P_{planta} no se vio afectada de forma significativa por los tratamientos de poda estudiados.

Tabla 3. Componentes del rendimiento en plantas de Cabernet Sauvignon podadas mecánicamente en caja a 1 cm x 7 cm (PC1), a 14 cm x 14 cm (PC2), a 21 cm x 21 cm (PC3), y podadas manualmente de pitón (PP) durante dos años de poda sucesivas (1º año: 2017-2018 y 2º año: 2018-2019) en Rivadavia, Mendoza. Se muestra primero la influencia de las interacciones tratamientos de poda x años de aplicación, y luego los efectos simples.

Fuente de variación		Producción	Racimos	Peso racimos	Bayas/racimo	Peso baya	Racimos/brote	Índice Ravaz	AF/P _{planta}
Año	Podación	(kg/m)	(#/m)	(g)	(#)	(g)	(#)		(m ² /kg)
1º año	PP	2,93 ab	33,19 ab	85,28 bc	68,03	1,21	0,87	2,49	2,37 c
	PC1	1,57 a	20,89 a	70,87 a	57,81	1,24	0,63	1,74	3,62 d
	PC2	3,43 b	41,45 b	77,65 ab	61,42	1,27	0,92	2,68	1,79 bc
	PC3	5,97 c	75,21 c	77,40 ab	64,92	1,21	1,59	7,35	1,00 ab
2º año	PP	6,15 c	66,48 c	88,47 bc	67,81	1,31	1,65	8,09	0,77 ab
	PC1	7,88 d	75,35 c	97,41 c	67,88	1,44	1,81	6,86	0,54 a
	PC2	8,55 d	97,48 d	85,72 bc	67,26	1,28	2,17	11,35	0,41 a
	PC3	8,52 d	106,88 d	77,94 ab	64,72	1,21	2,66	14,51	0,42 a
Podación (P)	PP	4,54	49,83	86,88	67,91	1,27 ab	1,26 a	5,29 a	1,57
	PC1	4,72	48,12	84,14	62,84	1,34 b	1,22 a	4,30 a	2,08
	PC2	5,99	69,47	81,68	64,34	1,28 ab	1,55 a	7,02 a	1,10
	PC3	7,24	91,05	77,67	64,82	1,21 a	2,13 b	10,93 b	0,71
Año (A)	1º año	3,48	42,69	77,80	62,78	1,23 a	1,00 a	3,57 a	2,20
	2º año	7,77	86,54	87,38	66,92	1,31 b	2,07 b	10,20 b	0,53
P x A	p-valor	0,0077	0,0498	0,0334	0,3699	0,1216	0,5413	0,5578	0,0155
P	p-valor	0,0001	<0,0001	0,2405	0,5428	0,0496	<0,0001	0,0002	0,0050
A	p-valor	<0,0001	<0,0001	0,0058	0,1136	0,0260	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Los valores (n=5) con la misma letra no son significativamente diferentes dentro de cada P, A y P x A, según la prueba LSD con p≤0,05. Las letras solo se presentan cuando el ANOVA indica un efecto significativo. Cuando la interacción Poda x Año es significativa no se muestran las letras para diferencias en efectos simples.

3.5. Composición de las bayas

Los SST y la AT del mosto en la cosecha no fueron afectados por el tratamiento de poda y el número de años de poda, y presentaron valores similares en ambas temporadas. En cambio, el pH respondió a la poda, al año y a su interacción (Tabla 4). Por otro lado, los fenoles, antocianos y taninos totales no fueron afectados por los tratamientos de poda, pero sí por el año de poda. En el primer año de poda, el pH fue similar para todos los tratamientos, pero fue mayor en comparación con el segundo año de poda, en la que PP presentó un pH más alto que PC2 y PC3. PC1 mostró un valor intermedio sin diferencias con el resto de los tratamientos. Tanto los fenoles, antocianos y taninos totales, resultaron ser significativamente mayores en el segundo que en el primer año de poda.

Tabla 4. Concentración de sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), pH, fenoles, taninos y antocianos totales en bayas de plantas de Cabernet Sauvignon podadas mecánicamente en caja a 1 cm de altura x 7 cm de ancho (PC1), a 14 cm x 14 cm (PC2), a 21 cm x 21 cm (PC3), y podadas manualmente de pitón (PP) durante dos años de poda sucesivas (1º año: 2017-2018 y 2º año: 2018-2019) en Rivadavia, Mendoza. Se muestra primero la influencia de las interacciones tratamientos de poda x años de aplicación, y luego los efectos simples.

Fuente de Variación		SST	AT	pH	Fenoles totales	Taninos totales	Antocianos totales
Año	Poda	(°Brix)	(g/L)		(mg/g baya)	(mg/g baya)	(mg/g baya)
1º año	PP	23,8	4,73	4,13 c	0,21	0,12	0,03
	PC1	23,6	5,13	4,07 c	0,20	0,13	0,03
	PC2	23,6	4,61	4,11 c	0,23	0,12	0,03
	PC3	23,9	4,80	4,09 c	0,19	0,11	0,04
2º año	PP	24,4	4,75	3,94 b	0,24	0,17	0,07
	PC1	24,6	4,83	3,93 b	0,27	0,21	0,06
	PC2	23,6	4,63	3,85 a	0,26	0,20	0,09
	PC3	23,4	5,00	3,85 a	0,28	0,25	0,08
Poda (P)	PP	24,1	4,74	4,03	0,22	0,15	0,05
	PC1	24,1	4,98	4,00	0,24	0,17	0,05
	PC2	23,6	4,62	3,98	0,24	0,16	0,06
	PC3	23,7	4,90	3,97	0,24	0,18	0,06
Año (A)	1º año	23,7	4,82	4,10	0,21 a	0,12 a	0,03 a
	2º año	24,0	4,80	3,89	0,26 b	0,21 b	0,07 b
P x A	p-valor	0,0709	0,4995	0,0412	0,3678	0,5651	0,4616
P	p-valor	0,1752	0,1487	0,0383	0,7786	0,6289	0,407
A	p-valor	0,2000	0,9030	<0,0001	0,0031	0,0002	<0,0001

Los valores (n=5) con la misma letra no son significativamente diferentes dentro de cada P, A y P x A, según la prueba LSD con $p \leq 0,05$. Las letras solo se presentan cuando el ANOVA indica un efecto significativo. Cuando la interacción Poda x Año es significativa no se muestran las letras para diferencias en efectos simples.

4. DISCUSIÓN

En este estudio evaluamos tres intensidades de poda mecánica y un tratamiento de poda manual durante tres años de podas consecutivas, incluyendo sólo la producción de los dos primeros años. La no selectividad de la poda mecánica provocó un aumento en el número de pitones por metro lineal de cordón, lo que condujo a un aumento en las yemas remanentes, el número de racimos y la producción en comparación con la poda manual. Sin embargo, la producción no estuvo directamente relacionada con la intensidad de la poda mecánica debido a mecanismos de compensación de la brotación y de algunos componentes del rendimiento.

4.1. La poda mecánica aumenta la producción cuando se aplica en años sucesivos en comparación con la poda manual en pitones

Para comparar el efecto de la poda mecánica con el de la poda manual, mantuvimos el mismo número de yemas por planta en PC2 y PP al comienzo del experimento. El número de yemas por pitón y la longitud del pitón también fueron comparables entre PC2 y PP durante el primer año de poda. Como se esperaba, la poda manual se ajustó para mantener el mismo número de yemas por metro durante todos los años, mientras que, en los tratamientos de poda mecánica, la altura de corte se mantuvo y se repitió en los años sucesivos. En consecuencia, el número de yemas por metro aumentó de forma consistente a medida que la poda mecánica se repetía con mismo tamaño de caja (Tabla 1). Además, la poda mecánica se caracteriza por no seleccionar el material de corte, lo que provoca un aumento del 79 % en el número de pitones y del 88 % en las yemas retenidas durante el segundo año de poda en comparación con la poda manual.

El mayor número de yemas y de pitones por metro en PC2 que en PP en el segundo año de poda condujo a una disminución de la brotación y, como consecuencia, el número de brotes fue similar entre ambos tratamientos (Tabla 2). Este mecanismo de compensación también ha sido indicado por otros autores en varios cultivares de vid al comparar sistemas de conducción manual con sistemas de conducción de brotes libres (Poni et al., 2004; Greven et al., 2014). Mientras que el porcentaje de brotación compensó las diferencias iniciales en el número de yemas y pitones, el número de brotes con uva, racimo por brote y producción no fueron significativamente diferentes entre PC2 y PP en el primer año de poda, pero en el segundo año de poda mecanizada aumentó un 47 %, 32 % y 39 % el número de brotes con uva, racimo por brote y producción, respectivamente, en comparación con la poda manual (Fig. 4). La mayor producción en PC2 se relacionó con un aumento en la proporción de pitones con una, dos y tres

yemas con mayor fertilidad que las yemas basales. Estudios previos también han demostrado un aumento similar en la producción (entre un 31 % y un 41 % más) con poda mecánica en comparación con poda manual, relacionado con un mayor número de racimos por planta (Martínez de Toda y Sancha, 1999; Peppi et al., 2017). De manera similar, en un estudio a largo plazo, las plantas podadas mecánicamente también mostraron un aumento del 30 % en la producción durante los primeros ocho años de implementación, en comparación con las vides podadas manualmente (Geller y Kurtural, 2013).

El mayor número de yemas por metro y la mayor producción de la poda mecanizada dieron como resultado un menor crecimiento vegetativo que las vides podadas manualmente. En promedio, las vides PC2 presentaron brotes más cortos con menos yemas y menor peso de poda por metro en comparación con el tratamiento de poda manual (Tabla 3), como también observaron Martínez de Toda y Sancha (1999) y Kurtural et al. (2013). La comparación del índice de equilibrio entre la poda mecánica y manual es limitada porque la canopia fue conducida de manera diferente (es decir, canopia libre en PC2 y VSP con brotes posicionados verticalmente en PP). Kliewer y Dokoozlian (2005) proponen para viñedos conducidos en VSP valores óptimos de AF/P_{planta} entre 0,8 - 1,2 m^2/kg mientras que para el índice Ravaz, los valores óptimos están entre 4 y 10. En el primer año de poda, los valores de AF/P_{planta} y IR fueron 2,4 m^2/kg y 2,5 respectivamente para plantas PP, lo que indica un vigor vegetativo excesivo para AF/P_{planta} y el IR (Tabla 3). En el segundo año, sin embargo, el valor de RI estuvo dentro del rango considerado óptimo, mientras que el valor de AF/P_{planta} estuvo cerca del límite inferior, y podría considerarse entre vides equilibradas y con sobreproducción. PC2 mostró balances de índices similares a PP durante el primer año, pero en el segundo año de poda, AF/P_{planta} fue bajo (0,40 m^2/kg) indicando un exceso de rendimiento en comparación con el crecimiento vegetativo. Este valor es similar al reportado por Ahumada et al. (2020) en un experimento reciente realizado en un viñedo cv. Malbec manejado con poda en caja y canopia libre. Los autores mostraron un valor de AF/P_{planta} de 0,52 m^2/kg cuando los sarmientos no fueron podados durante la primavera, generando vinos de alta calidad. En nuestro estudio, ambos tratamientos disminuyeron drásticamente el AF/P_{planta} en el segundo año de poda, incrementando algunos compuestos relacionados a la calidad de los vinos como fueron fenoles, antocianos y taninos totales. Esto ocurrió sin observarse diferencias significativa entre años de poda en SST y AT. Cabe destacar que en el segundo año la producción de poda mecánica fue superior a poda manual, y aun así no generó diferencias en la composición de las bayas entre ambos tratamientos para ese año. Estos resultados revelan que aún se necesita más información para determinar balances de

índices óptimos en sistemas de conducción de viñedos adaptados a la mecanización de la poda y la cosecha.

4.2. Los componentes de rendimiento se compensan cuando se aplican diferentes tamaños de poda en caja de manera sucesiva

En el primer año de poda, el tratamiento con el tamaño de caja de poda más pequeño (PC1) retuvo menos yemas que el tratamiento con el tamaño de caja de poda más grande (PC3). Sin embargo, la diferencia en la carga de yemas disminuyó a medida que avanzaron los años de poda sucesiva (Tabla 1). El número de yemas retenidas en PC1 aumentó en el segundo año 111 % con respecto al primer año y 29 % en el tercer año de poda con respecto al segundo. En contraste, el número de yemas retenidas en PC3 aumentó solo 21 % en el segundo año y se mantuvo similar después del tercer año. De manera similar, Gatti et al. (2011) encontraron que en vides podadas mecánicamente utilizando un tamaño de caja pequeño, el número de yemas retenidas aumentó progresivamente durante los primeros dos años de podas sucesivas. Sin embargo, se observa un equilibrio en el número de yemas retenidas con podas sucesivas a largo plazo, como se observó después de ocho años de evaluación en un sistema de conducción de (GDC) Doble Cortina de Ginebra (Morris et al., 2010).

Incluso, manteniendo el mismo tamaño de caja de poda en las mismas plantas a lo largo del tiempo, los componentes que determinan el número de yemas por metro de cordón (es decir, el número de pitones y el número de yemas por pitón) cambió. Después del primer año de poda, el número de pitones aumentó proporcionalmente al incremento del tamaño de la caja de poda, mientras que después del segundo año de poda y, más notablemente en el tercero, el número de pitones fue similar en todos los tratamientos (Tabla 1). Esto se explica por el hecho de que el número de pitones estuvo estrechamente relacionado con el número de brotes desarrollados, que también fue similar en todos los tratamientos durante el segundo año de poda. Con respecto al número de yemas por pitón, inicialmente el tamaño de caja de poda más grande (PC3) presentó pitones más largos con un mayor número de yemas que PC1, pero a partir del segundo año de poda, fueron similares, ya que la longitud del pitón y el número de yemas por pitón disminuyeron en PC3. Por el contrario, en PC1, el número de yemas por pitón aumentó a partir del segundo año, después de lo cual se mantuvo estable. En el tratamiento PC3, la disminución de la longitud de los pitones a partir del segundo año se debió a que la brotación se produjo principalmente en yemas ubicadas en las posiciones distales, más cerca de la altura de corte, lo que se mantuvo durante podas sucesivas (Fig. 3). Este hallazgo está respaldado por Poni et al. (2004), quienes podaron mecánicamente vides a 10 cm de altura del cordón, observando

una menor brotación de yemas basales en comparación con vides podadas mecánicamente lo más cerca posible del cordón. En la misma línea, Peppi et al. (2017) observaron que el número de yemas por pitón disminuyó en la poda en caja grande a 25 cm de altura del cordón, mientras que las yemas por pitón no se vieron afectadas en la poda en caja pequeña a 12 cm de altura del cordón. El hecho de que, en una poda mecánica de caja grande, las yemas por pitón disminuyan durante los primeros años de aplicación, pero que se estabilice durante podas sucesivas, significa que la intensidad de la poda mecanizada tendrá menos influencia en la carga de yemas por planta a lo largo de los años.

La brotación disminuyó cuando aumentó el número de yemas retenidas después de la poda. Este efecto de compensación, descrito previamente en la vid por muchos otros autores (por ej., Poni et al., 2004; Peppi et al., 2017), se ha denominado mecanismo de brotación fisiológicamente autorregulada (Keller et al., 2004; Intrieri et al., 2011). Estos resultados respaldan la hipótesis de que la brotación está influenciada por la competencia de asimilados entre yemas (Wang et al., 2020) y que la brotación está fuertemente influida por la disponibilidad de carbohidratos para las yemas durante el período de brotación (Elwafa y Thoraua, 2018). Además, el movimiento de auxinas desde el extremo distal hacia el proximal de los pitones, produciría la inhibición de la brotación de las yemas basales (McCloughlin et al., 2011). De esta manera, el tamaño de la poda en caja y su influencia en la carga de yemas se ven en gran medida compensados por un mecanismo de autorregulación a través del porcentaje de brotación, que finalmente controla la producción a través del número de brotes desarrollados (Poni et al., 2004).

El vigor de la planta, expresado como peso de poda y longitud de brote, se vio afectado por la intensidad de la poda mecanizada en caja. La poda en caja más pequeña mostró un mayor vigor vegetativo que la poda en caja más grande (Tabla 2). Estas diferencias entre PC1 y PC3 se relacionaron principalmente con el número de racimos y la producción. De manera similar, en estudios previos, el aumento de la intensidad de la poda dio lugar a un mayor crecimiento vegetativo, relacionado con un menor número de yemas retenidas y una menor competencia con los sumideros reproductivos (Martínez de Toda y Sancha, 1999; Greven et al., 2014).

Nuestro análisis previo, que se centró en el desarrollo de brotes y sus características en relación con las yemas retenidas después de la poda mecánica, permite explicar los resultados observados en cuanto a la producción (Tabla 3). El tratamiento PC3, que presentó al inicio los pitones más largos, tuvo un mayor número de brotes con uva que PC2 y PC1. Sin embargo, estos brotes con uva solo fueron mayores que PC1 en el segundo año (Fig. 4). En consecuencia,

McLoughlin et al. (2011) observaron que la longitud del pitón afectó al número de brotes con uva y propusieron que las posiciones dentro del pitón más distal presentan mayor fertilidad que las posiciones basales. Cabe destacar que las respuestas observadas pueden diferir entre cultivares, ya que la fertilidad de las yemas es un rasgo fuertemente influenciado por el genotipo (Sánchez y Dokoozlian, 2005). A pesar de que en el segundo año de poda PC3 mostró un 42 % más de racimos que el PC1, esto no se relacionó con un aumento significativo de la producción, ya que el PC1 aumentó el peso de la baya en un 19 % y el peso del racimo en un 25 % con respecto al PC3. La compensación de la producción debido al peso del racimo también fue observada por Gatti et al. (2011) y Greven et al. (2014). Ambos procesos de compensación de la producción (es decir, porcentaje de brotación y peso de las bayas) ocurren en condiciones de no limitación de disponibilidad de asimilados, por lo que requieren un manejo adecuado del vigor del viñedo, como sugieren Botelho et al. (2020), en un ensayo con diferentes niveles de nutrición a través de enmiendas orgánicas.

Analizando los índices de equilibrio durante el primer año, se observó una marcada diferencia entre PC1 y PC3 (Tabla 3) en AF/ P_{planta} e IR, pero la composición de las bayas de ambos tratamientos fue similar. Resulta interesante notar que la producción, los antocianos y los taninos totales de los tratamientos de poda en caja y canopia libre se incrementaron en el segundo año de poda en comparación con el primer año, a su vez, la concentración de sólidos solubles totales y la acidez titulable medidas en las bayas se mantuvieron estables, mientras que el área foliar disminuyó significativamente. Estos resultados podrían indicar que la producción no estuvo limitada por el tamaño de la fuente incluso en el segundo año de poda cuando la disminución del vigor observado (Tabla 2) podría haber tenido un impacto positivo sobre la acumulación de fenoles. De esta manera, rangos de AF/ P_{planta} entre 0,4-0,5 m^2/kg e IR entre 7-14 permitieron incrementar los metabolitos secundarios en condiciones de aumento de producción. Por lo tanto, los umbrales del índice de equilibrio para los sistemas de poda en caja y canopia libre parecen ser diferentes de los propuestos por Kliewer y Dokoozlian (2005) en canopia simple y dividida. En línea con nuestros hallazgos, Ahumada et al. (2020) concluyeron que se deben revisar los índices de equilibrio para viñedos de canopia libre y que las investigaciones futuras deberían centrarse en acordar protocolos de medición de la relación hoja-fruto. Además, otras variables deberían tenerse en cuenta, como el área foliar expuesta, la actividad de la fuente y el estado hídrico de la planta (Williams y Ayars, 2005), así como otras condiciones como la radiación y la temperatura dentro de la canopia (Tarara et al., 2008).

5. CONCLUSIONES

Con cada poda sucesiva, la poda mecánica en caja resultó en un aumento de yemas retenidas. Esto ocurrió a pesar de que la intensidad de poda y el tamaño de caja se mantuvieron a lo largo de los años. Por el contrario, la poda manual en pitón permitió retener el mismo número de yemas a lo largo del estudio cuando se mantuvo la intensidad de poda. El aumento de yemas retenidas con el tratamiento mecánico se asoció con un mayor número de racimos y rendimiento en comparación con la poda manual.

Tras el primer año de poda, la intensidad de la poda mecanizada tuvo efecto sobre el número de yemas retenidas, pero las diferencias entre tratamientos se redujeron con las podas posteriores. Como resultado, la producción de uva no se vio afectada por la intensidad de la poda mecánica debido a diferentes mecanismos de compensación. En primer lugar, el aumento del número de yemas retenidas fue compensado por la disminución del porcentaje de brotación, por lo que el número de brotes fue similar entre los diferentes tratamientos. Sin embargo, los tamaños de caja más grandes retuvieron pitones más largos, y con yemas de mayor fertilidad, lo que aumentó, como consecuencia, el número final de racimos. En segundo lugar, el aumento en el número de racimos actuó compensando parcialmente con una disminución en el peso de las bayas. De este modo, cuando la poda manual se convierte en poda mecánica en caja, parece más apropiado comenzar con un tamaño de caja pequeño que favorezca un alto porcentaje de brotación de yemas ubicadas en diferentes posiciones de los pitones y del cordón, lo que aumenta el número de yemas retenidas en los años siguientes.

Nuestros hallazgos sobre la poda manual y mecánica muestran que existe la oportunidad de manejar la poda completamente mecanizada sin comprometer la producción y la calidad de la uva. Sin embargo, futuras investigaciones deberían abordar cómo los cultivares de vid podrían influir en la respuesta de la producción a la intensidad de la poda mecánica, sobre los cuales existen pocos antecedentes actualmente. Asimismo, resulta necesario ajustar el manejo de la canopia según la poda de brotes, relación hoja/fruta o los requerimientos hídricos y de nutrición. En este sentido, sería útil realizar estudios adicionales sobre la poda mecánica en caja que incluyan a otros cultivares, considerando la fertilidad de sus yemas y los índices de equilibrio para estos sistemas de conducción.

CAPÍTULO III

Influencia de la Poda Mecanizada Sucesiva durante tres años sobre la cantidad y posición de las yemas remanentes, el crecimiento vegetativo, la producción y la composición de la baya en viñedos de los cvs. Ancellotta y Syrah

1. INTRODUCCIÓN

Argentina tiene una superficie dedicada a la viticultura de 207.000 ha, ocupando el séptimo lugar en la producción mundial de vinos, lo cual representa el 4,4 % de la producción del mundo (OIV, 2022). En los últimos años la viticultura, al igual que otros frutales como el olivo (Ladux et al., 2024), el manzano (Zhang et al., 2016), los frutos secos (Maldera et al., 2021) y el duraznero (Calderón et al., 2022) han mostrado procesos de incorporación de innovaciones tecnológicas (por ej. sistemas de conducción y marco de plantación) que han tenido como objetivo la mecanización de las labores, principalmente de la cosecha. La mecanización de la cosecha inicialmente, y luego de la poda permite resolver la baja disponibilidad de mano de obra calificada para tareas agrícolas, el cual es un problema que avanza a nivel mundial (Kurtural y Fidelibus, 2021). Otras ventajas de la mecanización integral del viñedo es la mejora en la rentabilidad debido a una disminución de los costos y la realización de las tareas en un momento oportuno.

En la tesis nos enfocamos en la poda mecanizada en caja, en inglés denominada box pruning (Kurtural et al., 2013). Como su nombre lo indica, la poda en caja luego de ser aplicada, presenta un aspecto de caja alrededor del cordón, teniendo dimensiones de entre 30 a 10 cm de alto por 30 a 10 cm de ancho (Kurtural y Fidelibus, 2021). En la práctica, esta poda mecánica puede realizarse mediante tres tipos de podadoras: podadoras de barras (consta de dos superficies de corte dentadas por cada barra que se mueven en direcciones opuestas), podadoras rotativas (consta de discos giratorios, ya sea de sierras o de mediante discos con dientes giratorios sobre un plato fijo) y podadoras combinadas (aquellas que combinan podadoras rotativas y barras de corte) (Kurtural y Fidelibus 2021).



Imagen 3.1. Podadora con discos de sierras tanto en sentido de corte vertical como horizontal (dos paneles superiores). Podadora con barras tanto en sentido de corte vertical como horizontal (dos paneles inferiores) (Fotos: F.A. Barcia)

Algunos autores han observado que cuando se aplica poda mecanizada en forma sucesiva y no se regulan las yemas remanentes del invierno, la vid presenta la capacidad de autorregular su producción mediante mecanismos de compensación sobre los componentes del rendimiento (Intrieri et al., 2011). De esta manera, podría ocurrir que a largo plazo la vid logre equilibrar la producción y la calidad de la uva, según la capacidad de la planta, sin necesidad de regular en cada poda la carga de yemas (Martínez de Toda y Sancha, 1999). Contrariamente, otros autores sugieren que la aplicación de la poda mecanizada en forma sucesiva a través de las temporadas influye sobre la carga de yemas remanentes, lo cual podría producir alternancias en el

rendimiento y en la calidad de la uva (Dokoozlian 2013). Por este motivo, se han evaluado diversas estrategias de poda aplicadas a través de las temporadas, siguiendo básicamente tres alternativas: manteniendo un tamaño constante de la caja a través de las temporadas (Kurtural et al., 2013), agregando un repaso manual luego de la poda mecánica con caja constante (Gatti et al., 2011), o variando la altura de corte entre temporadas (Peppi et al., 2017). Para esta última alternativa, los autores observaron que una poda corta disminuye el rendimiento en algunos años, pero a largo plazo no hubo diferencias en rendimiento ni en calidad de la uva entre tratamientos con diferente altura de poda mecanizada. En la misma línea, nuestros estudios de intensidad de poda en el cv. Cabernet Sauvignon, demostraron que al segundo año de poda no hubo diferencias en producción ni en los componentes de la baya entre los tamaños de cajas evaluados (Capítulo II).

Por otro lado, también podrían existir diferencias en rendimiento y calidad de la uva según la respuesta de cultivares ante la poda mecanizada, principalmente atribuido a diferencias en la fertilidad de las yemas remanente dejadas con la poda (Poni et al., 2004). Es conocido que la fertilidad de las yemas altera la relación fuente-destino y de esta manera también modificar la calidad de la uva (Kliewer y Dokoozlian, 2005). A su vez, existe poca información sobre relaciones de equilibrio para estos sistemas de canopia libre, donde se presume que podría aumentar el área foliar expuesta. De esta manera, los valores de equilibrio óptimos para este sistema de conducción en particular serían diferentes al de los sistemas tradicionales (Ahumada et al., 2020).

En este capítulo, el objetivo fue evaluar el efecto de la Poda Mecanizada Sucesiva (PMS) en caja con tamaños similares durante tres años en los cultivares Ancellotta y Syrah sobre: la cantidad y posición de las yemas remanentes, el porcentaje de brotación y características de los brotes, la producción y la composición de las bayas. Los resultados obtenidos nos permitieron determinar relaciones entre diferentes índices equilibrio vegetativo/reproductivo y la composición de la baya en viñedos manejados con poda mecánica y canopia libre.

A partir de los objetivos enunciados se plantean las siguientes hipótesis:

Hipótesis 4: La poda mecánica aplicada en años sucesivos, manteniendo el tamaño de caja constante a través de las temporadas, produce estabilización de las yemas remanentes y de la producción.

Hipótesis 5: La poda mecánica aplicada en años sucesivos mantiene con el tiempo similares valores en los índices de equilibrio vegetativo/reproductivo sin modificar la composición de la baya.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Sitio y material vegetal

El experimento se llevó a cabo durante tres temporadas consecutivas, desde junio de 2016 hasta agosto de 2019 en una parcela experimental ubicada en la Estación Experimental Junín de INTA, en el departamento de Junín ($33^{\circ} 06' 57''S$, $68^{\circ} 29' 02''O$, 666 m snm), provincia de Mendoza, Argentina. La parcela fue implantada en el año 2000 con los cultivares Ancellotta y Syrah, cada una ocupando tres hileras contiguas de 35 metros de largo, orientadas NE-SO y con una distancia de 2,3 m entre hileras y 1,5 m entre plantas. Desde plantación hasta el inicio del experimento, las plantas se condujeron en un sistema en espaldero con posicionamiento vertical de los brotes y podadas en cordón bilateral, con pitones de 2 yemas. El cordón se formó a 0,9 m sobre el suelo, y los brotes fueron sostenidos mediante tres alambres para formar una canopia de 1,2 m de altura, medida desde el cordón permanente. Las plantas se regaron con una línea de goteo por hilera, con emisores de 2 L/h espaciados a 0,6 m. El riego se manejó para reponer el 100 % de la ETc, utilizando los kc propuestos por FAO 56 para vides de mesa y pasas a lo largo de toda la estación de crecimiento. A partir de muestras de suelo, se determinó la textura y se calculó el agua fácilmente aprovechable (FAO 56) a partir del 30% del agua disponible total. Además, se realizaron determinaciones gravimétricas de humedad de suelo previo al riego para un mejor control del momento oportuno y la lámina de riego. Cuando la humedad gravimétrica del suelo estuvo por debajo al umbral establecido, se ajustó inmediatamente la programación de riego. El clima del sitio experimental es caracterizado como árido, con 190 mm de precipitaciones anuales concentradas principalmente durante el verano. Los valores del Índice Heliotérmico de Huglin y del Índice de Frescor Nocturno estimados para el período 1996-2019 fueron de 2806 y de $12,3^{\circ}C$, respectivamente, clasificando a la zona como “cálida” y con noches “frescas” (Tonietto y Carbonneau, 2004).

2.2. Tratamientos y diseño experimental

En invierno 2016, al inicio de la primera temporada de estudio, el viñedo experimental fue transformado a un sistema de poda en caja con conducción libre de los brotes o canopia libre. Para realizar la poda en caja se marcó una altura de 14 cm por sobre el cordón, en cada extremo

de las hileras y se tensó una tanza para marcar de esta manera la altura de corte. De la misma manera, se colocaron dos tanzas a 15 cm de cada lado del centro del cordón y en ambos extremos de cada hilera. Como resultado, se estableció un tamaño de caja de 14 cm de alto por 30 cm de ancho, pudiendo variar el largo de los pitones según las irregularidades naturales del cordón y de su desplazamiento respecto al centro del alambre de carga. Los pitones que quedaban dirigidos hacia abajo fueron eliminados.

Para que los brotes quedaran sueltos y poder generar una canopia libre, se removieron los alambres de conducción del follaje del espaldero, situados por encima del cordón (ubicado a 0,9 m sobre el suelo), para evitar que los brotes se sujetaran a los mismos. En cada temporada, se aplicó una única poda de verano sobre los brotes descendentes a una altura de 40 cm sobre el suelo (desfalde) para facilitar el paso de la maquinaria y el control de malezas. Adicionalmente, en la primera temporada de estudio (2016-2017), en el mes de diciembre, se realizó una poda en verde cortando los brotes de hileras contiguas que se tocaban entre ellos para permitir el tránsito de la maquinaria. En las temporadas siguientes, esta poda en verde no fue necesaria.

Se aplicó el mismo tamaño de poda en caja durante 4 podas sucesivas, por lo tanto, la carga de yemas en la temporada “n” podría haber sido influenciada por la carga de yemas en la temporada “n-1”. Así, en este trabajo, asumimos que la poda mecánica (PM) aplicada después de temporadas sucesivas impactó los índices de crecimiento vegetativo, rendimiento y balance de manera acumulativa. Para esto, se evaluó el impacto de la poda mecánica sucesiva (PMS) aplicada durante 3 temporadas considerando que cada PMS incluyó el efecto producido en las temporadas anteriores. Así, cada tratamiento correspondió a la temporada en la que se aplicó la poda: PM1 fue la poda realizada en la primera temporada, PMS2 y PMS3 correspondieron al resto de las temporadas respectivamente. En invierno 2019 (es decir, cuarta temporada), se aplicó PMS4, pero solo se realizaron mediciones para registrar las yemas retenidas y características de los pitones.

En la parcela de estudio, cada cultivar estuvo formada por 3 hileras contiguas de 25 plantas cada una, donde la hilera central fue utilizada para la selección de las unidades de medición y las hileras contiguas como bordura. En cada cultivar se seleccionaron aleatoriamente 6 unidades experimentales (repeticiones) con similar diámetro de tronco y largo de cordón, ambos medidos en enero, 2015. Cada unidad experimental estuvo formada por 9 plantas, siendo la planta central de la hilera central la unidad de medición y las 8 plantas restantes fueron utilizadas como bordura. En la selección de unidades de medición se evitaron las dos primeras plantas del extremo de cada hilera.

2.3. Mediciones

2.3.1. Yemas retenidas después de la poda y su posterior desarrollo.

Luego de realizada la poda, se registró el número total de pitones, la longitud de cada pitón y el número de yemas por pitón. A partir de estos datos y del largo del cordón de cada planta (n=6), se calculó el número total de yemas por metro lineal de cordón. En cada planta (n=6) se seleccionaron 15, 20 y 30 pitones contiguos en el cordón, en las temporadas 2016-17, 2017-18 y 2018-19, respectivamente. En los pitones seleccionados, y cuando las inflorescencias alcanzaron la fenofase E-L 15 (flores individuales en grupos compactos, Eichhorn y Lorenz modificado por Coombe 1995) cada yema ubicada desde la base hasta el extremo del pitón fue clasificadas como: (i) “yema ciega” cuando no se produjo la brotación, (ii) “yema productiva” cuando desarrolló un brote con al menos una inflorescencia y (iii) “yema vegetativa” cuando desarrolló un brote vegetativo sin inflorescencias (Di Lorenzo y Pisciotta, 2019). Luego se estimó la frecuencia de cada categoría de yema considerando la posición dentro del pitón (es decir, base, posición 1, 2, 3, etc., según corresponda). La posición “basal” consideró al conjunto de yemas ubicadas en la base del sarmiento que podrían ser en su mayoría se casqueras. Las yemas en posiciones 1 (primera yema separada mediante un pequeño entrenudo desde la base del sarmiento), 2, 3 etc, serán denominadas en este trabajo como “yemas francas”. En cada repetición (n=6), y en la misma época se contó a lo largo de todo el cordón el número de brotes con uva y sin uva, en este caso considerando la posición de la yema dentro de la planta como: (i) brote desarrollado de una yema ubicada en madera vieja del cordón, (ii) desde una yema ubicada en la base de pitón y (iii) desde una yema franca.

2.3.2. Área foliar y crecimiento vegetativo

El área foliar por planta (AF_{planta}) se determinó luego de la cosecha y previo a la caída de las hojas, en la fenofase E-L 41 (maduración del sarmiento, Eichhorn and Lorenz modificado por Coombe 1995), extrayendo y pesando inmediatamente el total de hojas de cada repetición. A partir del peso total de las hojas de cada planta (n=6), se seleccionó la repetición con el peso total de hojas más cercano al valor promedio para el cultivar. En la repetición seleccionada, se quitaron los pecíolos de las hojas, luego las láminas foliares se extendieron sobre una superficie blanca evitando superposiciones. Se tomó una imagen con una cámara fotográfica digital montada sobre un trípode, colocada perpendicular a la superficie y se procesó posteriormente utilizando el software CobCal ver. 2.0 (INTA, Bs As, Argentina). Con los datos de peso y área total de las hojas se construyó una relación entre el peso fresco total y área total de las hojas (Cv. Ancellotta: 2016-2017 = $3,71\text{ m}^2/\text{kg}$, 2017-2018 = $3,87\text{ m}^2/\text{kg}$ y 2018-2019 = $3,89\text{ m}^2/\text{kg}$. Cv.

Syrah: 2016-2017 = 3,74 m²/kg, 2017-2018 = 4,01 m²/kg y 2018-2019 = 3,93 m²/kg). El área foliar del resto de las repeticiones se estimó luego a través del peso fresco de sus hojas y utilizando la relación anteriormente mencionada. Luego, se estimó el área foliar por metro lineal de cordón.

En otoño y previo a realizar la poda de invierno se contó y midió en cada repetición la longitud total de cada brote primario y de los brotes laterales. El largo total de brotes fue luego estimado como la sumatoria de longitud de brotes primarios más la longitud de los brotes laterales. Del mismo modo, se midió el número de nudos en los brotes primarios y laterales y luego se sumaron. Además, se registró el número total de brotes por planta. Una vez realizada la poda en invierno se registró el peso de la madera de poda.

El porcentaje de brotación se determinó a partir de la relación entre el número total de brotes contados en invierno antes de la poda, dividido por el número total de yemas retenidas luego de la poda del invierno anterior.

2.3.3. Producción y componentes del rendimiento.

El momento de cosecha fue determinado cuando la ganancia diaria porcentual de azúcar por baya disminuyó por debajo de 0,4 %/día, según la metodología propuesta por Vila et al. (2010). Semanalmente se recolectaron 24 bayas por repetición, se pesaron y se determinó la concentración de sólidos solubles totales (SST; °Brix) con refractómetro. A partir de los datos obtenidos, se calculó el azúcar por baya (g/baya) mediante la ecuación:

$$\text{Contenido de azúcar por baya} \left(\frac{\text{g}}{\text{baya}} \right) = \frac{\text{Concentración azúcar del mosto} \left(\frac{\text{g}}{\text{L}} \right)}{\left(\frac{\text{nº bayas}}{\text{kg uva}} \right) * \text{densidad del mosto}}$$

Luego, se calculó la ganancia diaria porcentual de azúcar por baya como la diferencia entre dos mediciones sucesivas y el número de días entre muestreos. El cv. Syrah se cosechó el 15, 13 y 06 de marzo de 2017, 2018 y 2019, respectivamente. El cv. Ancellotta se cosechó el 13 de marzo, 20 y 25 de febrero de 2017, 2018 y 2019, respectivamente. La producción de cada planta (n=6) se transportó por separado al laboratorio, donde se registró el número de racimos por planta y se pesó individualmente cada racimo.

Para cada repetición (n=6) se colocaron todos los racimos sobre una mesa, extrayendo al azar dos muestras de 180 bayas cada una, considerando la posición de las bayas dentro de cada racimo (es decir, 60 bayas de la posición apical, 60 de la posición media y 60 bayas de la base).

Las muestras fueron pesadas, y utilizadas para estimar el peso medio de la baya de cada repetición. Ambas muestras de 180 bayas se congelaron a -20°C para su posterior análisis.

Adicionalmente, se extrajo una muestra de 20 racimos por repetición. Los racimos fueron pesados y luego separado las bayas del raquis. El peso de cada fracción (bayas y raquis) fue determinado y luego utilizando el peso total del racimo, se estimó el porcentaje del peso de raquis y bayas. El número de bayas por racimo fue determinado a partir del peso medio de la baya y el peso medio del racimo (descontando el porcentaje del raquis medido anteriormente). Los racimos por brote se calcularon en cada repetición utilizando el número total de racimos cosechados y el número de brotes contados antes de la poda.

2.3.4. Índices de equilibrio y capacidad de planta

A partir de las mediciones de producción, área foliar total y peso de poda se estimaron los siguientes índices de equilibrio para cada repetición: Índice de Ravaz como el cociente entre producción y el peso de madera de poda y Relación Área Foliar/Producción (AF/P_{planta}) como el área foliar y la producción a nivel planta. La relación de equilibrio vegetativo/reproductivo también fue expresada a nivel de brote individual como la relación entre el área foliar por brote y el peso promedio del racimo a nivel de brote (AF/PR_{brote}). El área foliar por brote se calculó dividiendo el área foliar a nivel planta (AF_{planta}) por el número de sarmientos totales medidos en el invierno.

También se determinó la capacidad de la planta como la materia seca total (MST) producida por planta en un año, según Martínez de Toda y Sancha (1999). Se calculó la materia seca total por planta (excepto raíces y tronco) mediante la suma del peso seco de la producción, el peso seco de la poda y el peso seco de las hojas. El peso seco de las hojas se calculó como el producto del área foliar total por planta (en m^2) multiplicado por 65; el peso seco de la poda se determinó como el peso de la poda multiplicado por 0,47 y el peso seco de la producción fue el resultado del producto del rendimiento por planta multiplicado por 0,23. Además se calculó la Materia seca de la fuente (MSF) como la sumatoria de la materia seca de las hojas y del peso de poda y la relación entre la MSF y el peso seco de la producción (abreviado como MSP).

2.3.5. Composición de las bayas

La primera muestra de bayas conservada a -20 °C fue utilizada para determinar SST, pH y acidez titulable. Para esto, las bayas se trajeron del freezer, se mantuvieron a temperatura ambiente hasta que alcanzaron los 20 °C, luego se secó con papel absorbente la humedad

condensada sobre la superficie de las mismas y se prensaron manualmente. En el mosto obtenido se determinó los SST mediante un refractómetro con compensación de temperatura (Atago-Co Ltd., Japón), pH con un pH-metro digital (Denver Instrument UV-10) previamente calibrado, y acidez titulable (AT, en g/L de equivalentes de ácido tartárico) mediante valoración con NaOH 0,1 N.

La segunda muestra de bayas fue utilizada para la determinación de compuestos fenólicos. Para la extracción de estos compuestos se tomaron 20 bayas de la muestra conservada a -20 °C, se pesaron y se procedió inmediatamente a la separación manual de los hollejos, siempre teniendo la precaución de secar mediante papel absorbente la humedad condensada sobre los hollejos. Luego, los hollejos fueron pesados y conservados en bolsas de aluminio a -20 °C hasta su procesamiento. A partir de la muestra de hollejos, se realizó la extracción de los compuestos fenólicos en frascos color caramelo empleando como solvente 40 mL de una solución de acetona al 70 % en agua ultra pura (Milli-Q). Los frascos se incubaron durante una noche (17-18 h) en agitador orbital (100-150 rpm, 15-20 °C). Transcurrido este tiempo, se separó la fracción líquida conteniendo los compuestos fenólicos, se centrifugó por 5 minutos a 4500 rpm, y el sobrenadante fue sometido a la concentración y eliminación de acetona empleando un evaporador rotatorio al vacío (BÜCHI R-100, Flawil, Suiza), a 35-40 °C. El extracto obtenido fue conservado a -20 °C hasta el momento de análisis. Los parámetros fenólicos globales en hollejos (fenoles, taninos y antocianinas totales), se determinaron por espectrofotometría UV-Visible siguiendo la metodología propuesta en estudios previos (Harbertson et al., 2002 y 2003; Heredia et al., 2006). La composición de las bayas (SST, pH, Fenoles Totales y Antocianos Totales) fue relacionada con el índice de equilibrio estimado a nivel de los brotes (AF/PR_{brote}) en los dos cultivares y en las tres temporadas estudiadas. Todas las relaciones fueron graficadas usando GraphPad Prism version 5.01 software (California, USA)

2.4. Análisis estadístico

Los datos de las podas mecánicas sucesivas (PMS) se analizaron para cada cultivar de forma independiente mediante análisis de varianza. Cada una de las cuatro temporadas de poda (PM1, PMS2, PMS3 y PMS4) fueron los tratamientos evaluados. Se utilizó un modelo lineal mixto, para evaluar la influencia de las PMS sobre las variables de respuesta relacionadas con el número, posición y desarrollo de yemas remanentes, número y crecimiento vegetativo, rendimiento, componentes del rendimiento y composición de las bayas. En el modelo lineal mixto, se asumió el factor temporada que indica el número de PMS (PM1, PMS2, PMS3 y PMS4) como efecto fijo y las repeticiones (6 plantas) como efecto aleatorio. Las comparaciones entre tratamientos se

realizaron mediante la prueba LSD con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el software INFOSTAT versión 2.0 (UNC, Argentina). Todos los gráficos se prepararon con el software GraphPad Prism versión 5.01 (California, EE. UU.).

3. RESULTADOS

3.1. Caracterización climática de las temporadas

La dinámica de las temperaturas máxima y mínima diaria del aire registrada en la estación meteorológica durante las temporadas 2016-2017, 2017-2018 y 2018-2019 son presentadas en la Figura 5, paneles a, b y c, respectivamente. Las temperaturas máximas promedio de cada temporada (desde el mes de julio a junio del siguiente año) fueron similares entre las tres temporadas ($24,7^{\circ}\text{C}$, $24,6^{\circ}\text{C}$ y $24,0^{\circ}\text{C}$). Se observaron diferencias entre temporadas en el valor y el momento de ocurrencia de las temperaturas máximas absolutas. En 2016-2017, se registró una temperatura máxima absoluta de $39,7^{\circ}\text{C}$ el 29 enero del 2017. En la temporada siguiente, se observó similar temperatura máxima ($39,4^{\circ}\text{C}$) pero más temprano (29 de diciembre del 2017). En la tercera temporada se registró una temperatura máxima similar a las anteriores, de $39,1^{\circ}\text{C}$ también el 29 enero 2019. Las temperaturas mínimas promedio mostraron una disminución con el avance de las temporadas, siendo de $11,6$; $11,4$ y $11,2^{\circ}\text{C}$, para las temporadas 2016-2017, 2017-2018 y 2018-2019, respectivamente. Registrándose temperaturas mínimas absolutas de $-2,9$; $-4,8$ y -2°C en julio 2016, 2017 y 2018, respectivamente. Además, se observó una helada tardía durante la primavera de 2017 (13-10-17) de $-1,5^{\circ}\text{C}$.

En la Figura 5d se presentan los valores de temperaturas para los meses desde enero (diciembre) a cosecha (marzo) (fenofase E-L 34 al 38 de Eichhorn y Lorenz modificado por Coombe, 1995). La primera temporada fue la más cálida durante el periodo de madurez de las bayas, con temperaturas máxima, medias y mínimas promedios de $31,8$, $24,9$ y $18,1^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Mientras, la tercera temporada fue más fresca con temperaturas de $30,0$; $23,5$ y $17,1^{\circ}\text{C}$, respectivamente. La segunda temporada presentó valores intermedios de temperatura máxima ($31,2^{\circ}\text{C}$), media ($24,3^{\circ}\text{C}$) y mínima ($17,4^{\circ}\text{C}$). Además, se calculó el tiempo de exposición de las plantas a una temperatura superior a 35°C (Figura 5e). En la primera temporada las plantas estuvieron expuestas a un mayor tiempo de temperaturas $> 35^{\circ}\text{C}$ (193 horas), mientras que la segunda y tercera temporada presentaron tiempos de exposición marcadamente inferior (90 y 107 horas, respectivamente).

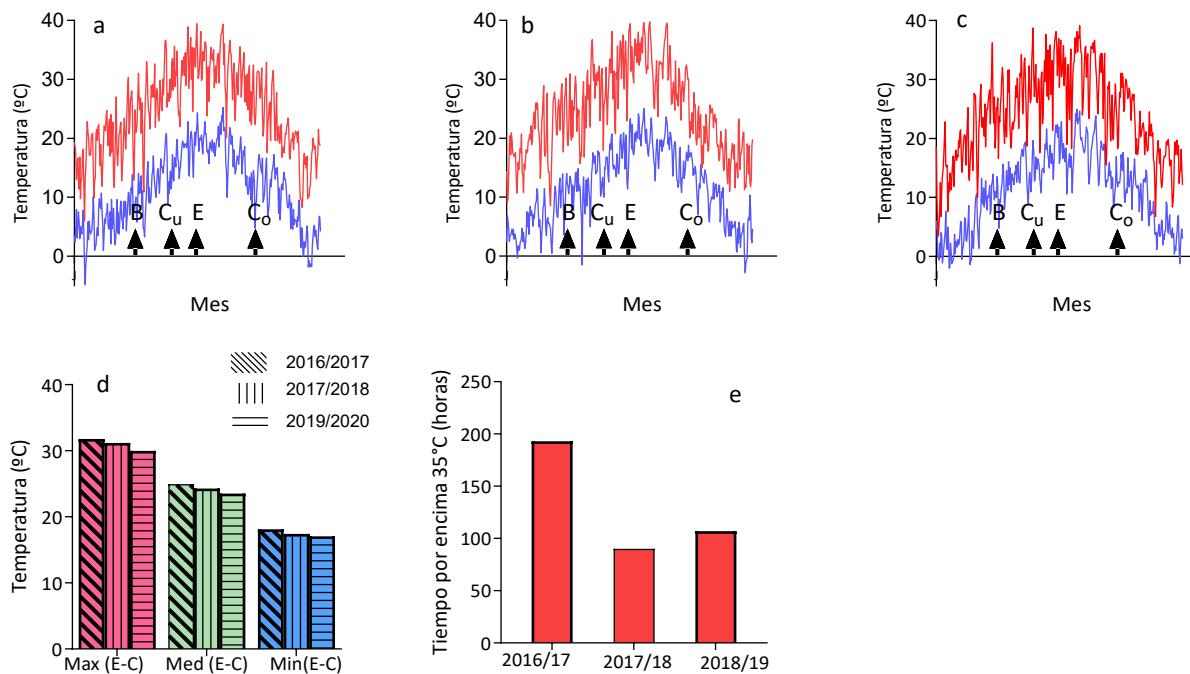


Figura 5. Evolución de la temperatura máxima (línea azul) y mínima (línea roja) durante las temporadas 2016-17 (a), 2017-18 (b) y 2018-19 (c), temperatura máxima, media y mínima promedio entre los meses de diciembre a marzo (envero a cosecha) para cada una de las 3 temporadas (d) y tiempo de exposición de las plantas a una temperatura superior a 35 °C (e). Las flechas en los paneles a-c indican las etapas fenológicas y en la secuencia de brotación (B), cuaje (Cu), envero (E) y cosecha (Co).

3.2. Cantidad y características de los pitones y yemas retenidas después de la poda

Debido a que el tamaño de caja de poda se basó en las marcaciones de las plantas en los extremos de las hileras, sus medidas de ancho y alto variaron en relación con la disposición del alambre de carga, la linealidad y el alto de los cordones. El tamaño de caja promedio para las plantas seleccionadas luego de la primera poda, fue en el cv. Ancellotta de $29 \pm \text{d.e. } 1,4$ cm de ancho x $15 \pm \text{d.e. } 1,6$ cm de alto y en el cv. Syrah de $29 \pm \text{d.e. } 1,5$ cm ancho x $17 \pm \text{d.e. } 1,8$ cm alto. En las sucesivas temporadas se mantuvo el tamaño de caja marcado en el primer año de estudio.

En ambos cultivares el número de yemas por metro de cordón y las características de los pitones fueron afectados significativamente por la poda mecánica sucesiva (PMS). En el cv. Ancellotta, el número de yemas retenido luego de la PM1 fue de 89 yemas/m lineal de cordón, después de la PMS2 disminuyó a 51 yemas/m (Tabla 5). La cantidad de yemas se triplicó luego de la PMS3 (150 yemas/m) respecto a PMS2, y luego de PMS4 se registró una carga de yemas de 115 yemas/m, inferior a PMS3, pero significativamente mayor a los valores observados en PM1 y PMS2. En el cv. Syrah, luego de PM1, las yemas por metro de cordón fueron en promedio 55, sin mostrar diferencias significativas con PMS2 que tuvo en promedio 58 yemas/m. Posteriormente a PMS3, la cantidad de yemas remanente aumentó significativamente a 128 yemas/m, mostrando una disminución similar a la observada en el cv. Ancellotta luego de PMS4 (85 yemas/m) y con niveles superiores a los determinados en PM1 y PMS2.

En ambos cultivares, el número de pitones presentó similar patrón de incremento con la aplicación de PMS (Tabla 5). En el cv. Ancellotta, el número de pitones fue similar en PM1 y PMS2 (promedio de 26 pitones/m), incrementándose significativamente a 61 y 79 pitones/m en PMS3 y PMS4, respectivamente. En el cv. Syrah, en PM1 se contaron 21 pitones/m, incrementando significativamente a 33 y 61 pitones/m en PMS2 y PMS3, respectivamente, manteniéndose estable en PMS4 (61 pitones/m).

En ambos cultivares, el número de yemas por pitón presentó un patrón de disminución con la aplicación de PMS (Tabla 5). El cv. Ancellotta presentó 3,1 yemas/pitón en PM1, disminuyó en PMS2 y PMS3 a 2,4 yemas/pitón (promedio de ambos tratamientos) y sin diferencias significativas entre ellos, y presentó pitones con el menor número de yemas (1,5 yemas/pitón) luego de PMS4. Similarmente, el cv. Syrah presentó en PM1 el mayor número de yemas por

pitón (2,7 yemas/pitón), intermedio en PMS2 y PMS3 (1,79 y 2,1 yemas/pitón, respectivamente) y el menor número de yemas por pitón (1,4 yemas/pitón) en PMS4.

El largo de los pitones presentó un patrón similar al observado en el número de yemas por pitón (Tabla 5). La longitud de los pitones medidos en el cv. Ancellotta fueron de 19,9 cm en PM1, y disminuyó significativamente a 7,0 cm y 5,6 cm en PMS2 y PMS3, respectivamente. En PMS4 los pitones fueron de 3,4 cm, similar a los pitones de PMS3, pero significativamente más cortos que PM1 y PMS2. Similar patrón se observó en el cv. Syrah, donde los pitones fueron más largos (14,5 cm) luego de PM1, disminuyendo marcadamente a 6,8 cm y 5,5 cm en PMS2 y PMS3, respectivamente, sin diferencias entre ellas, y disminuyendo a 4,2 cm de longitud luego de PMS4. Como resultado de la aplicación sucesiva de poda mecánica y en ambos cvs. se produjo un aumento en la cantidad de pitones, pero de menor longitud y con un menor número de yemas por pitón.

Tabla 5. Número de yemas y de pitones, yemas por pitón, y largo de pitón en plantas de los cvs. Ancellotta y Syrah podadas mecánicamente durante cuatro años (PM1, PMS2, PMS3 y PMS4) en Junín, Mendoza.

Cultivar	Fuente de variación	Yemas	Pitones	Yemas/pitón	Largo Pitón
		Poda	(#/m)	(#/m)	(cm)
Ancellotta	PM1	89 b	30 a	3,07 c	19,89 c
	PMS2	51 a	22 a	2,36 b	6,97 b
	PMS3	150 d	61 b	2,48 b	5,59 ab
	PMS4	115 c	79 c	1,48 a	3,40 a
	p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Syrah	PM1	55 a	21 a	2,70 c	14,46 c
	PMS2	58 a	33 b	1,79 ab	6,77 b
	PMS3	128 c	61 c	2,10 b	5,50 ab
	PMS4	85 b	61 c	1,44 a	4,18 a
	p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Letras distintas en cada valor ($n = 6$) en la misma columna para cada cultivar indican diferencias significativas según la prueba LSD y $p \leq 0,05$.

3.3. Posición de las yemas en los pitones, porcentaje de brotación y desarrollo de brotes

Para estudiar la evolución del número de yemas de los pitones según la PMS, se estudió la frecuencia de pitones clasificados según la cantidad de yemas remanentes luego de la poda (Figuras 6 y 7, paneles a la derecha). Luego del primer año de poda mecánica (PM1), el cv. Ancellotta no retuvo pitones con sólo yemas basales, y presentó un bajo porcentaje de pitones con una y dos yemas (6 % y 9 %, respectivamente). Los pitones más frecuentes tuvieron tres y cuatro yemas (32 % y 29 %, respectivamente), y en niveles intermedios se encontraron los pitones con cinco y seis yemas (13 % y 12 %, respectivamente). En PMS2, tampoco se contabilizaron pitones que sólo presentaran yemas basales, destacándose los pitones con una y dos yemas (47 % y 43 %, respectivamente), y en menor proporción (10 %) los pitones con tres yemas. En esta segunda poda no se observaron pitones con cuatro, cinco y seis yemas. Luego de aplicar tres años de poda mecánica sucesiva (PMS3), un 5 % de pitones presentaron sólo la yema basal, 29 % y 39 % fueron pitones con una y dos yemas, respectivamente; mientras que hubo un 19 % y 7 % de pitones con tres y cuatro yemas, respectivamente. No se observaron pitones con cinco y seis yemas.

Por su parte, en el cv. Syrah en PM1 tampoco se observaron pitones que tuvieran sólo la yema basal, mientras que un 13 % de pitones presentaron una sola yema franca. Los pitones más frecuentes fueron los de dos, tres y cuatro yemas (28 %, 35 % y 21 %, respectivamente).

Pitones con 5 yemas fueron escasos y sólo represaron el 2 % del total de pitones contados. Luego de la PMS2, tampoco se contabilizaron pitones de únicamente yemas basales, mientras que se observaron altos porcentajes de pitones con una y dos yemas (27 % y 64 %, respectivamente) y un 9 % de pitones con tres yemas. No se observaron pitones con cuatro y cinco yemas. Aplicada la PMS3, del total de pitones por metro, el 11 % presentó sólo la yema basal, mientras 43, 39 y 7 % de los pitones presentaron una, dos y tres yemas, respectivamente. En PMS3, tampoco se contabilizaron pitones con cuatro y cinco yemas.

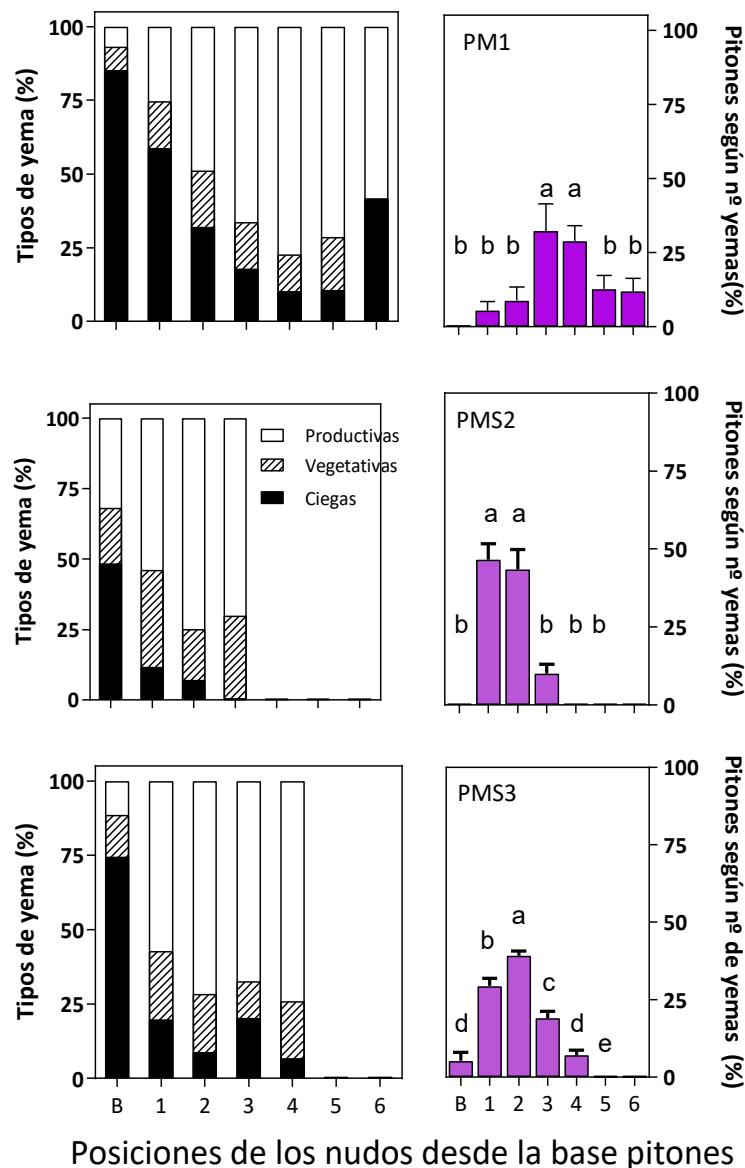


Figura 6. Paneles izquierdos dentro de cada poda PM1, PMS2 y PMS3: Porcentaje de yemas ciegas, productivas y vegetativas en cada posición de nudo desde la base de los pitones en plantas cv. Ancellotta podadas mecánicamente. Paneles derechos dentro de cada poda: Porcentaje de pitones con sólo yemas basales y con 1, 2, 3 y 4 nudos. Datos agrupados de 6 unidades experimentales de una planta. Letras

distintas en cada valor ($n = 6$) paneles derechos indican diferencias significativas según la prueba LSD y $p \leq 0,05$.

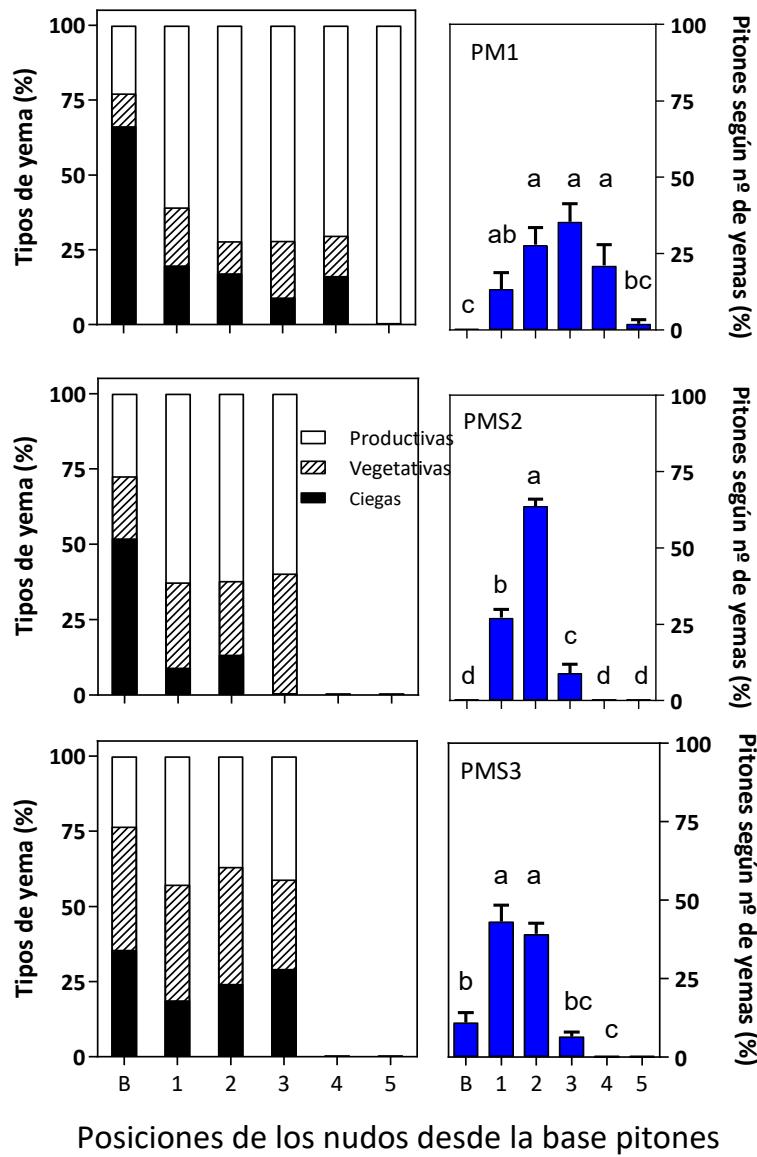


Figura 7. Paneles izquierdos dentro de cada poda PM1, PMS2 y PMS3: Porcentaje de yemas ciegas, productivas y vegetativas en cada posición de nudo desde la base de los pitones en plantas de cv. Syrah podadas mecánicamente. Paneles derechos dentro de cada poda: Porcentaje de pitones con solo yemas basales y con 1, 2, 3 y 4 nudos. Datos agrupados de 6 unidades experimentales de una planta. Letras distintas en cada valor ($n = 6$) paneles derechos indican diferencias significativas según la prueba LSD y $p \leq 0,05$.

Para estudiar el desarrollo de la yema según su posición dentro del pitón a través de la PMS, se clasificaron las yemas como: sin desarrollo de brotes (yemas ciegas), con desarrollo de brotes

con al menos un racimo (yemas productivas) o con desarrollo de brote sin racimo (yemas vegetativas). (Figuras 6 y 7, paneles de la izquierda). En el cv. Ancellotta, luego de la primera poda mecánica (PM1), las yemas basales fueron principalmente ciegas (85 %), mientras que en las yemas francas el porcentaje de ciegas disminuyó desde la primera hacia la quinta yema, siendo 59 %, 32 %, 18 %, 10 % y 11 %, respectivamente, con la excepción de la yema franca en posición seis donde la proporción de ciegas fue alta y del 42 %. Las yemas productivas fueron muy escasas cuando se ubicaron en posición basal (7 %), mientras que incrementó al ascender desde las yemas uno, hasta la cinco, siendo 25 %, 49 %, 66 %, 77 % y 71 %, respectivamente; observándose un 58 % en el caso de la yema en posición seis. La proporción de yemas vegetativas fue muy escasa en las yemas basales (8 %), mientras que en las yemas francas se mantuvo similar, independientemente de la posición dentro del pitón, con un promedio de 16 %. Luego de la PMS2, el porcentaje de yemas ciegas en posición basal también fue alto (48 %), mientras que en las yemas francas en posiciones uno y dos fue de 12 % y 7 %, respectivamente, y se redujo a 0 % en la yema en posición tres. Las yemas productivas fueron más bajas en posición basal (32 %), e incrementó marcadamente en las yemas francas en posiciones uno, dos y tres (54 %, 75 % y 70 %, respectivamente). Las yemas vegetativas en la posición basal fueron del 20% del total de yemas basales contabilizadas esa temporada, mientras que, en las yemas francas, el porcentaje de yemas vegetativas fue del 34 %, 18 % y 30 %, para las posiciones uno, dos y tres, respectivamente. En PMS3, el porcentaje de ciegas en la yema basal fue nuevamente más alto (75 %), y se mantuvo bajo y estable en el resto de las yemas francas (rango 7 – 20 %). Las yemas productivas en la posición basal se mantuvieron bajas (11 %), mientras que para las yemas francas uno, dos, tres y cuatro fueron 57 %, 71 %, 67 % y 74 %, respectivamente. Del total de yemas basales contadas en PMS3, el 14 % fueron vegetativas, mientras que en las yemas francas mostraron escasa variabilidad desde la yema uno hasta la yema cuatro, siendo en promedio del 18 %.

En el cv. Syrah, los pitones remanentes luego de la primera poda mecánica (PM1) presentaron un alto porcentaje de yemas ciegas en la posición basal (66 %), mientras que permanecieron ciegas entre el 9 % y el 20 % para las yemas francas. Las yemas basales fueron productivas en un porcentaje muy bajo (23 %), mientras que las yemas francas uno, dos, tres y cuatro desarrollaron yemas productivas entre 61 % y 72 %, mientras que yema franca en posición cinco fueron categorizada 100 % como productivas. Las yemas vegetativas representaron 11 % de las yemas basales, y el 16 % de las yemas francas, a excepción de las yemas francas en posición cinco que la proporción de vegetativas fue 0 %. Luego de aplicar la PMS2, las yemas basales de los pitones mostraron nuevamente un elevado porcentaje de ciegas

(52 %), mientras que fue muy bajo y de 9 %, 3 %, 0 % en las yemas francas uno, dos y tres, respectivamente. Las yemas productivas, representaron 27 % del total de yemas basales, más bajo que las yemas francas uno, dos y tres que tuvieron porcentajes entre 53 % y 63 %. Las yemas vegetativas fueron el 21 % de las yemas basales, mientras que en las yemas francas fueron del 28 %, 25 % y 47 %, en las posiciones uno, dos y tres, respectivamente. Luego de aplicar PMS3, del total de yemas basales, el 36 % fueron ciegas, mientras que en las yemas francas uno, dos y tres fueron 19 %, 24 % y 29 %, respectivamente. Las yemas productivas significaron 23 % de las yemas basales e incrementó a valores de 37 % y 43 % para posiciones entre uno y tres. Las yemas vegetativas fueron 41 % de las yemas basales, mientras que en las yemas francas fueron en promedio del 36 %.

En las Figuras 8 y 9 se presenta el aporte de brotes desarrollados en distintas posiciones del cordón y su relación con la PMS. La caracterización presentada resulta interesante por el rol de los brotes formados en la producción actual y en el aporte de yemas para sostener la producción en los años siguientes. El número de brotes con uva y sin uva por metro de cordón en relación con la ubicación de la yema en madera vieja, base del pitón o en una yema franca de pitón (Figuras 8 y 9). En el cv. Ancellotta, la cantidad de los brotes con uva desarrollados a partir de yemas ubicadas en madera vieja fue similar en PM1, PMS2 y PMS3, siendo de 1 brote con uva/m (promedio para las tres podas sucesivas). Los brotes sin uva por metro lineal de cordón formados de yemas en madera vieja fueron 1; 5 y 1 luego de PM1, PMS2 y PMS3, respectivamente. Los brotes con uva desarrollados de yemas basales fueron de 1 brote con uva/m luego de la PM1 y fue similar luego de la PMS2 y PMS3 (promedio de 7 brotes con uva/m). Los brotes con uva desarrollados de yemas francas fueron similares en PM1 y PMS2 (promedio 37 brotes con uva/m), e incrementó significativamente a 76 brotes con uva/m en PMS3. Los brotes sin uva desarrollados en yemas basales fueron similares luego de PM1 y PMS2 (promedio 3 brotes sin uva/m) e incrementaron a 10 brotes sin uva/m luego de PMS3. Los brotes sin uva desarrollados de yemas francas por m lineal de cordón fueron similares en PM1 y PMS2 (promedio 13 brotes sin uva/m), mientras que incrementaron a 23 brotes sin uva/m en PMS3.

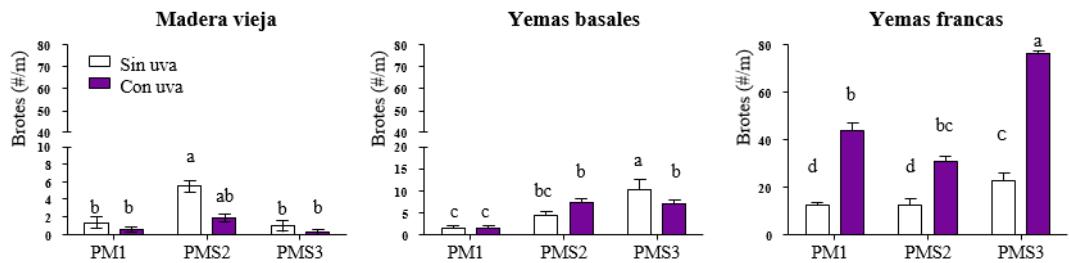


Figura 8. Número de brotes con uva y sin uva en relación con la ubicación de las yemas según madera vieja, yemas basales o yemas francas en plantas de cv. *Ancellotta*. Valores con la misma letra no son significativamente diferentes dentro de cada ubicación de la yema, según la prueba LSD en $p \leq 0,05$. Ns diferencia no significativa. Datos agrupados de 6 unidades experimentales de una planta.

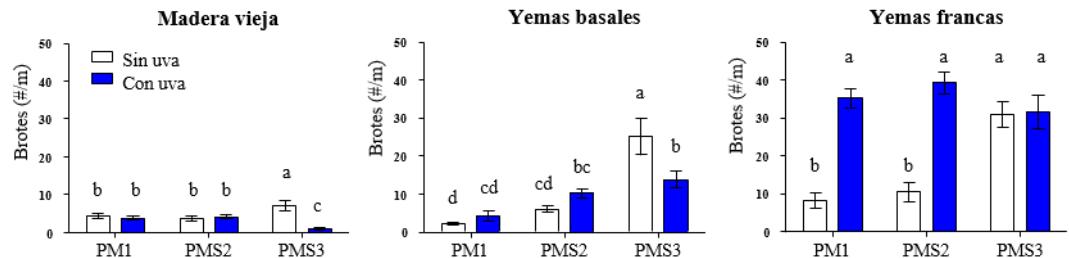


Figura 9. Número de brotes con uva y sin uva en relación con la ubicación de las yemas según madera vieja, yemas basales o yemas francas en plantas de cv. *Syrah*. Valores con la misma letra no son significativamente diferentes dentro de cada ubicación de la yema, según la prueba LSD en $p \leq 0,05$. Ns diferencia no significativa. Datos agrupados de 6 unidades experimentales de una planta.

En el cv. *Syrah*, el número de brotes con uva por metro lineal de cordón provenientes de yemas ubicadas en madera vieja, fue similar en PM1 y PMS2, siendo en promedio de 4, y disminuyó a 1 en PMS3. El número de brotes sin uva provenientes de yemas ubicadas en madera vieja también fueron similares en PM1 y PMS2 (promedio 4 brotes sin uva/m), pero luego de PMS3 incrementaron significativamente a 7 brotes sin uva/m. El número de brotes con uva desarrollados de yemas basales sólo fueron significativamente diferentes entre PM1 (4 brotes con uva/m) y PMS3 (14 brotes con uva/m), mientras que PMS2 fue intermedio con 10 brotes con uva/m. El número de brotes sin uva provenientes de yemas basales fueron similares en PM1 y PMS2 (promedio 4 brotes sin uva/m), e incrementó significativamente en PMS3 a 24 brotes sin uva/m. El número de brotes con uva desarrollados de yemas francas fueron similares en las tres temporadas de PMS (promedio 35 brotes con uva/m). En contraste, el número de brotes sin uva provenientes de yemas francas fueron similares luego de PM1 y PMS2 (promedio de 9 brotes sin uva/m) e incrementaron en PMS3 (31 brotes sin uva/m).

De esta manera, se observó que con el avance de la PMS aumentó la frecuencia de pitones más cortos e incluso a partir de la PMS3 no se observaron pitones con más de 3 yemas, e incrementó la cantidad de pitones que sólo tuvieron la yema basal. Además, las yemas basales

initialmente presentaron altos porcentajes de ciegas y con el avance de la PMS aportaron mayor porcentaje de brotes sin uva. Por su parte, las yemas francas más cerca de la base del pitón disminuyeron la proporción de ciegas con el avance de la PMS, aportando mayor proporción de brotes con uva. Por otro lado, en ambos cultivares, desde la madera estructural del cordón existió muy poco aporte de brotes con uva con la aplicación de PMS. Las yemas francas incrementaron con la PMS el aporte de brotes con uva en el cv. Ancellotta, mientras que se mantuvo estable en el cv. Syrah.

3.4. Crecimiento vegetativo

El cv. Ancellotta presentó diferencias significativas con la aplicación de PMS en el porcentaje de brotación, el número de sarmientos, el largo del entrenudo, los nudos por sarmiento, los nudos por metro y el área foliar a nivel planta (Tabla 6). No presentó diferencias en el largo del sarmiento ni en el peso de poda. Mientras que en el cv. Syrah la PMS produjo diferencias significativas en el porcentaje de brotación, el largo del entrenudo y el área foliar a nivel planta, pero no en el número de sarmientos, los nudos por sarmiento, en la cantidad de nudos por metro y el peso de poda (Tabla 6).

En el cv. Ancellotta, el porcentaje de brotación luego de PM1 fue 54 %, incrementó al 121 % luego de la PMS2, y presentó un valor bajo de 48 % en PMS3. La cantidad de sarmientos por metro de cordón incrementó significativamente con la aplicación de podas sucesivas, siendo 43, 60 y 72 sarmientos/m para PM1, PMS2 y PMS3, respectivamente. El largo de los entrenudos de los sarmientos formados en la PM1 fue en promedio de 4,6 cm, disminuyendo significativamente a 3,7 cm luego de la PMS2. En la PMS3 el largo de los entrenudos fue intermedio (4,1 cm). El número de nudos por sarmiento fue de 8 luego de la PM1, e incrementó a 10 nudos/sarmiento luego de la PMS2. Los sarmientos desarrollados luego de PMS3 presentaron 7 nudos por sarmiento, similar a lo observado en PM1. El número de nudos totales y al área foliar a nivel planta (AF_{planta}) medidos por metro de cordón, presentaron similar patrón entre temporadas. Luego de la PMS2 y PMS3 se observó similar número de nudos (564) y AF_{planta} ($6,3\text{ m}^2/\text{m}$), ambos significativamente más altos que lo observado luego de la PM1 (314 nudos/m y $3,4\text{ m}^2/\text{m}$).

En el cv. Syrah el porcentaje de brotación no fue diferente entre PM1 y PMS2 (promedio de 89%), y disminuyó a 42% en PMS3. El largo de los entrenudos fue 5,4 cm en PM1, y disminuyó a similares valores (promedio 4,6 cm) luego de la PMS2 y PMS3. En contraste, el AF_{planta} por metro

de cordón fue $4,5 \text{ m}^2/\text{m}$ en PM1, e incrementó a $6,9 \text{ m}^2/\text{m}$ y $7,3 \text{ m}^2/\text{m}$ luego de la PMS2 y PMS3, respectivamente.

Tabla 6. Desarrollo vegetativo en plantas de los cvs. Ancellotta y Syrah podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza.

Cultivar	Fuente de variación	Brotación	Sarmientos	Largo de sarmiento	Largo entrenudos	Nº nudos/sarmiento	Nº nudos/m	AF _{planta}	Peso de Poda
		Poda	(%)	(#/m)	(cm)	(cm)	(#)	(#)	(m ² /m)
Ancellotta	PM1	54 a	42,55 a	35	4,60 b	7,59 a	314,24 a	3,37 a	0,41
	PMS2	121 b	59,90 b	42,72	3,71 a	10,01 b	597,58 b	6,41 b	0,44
	PMS3	48 a	72,49 c	35,58	4,13 ab	7,27 a	530,15 b	6,30 b	0,55
	p-valor	0,0001	0,0001	0,2039	0,043	0,0077	0,0014	<0,0001	0,1779
Syrah	PM1	89 b	42,79	48,68	5,38 b	8,91	376,64	4,47 a	0,49
	PMS2	89 b	52,39	47,48	4,55 a	9,21	469,37	6,87 b	0,55
	PMS3	42 a	54,38	50,61	4,73 a	9,45	503,91	7,33 b	0,73
	p-valor	<0,0001	0,0967	0,9211	0,0114	0,9432	0,1329	0,0409	0,1626

Letras distintas en cada valor (n = 6) en la misma columna para cada cultivar indican diferencias significativas según la prueba LSD y p≤0,05.

3.5. Producción y componentes del rendimiento

El cv. Ancellotta presentó diferencias significativas con la aplicación de PMS en la producción y en los componentes del rendimiento (cantidad de racimos por metro, peso de racimo, bayas por racimo, peso de baya y racimos por sarmiento (Tabla 7). En el cv. Syrah, también se observaron diferencias significativas con la aplicación de PMS en la producción y en los componentes del rendimiento (peso del racimo, bayas por racimo y peso de la baya, pero la cantidad de racimos por metro de cordón y racimos por sarmiento no respondieron a la PMS (Tabla 7).

En el cv. Ancellotta la producción fue de 12,6 kg/m para PM1, disminuyendo a la mitad (6,7 kg/m) en PMS2, e incrementó a 10,7 kg/m luego de la PMS3, con niveles similares a los obtenidos en PM1. Similar patrón se observó en el número de racimos por sarmiento, siendo de 2,7; 1,4 y 2,6 en PM1, PMS2 y PMS3, respectivamente. El número de racimos por metro fue 122 en PM1, disminuyó a 83 racimos/m luego de la PMS2, y aumentó significativamente a 184 racimos/m en PMS3. El mayor peso de los racimos se obtuvo en PM1 (104,7 g), y disminuyó a valores similares en PMS2 (76,1 g) y PMS3 (56,9 g). El número de bayas por racimos fue más alto en la PM1 (86,6 bayas/racimo) y disminuyó sucesivamente con la aplicación de la PMS2 (55,5 bayas/racimo) y PMS3 (43,1 bayas/racimo). El peso de la baya fue más bajo en la PM1 (1,13 g) que en la PMS2 (1,30 g) e intermedio en la PMS3 (1,26 g).

En el cv. Syrah, la producción no mostró diferencias luego de aplicar las dos primeras podas PM1 y PMS2 (promedio 12,0 kg/m), y disminuyó significativamente (6,71 kg/m) en la PMS3. El peso de los racimos disminuyó significativamente con la aplicación en años sucesivo de la poda, siendo 102,6 g, 86,1 g y 63,9 g en PM1, PMS2 y PMS3, respectivamente. El número de bayas por racimos siguió el mismo patrón, siendo 65,4, 52.9 y 36.8 bayas/racimos en PM1, PMS2 y PMS3, respectivamente. El peso medio de la baya fue similar en los dos primeros tratamientos PM1 y PMS2 (promedio de 1,5 g), y mayor (1,7 g) en PMS3. El número de racimos por metro y los racimos por sarmiento no mostraron diferencias con las PMS, siendo el promedio de las tres PMS de 122 racimos/m y de 2,5 racimos/sarmiento, respectivamente.

Tabla 7. Producción y componentes del rendimiento en plantas de los cvs. Ancellotta y Syrah podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza.

Cultivar	Fuente de variación	Producción	Racimos	Peso de racimo	Bayas/racimo	Peso de baya	Racimos/sarmiento
		Podar	(kg/m)	(#/m)	(g)	(#)	(#)
Ancellotta	PM1	12,63 b	121,82 b	104,67 b	86,63 c	1,13 a	2,72 b
	PMS2	6,71 a	82,79 a	76,10 a	55,51 b	1,30 b	1,40 a
	PMS3	10,68 b	184,21 c	56,89 a	43,07 a	1,26 ab	2,56 b
	p-valor	0,0011	<0,0001	0,0011	<0,0001	0,0263	0,0001
Syrah	PM1	12,61 b	119,24	102,65 c	65,42 c	1,50 a	2,82
	PMS2	11,42 b	129,92	86,08 b	52,95 b	1,56 a	2,50
	PMS3	6,71 a	116,09	63,95 a	36,79 a	1,67 b	2,08
	p-valor	0,0007	0,7979	0,0002	<0,0001	0,0103	0,2109

Letras distintas en cada valor (n = 6) en la misma columna para cada cultivar indican diferencias significativas según la prueba LSD y p≤0,05.

3.6. Índices de equilibrio y capacidad de planta

Respecto a los índices de equilibrio estimados (Tabla 8), en el cv. Ancellotta el AF/P_{planta} fue el más bajo en PM1 (0,29 m²/kg), aumentó significativamente en PMS2 (1,08 m²/kg) y disminuyó en PMS3 a valores de 0,61 m²/kg. El IR mostró un patrón opuesto, fue el más alto en PM1 (29,23), que en PMS2 (15,41) y PMS3 (20,72), sin mostrar diferencias entre los últimos dos tratamientos. El AF/PR_{prote} fue bajo en PM1 (8,1 cm²/g), mientras que en PMS2 y PMS3 fue más alto y sin diferencias entre ambos tratamientos (14,8 y 15,8 cm²/g, respectivamente). En el cv. Syrah el AF/P_{planta} no fue significativamente diferente entre PM1 y PMS2 con valores de 0,37 y 0,61 m²/kg respectivamente, sin embargo, luego de la PMS3 aumentó a 1,35 m²/kg. El IR se comportó de manera similar a AF/P_{planta}, sin diferencias entre PM1 y PMS2 (26 y 22,4), y menor valor en la tercera poda (10,1). El AF/PR_{brote} fue bajo en PM1 y PMS2, siendo de 11,9 y 15,8 cm²/g respectivamente y sin diferencias entre ambas podas, y mayor en la PMS3, con 21,8 cm²/g.

La “capacidad de la planta” expresada como la materia seca total (MST) acumulada en cada temporada, en el cv Ancellotta fue similar entre PM1 y PMS3 (promedio 3151 g) y más bajo en PMS2 (2155 g). Mientras que la capacidad de la planta medida sólo como materia seca de la fuente (MSF) fue menor en PM1 (426 g) y similar entre PMS2 y PMS3 (promedio 638 g). Cuando se relaciona la materia seca de la fuente y la materia seca de la producción (MSF/MSP) se observaron valores similares entre PM1 y PMS3 (promedio 0,22) y mayor en PMS2 (0,44). En el cv. Syrah la MST fue similar entre PM1 y PMS2 (promedio 3402 g) y menor en PMS3 (2436 g). Mientras que la MSF no presentó diferencias significativas entre PMS, siendo en promedio de 674 g. La relación MSF/MSP fue similar entre PM1 y PMS2 (promedio 0,23) y mayor en PMS3 (0,47).

Tabla 8. Índices de equilibrio área foliar/producción (AF/P_{planta}), el índice de Ravaz (IR) y AF/PR_{brote} e indicadores de capacidad de planta, Materia Seca Fuente (MSF), Materia Seca Total (MST) y relación MSF/MSP (Materia Seca Producción) en plantas de los cvs. Ancellotta y Syrah podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza.

Cultivar	Fuente de variación	AF/P _{planta}	IR	AF/PR _{brote}	MSF	MST	MSF/MSP
		Poda	(m ² /kg)	(cm ² /g)	(g)	(g)	
Ancellotta	PM1	0,29 a	29,23 b	8,1 a	426 a	3179 b	0,16 a
	PMS2	1,08 b	15,41 a	14,8 b	611 b	2155 a	0,44 b
	PMS3	0,61 a	20,72 a	15,8 b	666 b	3123 b	0,28 a
	p-valor	0,0047	0,0027	0,0073	0,0020	0,0171	0,0048
Syrah	PM1	0,37 a	26,03 b	11,9 a	571	3471 b	0,20 a
	PMS2	0,61 a	22,39 b	15,8 a	706	3333 b	0,27 a
	PMS3	1,35 b	10,09 a	21,8 b	746	2436 a	0,47 b
	p-valor	0,0579	0,0003	0,0077	0,2493	0,0136	0,0005

Letras distintas en cada valor (n = 6) en la misma columna para cada cultivar indican diferencias significativas según la prueba LSD y p≤0,05.

3.7. Composición de las bayas

En el cv. Ancellotta, la aplicación de PMS afectó las variables asociadas a la composición de las bayas, con excepción del pH. De modo similar, la composición de las bayas del cv. Syrah también fue modificada por la aplicación de PMS, aunque en este cultivar el contenido de taninos totales no fue afectado significativamente (Tabla 9).

Las bayas del cv. Ancellotta presentaron niveles similares de acidez titulable en la PM1 y PMS2 (4,7 y 4,9 g/L, respectivamente), mientras que aumentó en la PMS3 a 5,4 g/L. Los taninos siguieron el mismo patrón, fueron similares en PM1 y PMS2 (0,17 y 0,19 mg/g de baya, respectivamente), e incrementaron significativamente en PMS3 (0,33 mg/g de baya). Por su parte, las bayas en PM1 tuvieron los valores más bajos de SST (19,3 °Brix), incrementando a 23,7 °Brix en promedio en ambos PMS2 y PMS3. Los fenoles totales tuvieron el mismo patrón, siendo más bajos luego de la PM1 (0,38 mg/g baya) y aumentando en PMS2 y PMS3 (promedio 0,57 mg/g de baya). Finalmente, la concentración de antocianos totales mostró los niveles más bajos luego de la PM1 (0,29 mg/g de baya), intermedia en la PMS2 (0,75 mg/g de baya) y más alta en la PMS3 (0,99 mg/g de baya).

Al analizar la composición de las bayas del cv. Syrah, se observó en la acidez titulable valores similares en las dos primeras PMS (promedio 4,3 g/L) y un aumento significativo en la PMS3 (4,9 g/L). Los fenoles totales tuvieron el mismo patrón, siendo similares en PM1 y PMS2 (promedio 0,35 mg/g de baya) y aumentaron en PMS3 (0,40 mg/g de baya). Los antocianos totales también fueron similares en la PM1 y PMS2 (0,25 mg/g de baya) y aumentaron en la PMS3 (0,39 mg/g de baya). En oposición, el pH fue menor en la PM1 (3,74), mientras que no hubo diferencias significativas entre la PMS2 y PMS3 (promedio 3,88). En los SST de las bayas se observó un incremento significativo desde PM1 (22,3 °Brix) hasta PMS3 (24,9 °Brix). Los taninos totales de las bayas no presentaron diferencias entre las temporadas de estudio, siendo en promedio de 0,39 mg/g de baya.

Tabla 9. Concentración de sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), pH, fenoles, taninos y antocianos totales en bayas de cvs. Ancellotta y Syrah podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza.

Cultivar	Fuente de variación	SST	AT	pH	Fenoles totales	Taninos totales	Antocianos totales
		Podar	(°Brix)	(g/L)	(mg/g baya)	(mg/g baya)	(mg/g baya)
Ancellotta	PM1	19,27 a	4,77 a	3,67	0,38 a	0,17 a	0,29 a
	PMS2	23,67 b	4,92 a	3,81	0,54 b	0,19 a	0,75 ab
	PMS3	23,76 b	5,40 b	3,93	0,60 b	0,33 b	0,99 b
	p-valor	<0,0001	0,0125	0,3491	0,0096	0,0233	0,0456
Syrah	PM1	22,33 a	4,42 a	3,74 a	0,36 ab	0,40	0,24 a
	PMS2	23,99 b	4,17 a	3,90 b	0,35 a	0,36	0,26 a
	PMS3	24,86 c	4,92 b	3,84 b	0,40 b	0,42	0,39 b
	p-valor	0,0003	0,0048	0,0109	0,0488	0,394	0,0022

Letras distintas en cada valor (n = 6) en la misma columna para cada cultivar indican diferencias significativas según la prueba LSD y p≤0,05.

3.8. Relación de índice de equilibrio vegetativo/reproductivo a nivel brote y la calidad de las bayas

La relación entre el índice de equilibrio área foliar por brote/peso del racimo (AF/PR_{brote}) y variables de calidad de las bayas son presentadas en la Figura 7. Agrupando los dos cultivares se obtuvo una única relación entre SST y AF/PR_{brote}, donde las bayas incrementaron SST con el incremento de la relación AF/PR_{brote} ($R^2=0,68$, panel b), hasta un valor de AF/PR_{brote}= 13,4 cm²/g, por encima del cual, los SST se mantuvieron estables. El pH estuvo altamente correlacionado con el AF/PR_{brote} ($R^2=0,47$, panel a), donde una única relación que incluyó ambos cultivares fue ajustada. El pH incrementó lineal y positivamente con AF/PR_{brote} hasta un valor umbral de 19,6 cm²/g, a partir del cual el pH se mantuvo estable en su valor máximo. El contenido de fenoles totales incrementó con el incremento de la relación AF/PR_{brote} en el cv Ancellotta ($R^2=0,85$, panel c), mientras que para el cv Syrah la relación no fue significativa. Los antocianos totales y AF/PR_{brote} estuvieron linealmente relacionados, presentando el cultivar cv. Ancellotta ($R^2= 0,75$, panel d) una mayor sensibilidad (pendiente más alta) que el cv. Syrah ($R^2 = 0,5$, panel d).

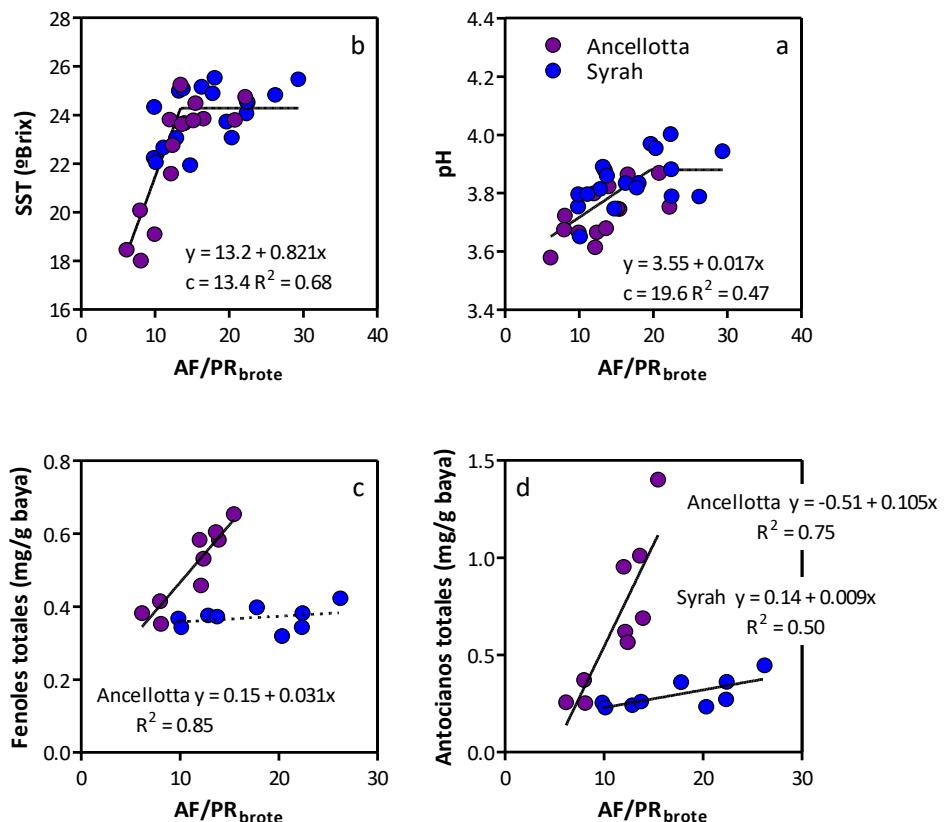


Figura 10. Relaciones entre pH (a), SST (°Brix) (b), Fenoles Totales (c) y Antocianos Totales (d) con el índice Área Foliar/Peso de Racimo a nivel brote (AF/PR_{brote}). Línea continua muestra relación significativa a $p = 0,05$. Línea discontinua es no significativa a $p \leq 0,05$.

4. DISCUSIÓN

4.1. La Poda Mecanizada en años sucesivos (PMS) y su efecto sobre la carga de yemas

La PMS, manteniendo el mismo tamaño de caja o intensidad de poda, tuvo un efecto marcado sobre la cantidad de yemas remanente en las plantas, la cantidad de pitones y las yemas por pitón. Esto fue más evidente en el primer año de estudio cuando las plantas pasaron desde un manejo de poda manual en pitones a una poda mecanizada con un tamaño de caja promedio de 16 cm de alto y 29 cm de ancho.

La PMS provocó una disminución progresiva del número de yemas por pitón y del largo del pitón en ambos cultivares (Tabla 5). El número de yemas por pitón disminuyó entre la primera y cuarta poda aplicada en años sucesivos 52 % y 47 % en los cvs. Ancellotta y Syrah, respectivamente, siendo más evidentes los cambios entre PM1 y PMS2, y entre la PMS3 y PMS4. Mientras que el largo del pitón disminuyó un 83 % y 71 % entre PM1 y PMS4 en los cvs. Ancellotta y Syrah, respectivamente, siendo más evidentes los cambios entre la PM1 y PMS2, y entre la PMS2 y PMS4. De esta manera, entre PM1 y PMS2, el largo del pitón disminuyó 65 % y 53 % en los cvs. Ancellotta y Syrah, respectivamente, mientras que entre PMS2 y PMS4 disminuyó 51 % y 31 %, respectivamente. Los resultados pueden ser explicados por el hecho de que pitones de mayor longitud tendieron a tener mayor porcentaje de brotación en las yemas ubicadas en posiciones apicales. Al realizarse la poda siempre en la misma posición, se generan pitones con un menor número de yemas en la siguiente estación de crecimiento (Tabla 5). Esto coincide con un estudio previo, donde se observó que el número de yemas por pitón disminuía o permanecía estable durante la aplicación sucesiva de poda mecanizada, cuando la altura de corte aplicada fue de 25 cm y 12 cm, respectivamente (Peppi et al. 2017).

La disminución de la longitud del pitón y del número de yemas por pitón provocada por la PMS condujo a una mayor frecuencia de pitones con menor cantidad de yemas (Figuras 6 y 7). Luego de la PM1, en el cv. Ancellotta los pitones más frecuentes fueron los de tres y cuatro yemas (61 % del total de pitones remanentes) y para el cv. Syrah los pitones con dos, tres y cuatro yemas representaron el 85 % del total de pitones remanentes. Luego de la PMS2, los pitones con una y dos yemas concentraron el 90 % en ambos cultivares, mientras que después de la PMS3 los pitones con una y dos yemas concentraron el 70 y 82 % en los cvs. Ancellotta y Syrah, respectivamente. A partir de la PMS3 aparecieron pitones con sólo la yema basal, representando el 5 % en cv Ancellotta y el 11 % en el cv Syrah. Este incremento en la frecuencia

de pitones con menor cantidad de yemas también fue observado en el cv. Cabernet Sauvignon con poda mecanizada en caja, como se demostró en el capítulo precedente (Barcia et al., 2023).

En contraste a la influencia de la PMS sobre el largo de los pitones, el número de pitones por metro de cordón incrementó con la aplicación de PMS en ambos cultivares. El aumento en el número de pitones por metro de cordón entre la PM1 y la PMS4 fue del 204 % en el cv. Ancellotta y del 190 % en el cv. Syrah. Los cambios fueron más evidentes entre la PMS2 y PMS3 para el cv. Ancellotta, y entre la PM1, PMS2 y PMS3 para el cv. Syrah. En contraste, entre el PMS3 y PMS4, el número de pitones por metro incrementó levemente en el cv. Ancellotta, o permaneció estable en el cv. Syrah, ambos relacionados con el patrón del número de sarmientos observado en cada cultivar previo a la poda (Tabla 6). La relación directa entre el número de pitones y la cantidad de sarmientos también fue observada previamente para el cv. Cabernet Sauvignon (Capítulo II, de esta tesis). A su vez, el número de sarmientos está relacionado con la capacidad de la planta (ver más adelante apartado 4.2.1), por lo tanto, el número de pitones dependería a largo plazo de la capacidad de la planta. Como se observó, el equilibrio en el número de pitones se logró con el avance de la PMS, por lo tanto, el período de transición cuando se cambia de sistema de conducción y/o de poda es crítico al momento de evaluar la evolución de los pitones en el tiempo. En la misma línea, Peppi et al. (2017), observaron que el número de pitones no cambió con la aplicación de podas sucesivas en un viñedo manejado con poda mecanizada. Los autores comenzaron a cuantificar la cantidad de pitones 5 años después que el viñedo fuera convertido desde poda manual en pitones a poda mecanizada, a diferencias de nuestro estudio que incluyó los primeros tres años de transición. Es evidente que, para entender la evolución del número de pitones con el paso de la PMS, es necesario iniciar la evaluación desde el momento que se cambia de poda y por un mayor número de años de estudio.

Como resultados de la influencia de la PMS sobre el largo y número de pitones, el remanente de yemas por metro de cordón incrementó entre la PM1 y PMS3, un 69 % y 133 % en los cvs. Ancellotta y Syrah, respectivamente; explicado principalmente por un aumento en el número de pitones proporcionalmente mayor que la reducción de yemas por pitón. Mientras que, entre PMS3 y PMS4, las yemas remanentes disminuyeron un 23 % y 34 %, en los cvs. Ancellotta y Syrah, respectivamente, debido principalmente a una disminución de las yemas por pitón proporcionalmente mayor al incremento del número de pitones. La reducción en el remanente de yemas con la aplicación de PMS nos hace pensar que la aplicación en un mayor número de años llevaría a un número de yemas remanentes en equilibrio con la capacidad de la planta, generado por una disminución de yemas francas. La reducción en el número de yemas francas puede llevar a la aparición de brotes desde yemas basales o estructura (ver 4.2.1) formando

nuevos pitones con aporte de yemas francas. Los resultados fueron similares a los obtenidos en experimentos a largo plazo, donde el remanente de yemas tendió a aumentar (Gatti et al., 2011) o a estabilizarse (Morris et al., 2010), dependiendo principalmente del momento en que se inicia la evaluación de la poda durante la formación de la caja y de la evolución de la capacidad de la planta y su equilibrio con el número de sarmientos.

4.2. La Poda Mecánica Sucesiva y su efecto sobre los mecanismos de compensación de la vid y del crecimiento vegetativo

4.2.1. Brotación y características de los brotes desarrollados

La poda mecánica sucesiva provocó entre la primera y última temporada un incremento significativo en el remanente de yemas (Tabla 5). El aumento en la cantidad de yemas estuvo inversamente relacionado con el porcentaje de brotación. Esta relación ha sido estudiada por diversos investigadores y se lo denomina mecanismo de brotación fisiológicamente autorregulado (Intrieri et al., 2011; Peppi et al., 2017). La disminución del porcentaje de brotación con el incremento del número de yemas ha sido ampliamente relacionada a la influencia de la disponibilidad de carbohidratos sobre la brotación (Elwafa y Thoraau, 2018) y a la competencia por asimilados entre las yemas durante la brotación (Wang et al., 2020). Además, el movimiento de auxinas desde el extremo distal hacia el proximal de los pitones produciría la inhibición de la brotación de las yemas basales (McLoughlin et al., 2011). Este fenómeno de brotación preferencial de las yemas distales por sobre las basales dentro de un mismo sarmiento se denomina inhibición correlativa (Keller, 2020) y generalmente se presenta con mayor frecuencia en pitones de tres o más yemas que en pitones de una o dos yemas.

La influencia de la PMS sobre el número de sarmientos desarrollados presentó algunas diferencias entre los cultivares evaluados. En el cv. Ancellotta, el número de sarmientos por metro aumentó 70 % entre PM1 y PMS3. Mientras que en el cv. Syrah, el incremento en el número de sarmientos por metro no mostró diferencias significativas durante las tres temporadas de PMS. El diferente patrón observado entre cultivares tiene relación con el patrón de las variables asociadas a la “capacidad de planta” como son la materia seca de fuente (MSF) y la relación entre la materia seca de la fuente y de la producción (MSF/MSP). Así, en el cv. Ancellotta, el incremento en el número de sarmientos de la tercera temporada estaría relacionado con la disminución de la MSP, lo que produjo una mayor relación MSF/MSP. Los resultados parecen indicar que existió en el cv. Ancellotta mayor disponibilidad de asimilados de reserva resultando en la siguiente temporada una mayor brotación en términos de número de brotes. Por su parte, el cv. Syrah no presentó diferencias significativas en la MSF ni entre las

dos primeras temporadas en la relación MSF/MSP, lo que conlleva a una estabilización en la disponibilidad de carbohidratos y por consiguiente en el número de sarmientos por metro.

Coincidente con nuestros resultados, en otros trabajos de poda mecánica a largo plazo, Martínez de Toda y Sancha (1999) comparando poda manual con poda mecanizada y, del mismo modo, Botelho et al. (2020) en un ensayo de poda mecánica y fertilización con enmiendas orgánicas, encontraron que un aumento en la producción de materia seca total producía un incremento en la cantidad de sarmientos de la temporada posterior. Cabe destacar, que el incremento en el número de sarmientos en la segunda temporada de aplicación de poda mecanizada podría ser explicado por un incremento de la capacidad de la planta debido al cambio de la conducción de los brotes en VSP (previo al experimento) a una conducción libre. Louarn et al. (2008) observaron que la canopia libre del SHW presenta mayor área foliar iluminada que la canopia conducida en VSP, donde el hábito de crecimiento de los brotes cultivar dependiente tienen un rol importante.

La aplicación de PMS durante tres temporadas sucesivas provocó una disminución en el porcentaje de yemas ciegas en la posición basal y en los primeros nudos de los pitones, incrementando sus aportes en términos de cantidad de yemas productivas y vegetativas. La influencia de la PMS sobre la proporción y ubicación de yemas que no brotaron o quedaron ciegas fue diferente entre los cultivares. En el cv. Ancellotta, las yemas que no brotaron disminuyeron de manera más evidente en las posiciones uno y dos de los pitones, siendo un 45 % (promedio de ambos nudos) luego de la PM1 hasta sólo un 14 % luego de la PMS3. En el cv. Syrah, la disminución en la proporción de yemas ciegas fue más evidente en la posición basal, pasando del 66 % al 36 % entre la PM1 y PMS3. La disminución de las yemas ciegas tuvo como consecuencia el aumento de brotes con potencial a ser fructíferos desde las yemas en posiciones basales. Este mecanismo de brotación de las yemas basales de los pitones o de madera de la estructura es fundamental en la poda mecánica en caja para la renovación del interior de la caja con nuevos brotes que serán futuros pitones en la temporada siguiente, tal como observaron Peppi et al. (2017) evaluando poda mecánica con distintas alturas de poda mecanizada.

El potencial productivo de los brotes desarrollados de yemas basales es fuertemente afectado por el cultivar y el manejo del viñedo (Poni et al., 2004). En nuestro estudio, entre la PM1 y la PMS3, la cantidad de brotes con uva desarrollados desde posiciones basales incrementó 390 % y 222 % en los cvs. Ancellotta y Syrah, respectivamente, esto relacionado mayoritariamente con el incremento de pitones cortos y por consecuencia de yemas basales que brotaron. La cantidad de brotes con uva desarrollados en las yemas francas mostró menores

diferencias con la aplicación en años sucesivos de poda mecánica. El cv. Ancellotta incrementó en un 74 % los brotes con uva entre PM1 y la PMS3, y fue similar entre años en el cv. Syrah. En el cv. Ancellotta se produjo un incremento de la proporción de brotes con uva o aumento de la “fertilidad” de las yemas ubicadas en las posiciones uno y dos de los pitones. Este efecto también fue observado por McLoughlin et al. (2011), donde la brotación ocurre siempre en las yemas distales de los pitones, pero dependiendo del largo del pitón será la posición de los nudos a brotar. De esta manera, vieron que cuando la posición de nudos dos y tres se ubicaron en las dos posiciones más distales del pitón (pitones de 3 nudos) fueron más fructíferos que los mismos nudos ubicados en pitones más largos (pitones de 4 y 5 yemas).

4.2.2. Crecimiento vegetativo

La PMS modificó en ambos cultivares las variables asociadas al crecimiento vegetativo como el largo de entrenudos de los sarmientos, los nudos por metro de cordón y el área foliar. El largo del entrenudo mostró una tendencia a disminuir con la aplicación sucesiva de la poda mecánica, siendo más evidente entre PM1 y PMS2, donde el cv. Ancellotta disminuyó un 19 % y el cv. Syrah un 15 %. El número de nudos aumentó con la PMS, debido principalmente a que hubo un incremento en el número de sarmientos y a que los mismos no modificaron su cantidad de nudos (Tabla 6). El cv. Ancellotta incrementó un 90 % los nudos por metro de cordón entre PM1 y PMS2, mientras que en el cv. Syrah se observó la misma tendencia, aunque no fue significativa. Por otro lado, el AF_{planta} incrementó en ambos cvs. entre PM1 y PMS2, siendo el incremento del 90 % en el cv. Ancellotta y del 54 % en el cv. Syrah. Del mismo modo, Martinez de Toda y Sancha 1999 asociaron una mayor área foliar a la poda mecanizada, principalmente relacionado con la no restricción de yemas en la poda y por un aumento en el número de brotes en la temporada de crecimiento.

4.2.3. Producción y componentes del rendimiento

La PMS influyó significativamente sobre la producción, aunque las ocurrencias de accidentes climáticos parecen haber jugado un rol clave. En el cv. Ancellotta, no se observaron diferencias significativas en la producción entre PM1 y PMS3, mientras que se observó una disminución en la PMS2 (Tabla 7). En PMS2, la reducción de la producción pudo estar asociada a la ocurrencia de helada tardía durante la primavera 2017 (13 octubre de 2017, temperatura mínima absoluta -1,5 °C), donde no se observó daño a nivel de brote, pero si la muerte de inflorescencias. La incidencia de la helada fue más importante en el cv. Ancellotta, debido a que sus inflorescencias se encontraban en un estado más avanzado y de mayor susceptibilidad que las inflorescencias del cv. Syrah. En el cv. Syrah, la producción en PM1 y PMS2 no presentó diferencias significativas,

mientras que en la PMS3 disminuyó significativamente. La primavera 2018 fue caracterizada por ser húmeda y fresca, condiciones predisponentes para la aparición del desorden fisiológico llamado “necrosis de la inflorescencia” (Keller et al., 2001) o “necrosis temprana del tallo del racimo” (EBSN en inglés) (Jackson, 1991), produciendo muerte de inflorescencias en el cv. Syrah. Más allá de estas variaciones ligadas probablemente a las condiciones de las temporadas, nuestros resultados concuerdan con lo observado por Peppi et al. (2017), donde concluyeron que la poda mecanizada permite rendimientos estables a través de las temporadas, sin la necesidad de intervenir con un repaso manual.

A pesar de mantener el rendimiento por planta estable, la PMS tuvo un fuerte impacto sobre los componentes del rendimiento, produciendo aumento en el número de racimos y una disminución en el peso de los mismos. En el cv. Ancellotta, el número de racimos aumentó significativamente un 52 % entre PM1 y PMS3. En el cv. Syrah, no se observaron diferencias (Tabla 7) entre PM1 y PMS3, asociado principalmente a la pérdida de racimos ocurrida durante la tercera temporada. El incremento del número de racimos en el cv. Ancellotta fue relacionado al aumento en el número de brotes con uva desarrollados desde yemas en posiciones basales y desde las primeras yemas francas de los pitones. Por el contrario, se observó una escasa variación entre PM en el cv. Syrah (ver apartado 3.2). Por otro lado, el peso de racimos disminuyó en el cv. Ancellotta un 46 % entre PM1 y PMS3, mientras que para el cv. Syrah la disminución fue del 38 %. En la misma línea, McLoughlin et al. (2011) observó que el número de flores por inflorescencia (y luego bayas por racimo) disminuían cuando la posición de la yema era más basal dentro del pitón. Por su parte, Kurtural et al. (2013) en otro estudio en el cv. Syrah, comparó poda manual y poda mecánica en caja, en combinación con tratamientos de raleo de brotes. Los autores observaron una disminución en el peso de racimos en algunos tratamientos asociado a un incremento en igual magnitud del número de los racimos, resultando en la ausencia de diferencias en la producción entre tratamientos.

La disminución del peso del racimo estuvo asociada a una disminución en el número de bayas por racimo más que a una disminución del peso medio de la baya (Tabla 7). El número de bayas por racimo disminuyó entre PM1 y PMS3 un 50 % en el cv. Ancellotta, y un 44 % en el cv. Syrah. Poni et al. (2004) también observó que el aumento en el remanente de yemas debido a la poda mecánica produce racimos de menor peso asociado a menor número de bayas, sin cambios en el peso de las mismas. Cabe destacar, que en las temporadas donde ocurrieron algunas de las contingencias climáticas que redujeron la producción en ambos cultivares, el peso de la baya fue el componente más afectado, mostrando aumentos del 15 % en el cv. Ancellotta y del 7 % en el cv. Syrah. En resumen, la PMS manteniendo las dimensiones de la caja de poda,

permitió mantener los rendimientos estables en el tiempo, pero con fuertes modificaciones en los componentes del rendimiento (i.e. mayor número de racimos) y la arquitectura del racimo (i.e. racimos más pequeños con menos bayas y probablemente más sueltos).

4.2.4. Índices de equilibrio vegetativo/reproductivo en planta entera y composición de las bayas

La PMS tuvo efecto sobre el AF/P_{planta} y el IR. Además, los índices fueron afectados por contingencias climáticas manteniendo el patrón explicado para la producción. De esta manera, en la primera temporada cuando la producción fue alta y distribuida en pocos sarmientos, el AF/P_{planta} fue muy bajo (0,29 m²/kg en cv. Ancellotta, y 0,37 m²/kg en el cv. Syrah), estos valores indicarían plantas con exceso de producción en relación al área foliar para sistemas de conducción de canopia simple (Kliewer y Dokoozlian, 2005). Luego, cuando la producción fue estable e incrementó el número de sarmientos (por lo que aumentó el AF_{planta}), se produjeron valores intermedios de AF/P_{planta} (0,61 m²/kg en ambos cultivares) en PMS3 en el cv. Ancellotta y en PMS2 en el cv. Syrah (estos valores intermedios no mostraron diferencias significativas con PM1). Valores en rango óptimo de AF/P_{planta} para canopia dividida (0,5-0,8 m²/kg) pero más bajo que el óptimo (0,8-1,2 m²/kg) en canopia simple (Kliewer y Dokoozlian, 2005). En contraste, cuando la producción disminuyó en una situación de alto número de sarmientos, la relación AF/P_{planta} fue la más alta, siendo en PMS2 en el cv. Ancellotta (1,1 m²/kg) y en PMS3 en el cv. Syrah (1,35 m²/kg). Lo mismo ocurrió al evaluar el IR, en PM1 cuando la producción fue alta y distribuida en pocos sarmientos, el IR fue alto (29 en cv. Ancellotta y 26 en el cv. Syrah). Luego, cuando se mantuvo la producción y aumentó el número de sarmientos, el IR presentó valores intermedios (21 en el cv. Ancellotta en PMS3 y 22 en el cv. Syrah en PMS2). Kliewer y Dokoozlian (2005) consideraron un rango óptimo de IR entre 5-10 en canopia simple y de 4-10 en canopia dividida. En contraste, cuando la producción se distribuyó en un mayor número de sarmientos, el IR fue bajo (15 en el cv. Ancellotta PMS2 y 10 en el cv. Syrah PMS3).

La PMS afectó las características cualitativas medidas en las bayas. En el cv. Ancellotta, se observó un incremento entre PM1 y PMS3, en la acidez titulable (13 %), SST (23 %), fenoles totales (58 %), taninos totales (94 %) y antocianos totales (241 %). En el cv. Syrah, también se observó un incremento entre PM1 y PMS3, en la acidez titulable (11 %), pH (3 %), SST (11 %), fenoles totales (11 %) y antocianos totales (62 %). Para ambos cultivares se encontró una alta relación positiva entre los SST y los antocianos totales (datos no mostrados) con un R² de 0,77 y 0,55 para Ancellotta y Syrah, respectivamente, similar a lo observado por Sadras et al., 2007 en el cv. Cabernet Sauvignon. Los incrementos en los metabolitos estuvieron relacionados con un

aumento en el número de sarmientos, una disminución en el peso de los racimos y en un incremento en el AF_{planta}. Esto concuerda con lo observado por Intrieri et al. (2011), donde se evaluó poda manual en cordón de pitones versus poda mínima en seto a distintas alturas. Como consecuencia, cuando la producción se distribuyó en mayor número de brotes, que aportaron mayor área foliar total y que disminuyó el peso de los racimos, provocaron el incremento de los antocianos totales de la baya.

Cabe destacar que los incrementos en las variables de calidad de baya (SST, acidez titulable, fenoles totales y antocianos totales) tienen relación con los incrementos en los índices de equilibrio vegetativo/reproductivo a excepción de lo que ocurrió en PMS2 en el cv. Ancellotta donde a pesar de que el AF/P_{planta} fue significativamente más elevado (1,08 m²/kg) no existió aumento en los antocianos totales ni fenoles totales. Del mismo modo, Ahumada et al, 2020 encontraron en un experimento de intensidad de poda mecánica, que a similares valores de AF/P_{planta} (rango 0,51-0,58 m²/kg) podría conducir a distintas respuestas en la concentración de antocianos y fenoles totales en los vinos. Mientras, Kurtural et al. (2013) en un ensayo de raleo de brotes en poda mecanizada, también encontró que a similares valores de AF/P_{planta} (rango 1,7-1,8 m²/kg) se observaron diferencias del 17 % en las concentraciones de fenoles, del 44 % en taninos y del 51 % antocianos. En relación con los resultados obtenidos, el AF/P_{planta} podría ser un buen indicador de los SST de las bayas, sin embargo, esta relación sólo explicó parcialmente los cambios en los en los metabolitos secundarios de las bayas, donde además del área foliar a nivel planta, el hábito de crecimiento de los brotes parece tener un papel importante sobre el microclima de la canopia (Louarn et al., 2008).

4.2.5. Relación entre índice de equilibrio a nivel brote y la composición de la baya

Cabe destacar que se realizaron regresiones entre las variables de calidad de baya y AF/P_{planta} e IR (datos no mostrados), pero las mismas se consideraron en general débiles comparadas con el AF/PR_{brote}. Para los SST el R² con AF/P_{planta} fue de 0,7, mientras que con el IR fue de 0,4 (se agruparon para ambas relaciones los dos cultivares). Por otro lado, para fenoles totales, el cv. Syrah no presentó relaciones significativas ni con AF/P_{planta} ni con IR, mientras que en el cv. Ancellotta el R² fue de 0,5 para AF/P_{planta} y de 0,7 para IR. Para los antocianos totales el cv. Syrah tuvo un R² de 0,8 con AF/P_{planta} y de 0,54 con IR. Por su parte, en el cv. Ancellotta no hubo relación significativa entre AF/P_{planta} y los antocianos totales, mientras que la relación con el IR presentó un R² = 0,7. La relación bilineal entre AF/PR_{brote} y la variable de metabolito primarios SST se agruparon en una misma relación ambos cultivares, donde en nuestro estudio a partir de 13,4 cm²/g se alcanzó un valor máximo de SST de 24 °Brix, en promedio. La relación entre SST y

AF/PR_{brote} fue también observada por Kliewer y Dokoozlian (2005) y Fredes et al. (2010). En cambio, en variables de metabolitos secundarios como fenoles y antocianos totales existió una respuesta diferente en ambos cultivares, donde Ancellotta presentó una mayor sensibilidad (pendiente = 0,105; Fig. 10 d) al incremento de la relación AF/PR_{brote} que lo observado en el Syrah (pendiente = 0,009; Fig. 10 d). La mayor respuesta de cv. Ancellotta puede explicarse a que es un cultivar con una alta capacidad de sintetizar compuestos fenólicos que es inherente al genotipo (Alvarez Gaona et al., 2018). Otro punto interesante, es que la biosíntesis de metabolitos secundarios tiene relación con el microclima de los racimos. De este modo, la estructura de la canopia determina la radiación interceptada por los racimos lo cual genera efectos sobre la composición de metabolitos secundarios de la baya (Bergqvist et al., 2001; Sun et al., 2017). Estos autores determinaron que existe tanto un efecto directo de la radiación sobre la síntesis de ciertos compuestos fenólicos como un efecto indirecto a través de la temperatura. La variabilidad entre cultivares en la arquitectura de los brotes tendría mayor influencia en los sistemas de canopia libre donde las plantas expresan su hábito de crecimiento según sus características genéticas y de vigor, en contraste con sistemas de conducción como el VSP, donde las canopias se conducen sobre una pared vertical (Louarn et al., 2008; Yu et al., 2022). Por último, en sistemas de poda mecánica y manejo libre de los brotes, el uso del indicador tradicional de área foliar/producción a nivel de planta entera sumado al área foliar por brote/el peso del racimo podría brindar información complementaria sobre el equilibrio a nivel brote que podría estar relacionado con la arquitectura de la canopia y el microclima de los racimos, aunque más estudios son requeridos en el futuro.

5. CONCLUSIONES

La poda mecánica sucesiva provocó un incremento de yemas remanentes que tendería a equilibrarse con la capacidad de la planta a través de la aplicación en años sucesivos, debido a un aumento de la cantidad de pitones, pero de menor longitud. A su vez, el acortamiento en la longitud de los pitones provocó que las yemas basales y de los primeros nudos disminuyeran su proporción de “ciegas”. El incremento de yemas produjo una compensación mediante una disminución en el porcentaje de brotación. A pesar de ello, hubo un incremento en el número de sarmientos y un incremento de los brotes con uva provenientes de yemas basales. Como consecuencia aumentó el número de racimos, aunque sin afectar la producción debido a una disminución en el peso del racimo y a un menor número de bayas por racimo. Además, el incremento del número de sarmientos incrementó el área foliar a nivel planta. Como

consecuencia, se obtuvo una mayor relación área foliar por brote/peso racimo que estuvo relacionado a mayores valores de antocianos y fenoles totales.

En este capítulo, se generó conocimiento relacionado a la evolución en la carga de yemas, la brotación y de los procesos de compensación de la planta en cuanto a componentes del rendimiento y crecimiento vegetativo en respuesta a podas mecanizadas durante tres temporadas consecutivas. Además, se obtuvo relación entre el AF/PR_{brote} y los SST, pH, antocianos y fenoles totales. Finalmente, se observó que la PMS realizada en caja manteniendo la intensidad y con conducción libre de brotes puede ser realizada satisfactoriamente a través del tiempo, sin afectar la producción y mejorando la calidad de la baya. Más estudios son requeridos sobre el mecanismo de renovación de pitones dentro de la caja y de la evolución a largo plazo de la riqueza de yemas en relación con la capacidad de la planta. También es necesario investigar si los requerimientos hídricos y nutricionales no se incrementan debido a la PMS acorde a los incrementos en AF y producción.

CAPÍTULO IV

Influencia de la posición dentro de la canopia sobre microclima, producción, y la composición de la baya, en vides con Poda Mecanizada Sucesiva y canopia libre durante tres años en los cvs. Ancellotta y Syrah

1. INTRODUCCIÓN

La poda mecanizada avanza a nivel mundial como una estrategia para disminuir costos operativos y poder realizar la poda en el momento oportuno, tareas que demanda un alto número de jornales en su ejecución (Allegro et al., 2023). La poda mecánica en caja (evaluada en esta tesis) es no selectiva y consiste como su nombre lo indica en formar una caja alrededor del cordón, mediante el uso de barras de cuchillas o discos de sierra (Kurtural et al., 2021). La poda en caja se adapta a viñedos conducidos en alambre simple alto o SHW (Single High Wire), donde las cuchillas pueden cortar suficientemente cerca del cordón. El sistema de conducción SHW, está conformado por un solo alambre donde se forma y sostiene el cordón, y los brotes crecen sin sujeción alguna, siendo de crecimiento libre y donde la forma que adopta la canopia está relacionada al hábito de crecimiento del cultivar (Poni et al., 2016).

El crecimiento libre de la canopia puede llevar a que las yemas, brotes y racimos estén expuestos a condiciones microclimáticas variables dependiendo de su posición dentro del canopia, impactando en la madurez, calidad y tamaño de los racimos. Como se ha visto en otros estudios, la ubicación de los racimos en posiciones periféricas de la canopia los expone a mayor intensidad de radiación y por lo tanto se calientan más que racimos posicionados en el interior de la canopia (Weyand y Schultz, 2006; Reshef et al., 2019). A su vez, racimos ubicados en posición Oeste de la canopia presentan mayor temperatura que racimos ubicados en posición Este (Tarara et al., 2008). Tal como se demostró en capítulos anteriores (Barcia et al., 2023), la aplicación de la poda en caja en años sucesivos impacta sobre el desarrollo de la canopia, lo cual podría modificar en consecuencia el microclima de una temporada a la otra, en adición a los cambios ambientales que ocurren dentro de una misma estación y entre las estaciones. Así, profundizar en el conocimiento del microclima en diferentes posiciones de la canopia permitiría un mejor manejo de viñedos adaptados a la mecanización integral de la poda y la cosecha (Del Zozzo y Poni, 2024).

La composición de las bayas es fuertemente influenciada por las condiciones del microclima, tanto por un efecto directo de la exposición de los racimos a luz solar (cantidad y calidad de luz) (González et al., 2015) como indirecto (temperatura) (Bergvist et al., 2001). A pesar del complejo efecto combinado entre radiación y temperatura, en zonas cálidas la temperatura parece ser un determinante ambiental más fuerte que la radiación solar sobre la acumulación de los antocianos en la piel de las bayas, mientras se alcance un umbral potencialmente bajo de exposición a la radiación solar (Tarara et al., 2008). Los cambios diurnos de las condiciones ambientales también tienen su efecto sobre la acumulación de metabolitos primarios y secundarios (Reshef et al., 2019), por efecto de la temperatura sobre la biosíntesis y degradación de los compuestos (Mori et al., 2007; Torres et al., 2020 y Dou et al., 2024).

Diversos estudios han demostrado que los metabolitos secundarios parecen estar directamente relacionados con la exposición de los racimos a la radiación y con las interacciones entre la luz y la temperatura sobre los racimos (Spayd et al., 2002; Mabrouk y Sinoquet, 1998; Gambetta et al., 2021). El sistema de conducción modifica el microclima alrededor de los racimos modificando la calidad de uva (Yu et al., 2022). Además, existen diferencias entre cultivares en la producción de metabolitos en similares condiciones ambientales, evidenciando una compleja interacción entre los genes involucrados y los momentos de expresión durante la maduración de las bayas según el genotipo (Gambino et al., 2021). Recientemente, el estudio de la influencia de la temperatura sobre productividad y calidad ha tomado mayor relevancia en el contexto del calentamiento global (Rienth et al., 2021). En este contexto, la evaluación de sistemas de conducción de canopia libre y su influencia sobre el microclima puede ser una herramienta de manejo eficiente en ambientes cálidos.

Los procesos fisiológicos y bioquímicos de las plantas en general responden a la radiación y a la temperatura, y resulta difícil separar los efectos individuales, ya que para esto se requiere la manipulación directa de las dos variables (Sadras et al., 2012). En condiciones de campo es especialmente difícil separar ambos efectos debido a que la radiación y la temperatura varían diurnamente, de esta manera la temperatura incrementa gradualmente poco después de la salida del sol hasta un máximo pasado el mediodía solar, luego disminuye hasta el atardecer y toda la noche hasta registrar un mínimo poco después del amanecer (Chen et al., 1999). La temperatura de los órganos de las plantas fluctúa en función de la temperatura del aire y de la exposición a la luz solar, aunque la interacción entre órganos vecinos (hojas y racimos) y el microclima que los rodea puede crear grandes diferencias entre la temperatura de los órganos y la del aire (Saudreau et al., 2011).

En el presente capítulo, indagamos sobre la variabilidad espacial en el microclima de la canopia en relación a su arquitectura, determinada por podas mecánicas sucesivas. Por lo tanto, en un viñedo de los cultivares Syrah y Ancellotta con Poda Mecanizada Sucesiva (PMS) en caja y conducción libre de brotes durante tres años, tuvimos como objetivos (i) caracterizar el microclima (radiación y temperatura del aire) en distintas posiciones de la canopia, (ii) caracterizar el área foliar, la producción, y la composición de las bayas en distintas posiciones de la canopia y (iii) evaluar la influencia del microclima alrededor de los racimos sobre la composición química de las bayas.

A partir de los objetivos enunciados se plantean las siguientes hipótesis:

Hipótesis 6: La posición de los racimos dentro de la canopia afecta las características de los racimos y la composición de la baya.

Hipótesis 7: La PMS afecta la estructura de la canopia, modificando las condiciones de radiación y de temperatura en su interior, y la composición de la baya.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Sitio y material vegetal

El experimento se llevó a cabo durante tres temporadas consecutivas, desde junio 2016 hasta agosto 2019 en una parcela experimental ubicada en Estación Experimental Junín de INTA, en el departamento de Junín ($33^{\circ} 06' 57'' S$, $68^{\circ} 29' 02'' O$, 666 m m.s.n.m.), Mendoza, Argentina. La parcela fue implantada en el año 2000 con los cultivares Ancellotta y Syrah, cada una ocupando tres hiladas contiguas de 35 metros de longitud, orientadas NE-SO y una distancia de 2,3 m entre hiladas y 1,5 m entre plantas. Previo al inicio del experimento, las plantas se formaron en cordón bilateral, con poda de pitones y sistema de posicionamiento de brotes verticales (VSP). El cordón se formó a 0,9 m de altura desde el suelo, y los brotes se sostenían mediante tres alambres para formar una canopia de 1,2 m de altura medida desde el cordón permanente. Las plantas se regaron con una sola línea de goteo por hilera, con emisores de 2 L/h espaciados a 0,6 m. El riego se manejó para reponer el 100 % de la ETc, utilizando los kc propuestos por FAO 56 para vides de mesa y pasas a lo largo de toda la estación de crecimiento. A partir de muestras de suelo, se determinó textura y se calculó el agua fácilmente aprovechable (FAO 56) a partir del 30% del agua disponible total. Además, se realizaron determinaciones gravimétricas de humedad de suelo previo al riego para un mejor control del momento oportuno y la lámina de riego. Cuando la humedad gravimétrica estuvo por debajo al umbral establecido, se ajustó la programación de riego aplicada. El clima es árido, con una precipitación anual de

190 mm, concentradas principalmente durante el verano. Los valores del Índice Heliotérmico de Huglin y del Índice de Frescor Nocturno estimados para el período 1996-2019 fueron de 2806 y de 12,3 °C, respectivamente, clasificando a la zona como “cálida” y con noches “frescas” (Tonietto y Carbonneau, 2004).

Datos diarios de temperatura máxima, mínima, humedad relativa y evapotranspiración de referencia fueron obtenidos a partir de una estación meteorológica Tecmex TS251 (Dirección de Contingencias Climáticas de la provincia de Mendoza) instalada a 50 metros del sitio experimental.

2.2. Tratamientos y diseño experimental

En el invierno del año 2016, el viñedo experimental fue transformado a un sistema de poda en caja y conducción libre de los brotes o “canopia libre”. Se estableció un tamaño de caja de 14 cm de alto por 30 cm de ancho y para que los brotes quedaran sueltos se removieron los alambres de conducción del follaje del espaldero, situados por encima del cordón (ubicado a 0,9 m sobre el suelo), para evitar que los brotes se sujetaran a los mismos. La realización de la poda en caja, el criterio de poda mecánica sucesiva (PMS) con el mismo tamaño de caja, el manejo libre de los brotes y la conformación de las unidades experimentales (repeticiones, n=6) fueron idénticas a las desarrolladas en el apartado 2.2 del Capítulo III, ya que las mediciones se realizaron sobre las mismas plantas.

La canopia de las plantas centrales de cada repetición fue dividida en cuatro posiciones. La posición por encima del cordón denominada “Top” y tres posiciones por debajo del cordón: parte central denominada posición “Centro”, en las posiciones laterales denominadas “Noroeste” (NO) y “Sureste” (SE) (Fig. 8). Las posiciones por debajo del cordón tuvieron aproximadamente 40 cm de alto por 40 cm de ancho, mientras que la posición Top tuvo una forma trapezoidal de 40 cm de alto, 40 cm de base superior y 120 cm de base inferior.

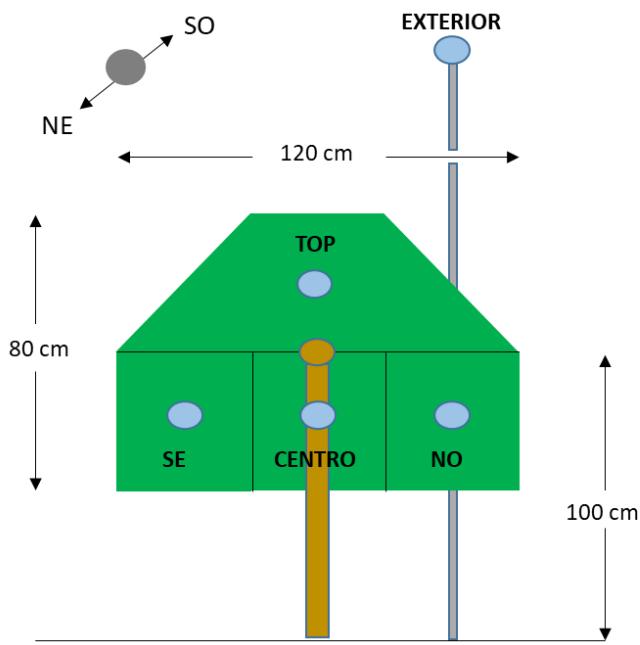


Figura 11. Esquema de las posiciones de la canopia en donde se realizaron las mediciones y muestreos y donde se ubicaron los sensores de radiación y temperatura (círculos celestes). Además, se identifica la orientación de las hileras NE-SO.

2.3. Mediciones

2.3.1. Radiación y temperatura en el interior y exterior de las posiciones de la canopia

La dinámica diaria de radiación incidente y de temperatura del aire fue determinada instalando en la parte media de cada una de las cuatro posiciones un sensor puntual de radiación fotosintéticamente activa (RFA, Apogee MQ-200) y otro de temperatura (iButton®, DS1921) (Fig. 11). Adicionalmente, por encima de la canopia, a 1,8 m de altura desde el suelo, se instalaron dos sensores para determinar la radiación incidente y la temperatura del aire por fuera de la canopia. Todos los sensores de radiación fueron colocados sobre un plano horizontal y con el sensor orientado hacia arriba. Los sensores de temperatura fueron colocados dentro de un tubo plástico perforado para evitar su exposición a la radiación directa. Las mediciones fueron realizadas en días totalmente despejados en tres plantas ($n=3$) de cada cultivar para cada temporada. Cada planta se midió durante 24 horas con una frecuencia de 30 minutos entre medición. Las mediciones se realizaron durante el período de maduración de la baya propuesto por Coombe 1995, es decir entre enero y cosecha, rango E-L 35-38 Eichhorn y Lorenz modificado. En la primera temporada los días de medición fueron: 29/12/2016, 03/01/2017 y 05/01/2017 para el cv. Syrah y 10/01/2017, 12/01/2017 y 25/01/2017 para el cv. Ancellotta. Para la segunda temporada, los días de medición fueron: 28/01/2018, 02/02/2018 y el 04/02/2018 para el cv. Ancellotta y el 08/02/2018, 12/02/2018 y el 14/02/2018 para el cv. Syrah.

En la tercera temporada, los días de medición fueron: 16/01/2019, 22/01/2019 y 24/01/2019 para el cv. Syrah y 27/01/2019, 29/01/2019 y 07/02/2019 para el cv. Ancellotta.

La radiación registrada en cada posición fue expresada como la relación entre la radiación medida en el interior de cada posición respecto a la radiación directa registrada en el exterior de la canopia. Del mismo modo la temperatura del aire fue presentada como la diferencia entre los valores diarios de temperatura en el interior de cada posición de la canopia respecto a la temperatura censada por encima de la canopia.

2.3.2. Área foliar y densidad del área foliar

El área foliar individual de cada una de las 4 posiciones ($AF_{posición}$) se determinó después de la cosecha y previo a caída de hojas en fenofase E-L 41 (maduración del sarmiento, Eichhorn y Lorenz modificado por Coombe 1995) en las 6 plantas de cada cultivar. Las hojas dentro de cada posición fueron extraídas e inmediatamente pesadas. Una planta de cada cultivar, seleccionada por presentar un peso total de hojas cercana al promedio del cultivar fue utilizada para obtener la relación entre peso y área foliar. Para esto, en todas las hojas de cada posición se le quitaron los pecíolos, luego las láminas foliares se extendieron sobre una superficie blanca, evitando superposiciones y colocada en el suelo. Una imagen de cada muestra fue obtenida utilizando una cámara fotográfica digital montada sobre un trípode y colocada perpendicular a la superficie. Las imágenes fueron procesadas posteriormente utilizando CobCal ver. 2.0 (INTA, BsAs, Argentina), obteniendo la superficie verde total. Luego, utilizando un análisis de regresión lineal entre peso fresco y área foliar se obtuvo una ecuación para cada posición y cultivar. A partir del peso fresco de hojas por posición medido en el resto de las repeticiones se estimó el área foliar, utilizando las ecuaciones obtenidas (Cv. Ancellotta: 2016-2017 = $3,71 \text{ m}^2/\text{kg}$, 2017-2018 = $3,87 \text{ m}^2/\text{kg}$ y 2018-2019 = $3,89 \text{ m}^2/\text{kg}$. Cv. Syrah: 2016-2017 = $3,74 \text{ m}^2/\text{kg}$, 2017-2018 = $4,01 \text{ m}^2/\text{kg}$ y 2018-2019 = $3,93 \text{ m}^2/\text{kg}$). Utilizando la longitud de cordón de cada planta muestreada, el área foliar fue expresada por metro lineal de cordón. Además, se calculó la densidad del área foliar (DAF), como la relación entre el $AF_{posición}$ (m^2) y el volumen (m^3) que ocupaba dicha posición dentro de la canopia. Para calcular el volumen asignado a cada posición se utilizaron las medidas establecidas en la Figura 11.

2.3.3. Componentes del rendimiento y composición de la baya

El momento de cosecha fue determinado cuando la ganancia diaria porcentual de azúcar por baya disminuyó por debajo de 0,4 %/día, según la metodología propuesta por Vila et al. (2010). Semanalmente se recolectaron 6 bayas en cada una de las cuatro posiciones y en las 6 plantas

de cada cultivar (i.e. 36 bayas por posición). Las bayas se pesaron y se determinó la concentración de sólidos solubles totales (SST; °Brix) con refractómetro. A partir de los datos obtenidos, se calculó el azúcar por baya (g/baya) mediante la ecuación:

$$\text{Contenido de azúcar por baya} \left(\frac{\text{g}}{\text{baya}} \right) = \frac{\text{Concentración azúcar del mosto} \left(\frac{\text{g}}{\text{L}} \right)}{\left(\frac{\text{nº bayas}}{\text{kg uva}} \right) * \text{densidad del mosto}}$$

Luego, se calculó la ganancia diaria porcentual de azúcar por baya como la diferencia entre dos mediciones sucesivas y el número de días entre muestreos. El cv. Syrah se cosechó el 15, 13 y 06 de marzo de 2017, 2018 y 2019, respectivamente. El cv. Ancellotta se cosechó el 13 de marzo, 20 y 25 de febrero de 2017, 2018 y 2019, respectivamente.

En la cosecha se recolectaron y pesaron todos los racimos de cada posición y de cada planta. La producción de cada posición se transportó por separado al laboratorio, donde se pesó individualmente cada racimo y se registró el número de racimos. Luego, todos los racimos de cada posición y en cada repetición se colocaron en una mesa en el laboratorio, extrayendo al azar dos muestras de 45 bayas cada una, considerando la ubicación de las bayas dentro de cada racimo (es decir, 15 bayas de la posición apical, 15 del medio y 15 de la base). Además, se extrajo una muestra de 5 racimos por posición para determinar el porcentaje del peso del raquis y de bayas. Luego, se estimó el número de bayas por racimo considerando el peso medio de la baya y el peso medio del racimo (descontando el porcentaje del raquis medido anteriormente).

Una de las muestras de bayas fue pesada para determinar el peso medio de la baya. Luego, ambas muestras de 45 bayas se congelaron a -20 °C para su posterior análisis. Una de las muestras se utilizó para obtener el mosto mediante prensado manual, donde previamente, al extraer las bayas del freezer se mantuvieron a temperatura ambiente hasta que alcanzaron los 20 °C, luego se secó con papel absorbente la humedad condensada sobre la superficie de las mismas. Los SST se midieron con un refractómetro compensado de temperatura (Atago-Co Ltd., Japón) y el pH se evaluó con un pH-metro digital (Denver Instrument UV-10) previamente calibrado. La acidez titulable (AT) se midió valorando con NaOH 0,1 N y se expresó como g/L de equivalentes de ácido tartárico.

La otra muestra de bayas fue utilizada para la determinación de compuestos fenólicos. Para la extracción de estos compuestos se tomaron 20 bayas, se pesaron y se procedió inmediatamente a la separación manual de los hollejos, siempre teniendo la precaución de secar mediante papel absorbente la humedad condensada sobre los hollejos. Luego, los hollejos

fueron pesados y conservados en bolsas de aluminio a -20 °C hasta su procesamiento. A partir de la muestra de hollejos, se realizó la extracción de los compuestos fenólicos en frascos color caramelo empleando como solvente 40 mL de una solución de acetona al 70% en agua ultra pura (Milli-Q). Los frascos se incubaron durante una noche (17-18 h) en agitador orbital (100-150 rpm, 15-20 °C). Transcurrido este tiempo, se separó la fracción líquida conteniendo los compuestos fenólicos, se centrifugó por 5 minutos a 4500 rpm, y el sobrenadante fue sometido a la concentración y eliminación de acetona empleando un evaporador rotatorio al vacío (BÜCHI R-100, Flawil, Suiza), a 35-40 °C. El extracto obtenido fue conservado a -20 °C hasta el momento de análisis. Los parámetros fenólicos globales en hollejos (fenoles, taninos y antocianinas totales), se determinaron por espectrofotometría UV-Visible siguiendo la metodología propuesta en estudios previos (Harbertson et al., 2002 y 2003; Heredia et al., 2006).

2.4. Análisis estadístico

Los datos de cada cultivar fueron sometidos independientemente a análisis de la varianza usando el software estadístico INFOSTAT (UNC, Argentina). Los efectos de la posición de la canopia, del número de podas mecánicas sucesivas y su interacción sobre las variables medidas fueron comparados usando un diseño de parcelas divididas con 6 repeticiones, considerando la PMS como parcela principal y las posiciones dentro de la canopia (P) como parcelas secundarias. Las comparaciones fueron realizadas utilizando la prueba LSD a un nivel de significancia de = 0,05. Todos los gráficos se prepararon con el software GraphPad Prism versión 5.01 (California, EE. UU.).

3. RESULTADOS

3.1. Radiación transmitida al interior de cada posición de la canopia y su evolución horaria

La radiación transmitida en cada posición resulta de la relación (expresada en porcentaje) entre la radiación medida en el interior de cada posición respecto a la radiación incidente sobre un plano horizontal ubicado en el exterior de la canopia. La radiación transmitida máxima diaria ($R_{max(int/ext)}$) y total acumulada diariamente ($R_{diaria(int/ext)}$) es mostrada para cada posición en ambos cultivares Ancellotta (Tabla 10) y Syrah (Tabla 11).

En el cv. Ancellotta, la $R_{max(int/ext)}$ y $R_{diaria(int/ext)}$ presentaron diferencias entre las posiciones de la canopia, los años de aplicación de la PMS y su interacción. El Top fue la posición con mayor $R_{diaria(int/ext)}$, siendo más alta en PM1 (98 %) y menor en PMS2 y PMS3 (promedio 33 %). Por el

contrario, la posición Centro presentó la menor R_{diaria}_(int/ext), siendo más alta en PM1 (8 %) que en PMS2 y PMS3 (promedio 2 %). Las posiciones NO y SE presentaron R_{diaria}_(int/ext) intermedia. SE no presentó diferencias entre PM1 y PMS3 (promedio 28 %) y fue menor en PMS2 (14 %). Por otro lado, la posición NO se mantuvo constante entre las PMS (promedio de 6 %). La R_{max}_(int/ext) tuvo un patrón similar al de la R_{diaria}_(int/ext), siendo la posición Top la de mayor R_{max}_(int/ext), siendo más alta en PM1 (96 %) y sin diferencias entre PMS2 y PMS3 (promedio de 77 %). La posición Centro, presentó valores de R_{max}_(int/ext) bajos respecto a las posiciones Top y SE, siendo mayor en PM1 (51 %), menor en PMS2 (5 %) e intermedio en PMS3 (20 %). La posición SE presentó valores altos y sin diferencias en las PM1 y PMS3 (siendo 88 % y 79 %, respectivamente) y disminuyó en PMS2 (51 %). La posición NO mantuvo constante la R_{max}_(int/ext) a través de las PMS (promedio 22 %), presentando junto a Centro los menores valores.

Tabla 10. Radiación solar transmitida (int/ext) y diferencial de temperatura del aire (int-ext) según las distintas posiciones de la canopia en plantas del cv. Ancellotta podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza.

Fuente de variación		Radiación solar transmitida		Diferencial de temperatura del aire		
		R _{max} (int/ext)	R _{diaria} (int/ext)	ΔT _{max}	ΔT _{med}	ΔT _{min}
PMS	Posición	(%)	(%)	°C	°C	°C
PM1	Top	96 e	98 f	0,50 ef	-1,94	-4,75
	Centro	51 c	8 bc	0,50 ef	-1,60	-3,00
	NO	30 b	8 bc	2,88 g	-1,24	-3,38
	SE	88 de	30 de	-0,62 de	-1,90	-3,63
PMS2	Top	81 d	36 e	-4,00 ab	-1,93	-0,25
	Centro	5 a	1 a	-3,50 ab	-2,05	-0,25
	NO	15 ab	5 b	-0,25 def	-1,52	-0,25
	SE	51 c	14 c	-3,50 ab	-1,74	-0,50
PMS3	Top	73 d	31 de	-4,85 a	-1,92	0,57
	Centro	20 b	3 ab	-2,78 bc	-1,79	-0,40
	NO	22 b	6 b	1,26 fg	-1,39	-1,79
	SE	79 d	26 d	-1,50 cd	-1,79	-2,55
Posición (P)	Top	84	55	-2,78	-1,93	-1,48
	Centro	25	4	-1,93	-1,81	-1,22
	NO	23	6	1,30	-1,38	-1,80
	SE	73	23	-1,87	-1,81	-2,23
PMS	PM1	66	36	0,81	-1,67	-3,69 a
	PMS2	38	14	-2,81	-1,81	-0,31 b
	PMS3	49	17	-1,96	-1,72	-1,04 b
P x PMS	p-valor	0,0308	<0,0001	0,0485	0,9589	0,5181
P	p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,1143	0,6756
PMS	p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,7833	0,0003

Los valores (n=3) con la misma letra no son significativamente diferentes dentro de cada P, PMS y P x PMS, según la prueba LSD con $p \leq 0,05$. Las letras solo se presentan cuando el ANOVA indica un efecto significativo.

Tabla 11. Radiación solar transmitida (int/ext) y diferencial de temperatura del aire (int-ext) según las distintas posiciones de la canopia en plantas del cv. Syrah podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza.

Fuente de variación		Radiación solar transmitida		Diferencial de temperatura del aire		
		R _{max} (int/ext)	R _{diaria} (int/ext)	ΔT _{max}	ΔT _{med}	ΔT _{min}
PMS	Posición	(%)	(%)	°C	°C	°C
PM1	Top	95	88 e	-1,00 d	-1,03	-1,50 a
	Centro	41	4 a	1,00 ef	-0,12	0,00 cd
	NO	69	31 cd	2,00 f	-0,40	-0,25 bc
	SE	73	11 abc	-0,25 de	-0,38	-0,25 bc
PMS2	Top	78	38 d	-4,38 ab	-2,23	-0,13 bcd
	Centro	16	3 a	-3,25 b	-2,21	-0,13 bcd
	NO	57	22 bcd	-1,13 cd	-1,80	-0,25 bc
	SE	34	15 abc	-4,13 ab	-2,05	-0,50 b
PMS3	Top	68	30 cd	-5,37 a	-2,71	0,21 d
	Centro	8	2 a	-2,95 b	-2,06	-0,10 cd
	NO	63	26 cd	0,42 def	-1,11	-0,25 bc
	SE	40	9 ab	-2,87 bc	-1,50	-0,21 bc
Posición (P)	Top	80 c	52	-3,58	-1,99 a	-0,47
	Centro	22 a	3	-1,73	-1,46 b	-0,08
	NO	63 bc	27	0,43	-1,10 b	-0,25
	SE	49 b	11	-2,41	-1,31 b	-0,32
PMS	PM1	69 b	33	0,44	-0,48 b	-0,50
	PMS2	46 a	19	-3,22	-2,07 a	-0,25
	PMS3	45 a	17	-2,69	-1,84 a	-0,09
P x PMS	p-valor	0,8606	0,0061	<0,0001	0,2459	<0,0001
P	p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0075	0,0107
PMS	p-valor	0,0136	0,0062	<0,0001	<0,0001	0,0008

Los valores (n=3) con la misma letra no son significativamente diferentes dentro de cada P, PMS y P x PMS, según la prueba LSD con $p \leq 0,05$. Las letras solo se presentan cuando el ANOVA indica un efecto significativo.

Similar al cv. Ancellotta, el cv. Syrah presentó diferencias significativas entre posiciones y año de aplicación de la PMS para las variables R_{diaria}(int/ext) y R_{max}(int/ext), mientras que la interacción sólo fue significativa para R_{diaria}(int/ext). La posición Top presentó consistentemente la mayor R_{diaria}(int/ext) a través de la PMS respecto al resto de las posiciones, siendo más alta en PM1 (88 %) y más baja y sin diferencias entre PMS2 y PMS3 (promedio 34 %). A su vez, la posición Centro fue la que presentó la menor R_{diaria}(int/ext) en comparación al resto de posiciones, siendo estable a través de las PMS y con un promedio de 3 %. Por otro lado, las posiciones NO y SE

presentaron valores de $R_{diaria(int/ext)}$ 27 % y 11 %, respectivamente, y estables a través de las PMS. La $R_{max(int/ext)}$ fue mayor en la posición Top (80 %), menor en la posición Centro (22 %), e intermedia en NO y SE (63 % y 49 %, respectivamente). A su vez, la $R_{max(int/ext)}$ fue mayor en PM1 (69 %) y no hubo diferencias entre PMS2 y PMS3 (46 % y 45 %, respectivamente).

La evolución de la radiación fotosintéticamente activa instantánea (R_{inst}) medida durante la madurez de la baya, fuera de la canopia y en el interior de las distintas posiciones de la canopia se presentan en las Figuras 12 y 13. Aquí se presenta la evolución de la R_{inst} medida cada 30 minutos en una de las tres plantas en las que se instalaron los sensores. Para ambos cultivares la R_{inst} incidente en el exterior de la canopia estuvo caracterizada por un incremento desde el amanecer hasta un máximo en el mediodía solar con valores entre 2400 y 2200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (PM1 y PMS2, respectivamente). Luego de registrarse la máxima R_{inst} , disminuyó progresivamente hacia el atardecer. La radiación diaria absoluta acumulada en el exterior de la canopia fue de 68; 60 y 64 $\text{mol m}^{-2} \text{día}^{-1}$ en PM1, PMS2 y PMS3, respectivamente.

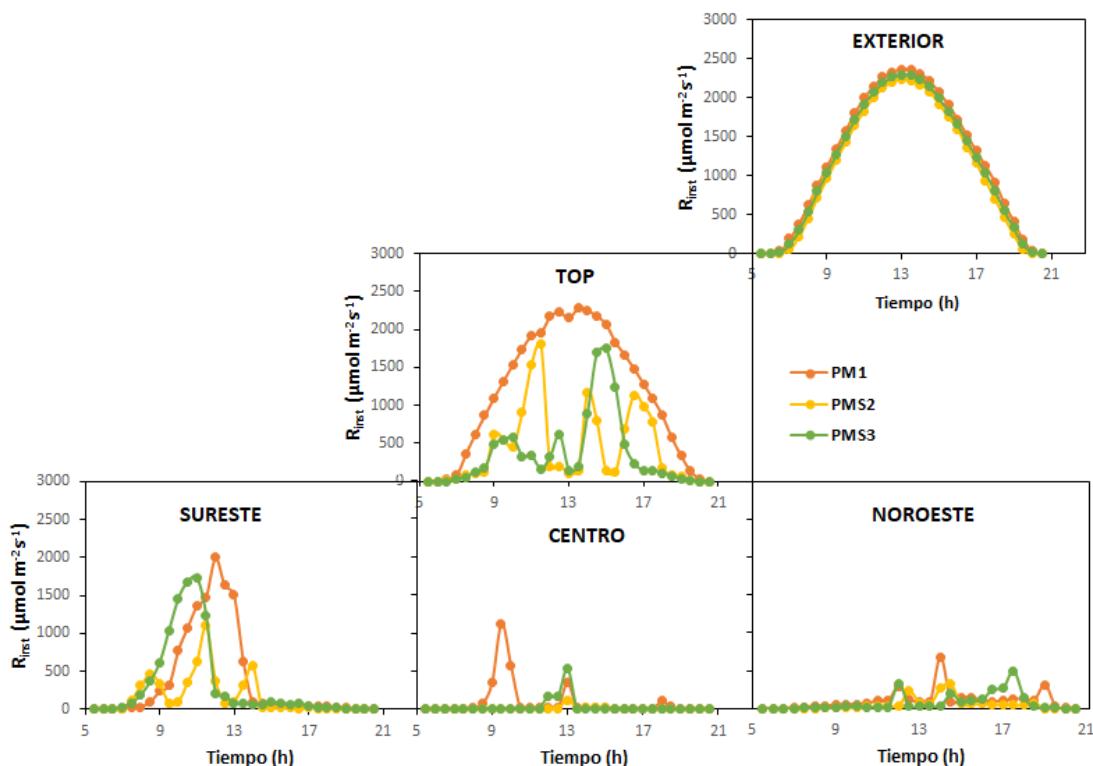


Figura 12. Variación horaria de la radiación instantánea (R_{inst}) transmitida sobre cuatro posiciones de la canopia de vides cv. Ancellotta con canopia libre. Se presenta la medición realizada sobre una planta, medida el 12/01/2017, 02/02/2018 y el 29/01/2019, de las tres plantas evaluadas.

En el cv. Ancellotta, en PM1 la posición Top mostró un patrón diario de R_{inst} similar al observado fuera de la canopia. En PMS2 y PMS3 los patrones cambiaron, donde los valores de

R_{inst} máximos fueron menores (1800 y 1750 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente) y ocurrieron antes del mediodía en PMS2 o después en PMS3. En la posición Centro, la transmisión de R_{inst} incidente desde el exterior fue escasa y presentó valores máximos cerca de las 10 h en PM1 (1125 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y de las 13 h en PMS3 (543 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), mientras que en PMS2 los valores máximos fueron muy bajos (13 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). En la posición SE los valores de R_{inst} máxima tuvieron un patrón similar y ocurrieron entre las 10 h y las 13 h, siendo de 1997, 207 y 1730 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en PM1, PMS2 y PMS3, respectivamente. En contraposición, la posición NO mostró menores valores de R_{inst} máxima que SE, y los mismos ocurrieron entre 12 h y las 19 h, siendo de 679, 323 y 499 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para PM1, PMS2 y PMS3, respectivamente.

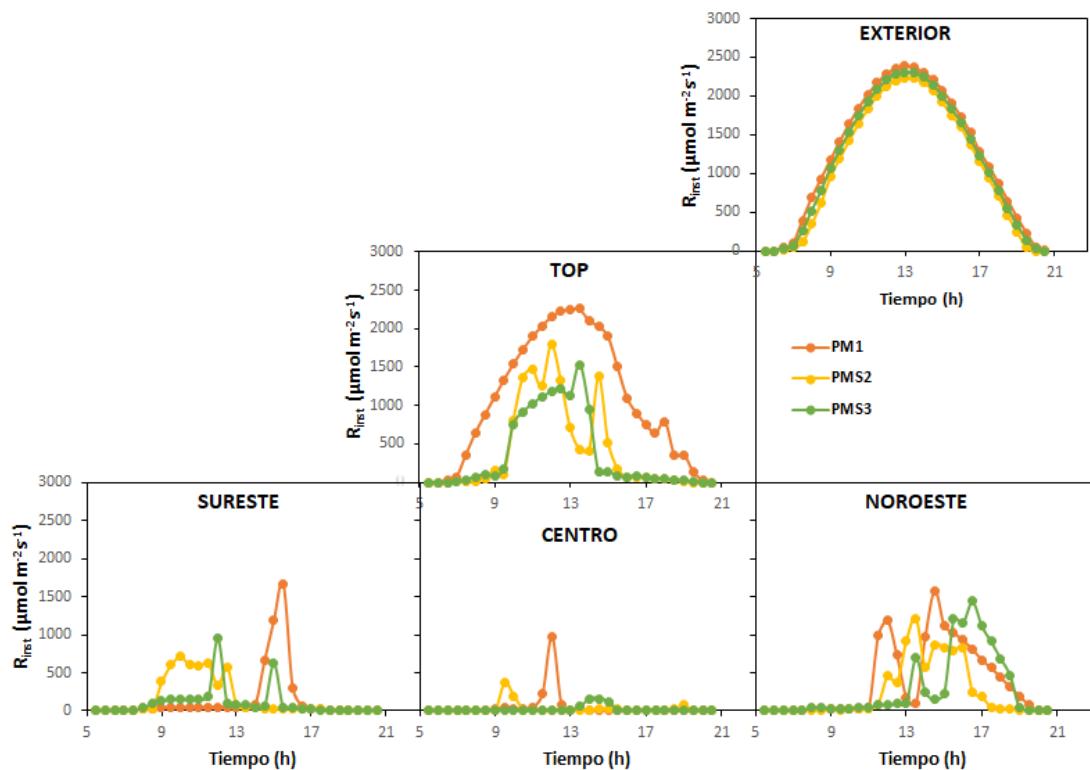


Figura 13. Variación horaria de la radiación instantánea (R_{inst}) transmitida sobre cuatro posiciones de la canopia de vides cv. Syrah con canopia libre. Se presenta la medición realizada sobre una planta, medida el 03/01/2017, 12/02/2018 y el 22/01/2019, de las tres plantas evaluadas.

En el cv. Syrah, la R_{inst} en la posición Top también mostró un patrón similar al del exterior de la canopia en PM1. Mientras que los patrones cambiaron en PMS2 y PMS3, cuando los valores de R_{inst} máxima disminuyeron (1788 y 1534 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente), aunque también se produjeron cerca del mediodía solar. La posición Centro mostró muy baja R_{inst} incidente desde el exterior, con máximos que fueron disminuyendo con las PMS (977, 364 y 163 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente), ocurriendo entre las 9 h y las 15 h. Por otro lado, la posición SE mostró una

R_{inst} incidente mayor en PM1 ($1672 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ocurrida cerca de las 15 h, mientras que en PMS2 la R_{inst} máxima fue menor ($715 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y ocurrió cerca de las 10 h. Durante PMS3 la R_{inst} máxima fue intermedia ($947 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), ocurriendo cerca de las 12 h. En la posición NO, el patrón fue similar en todas las PMS, presentando similares R_{inst} máximas que ocurrieron entre las 12 h y las 17 h, siendo 1582, 1211 y $1438 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en PM1, PMS2 y PMS3, respectivamente.

3.2. Temperatura en el interior de las distintas posiciones de la canopia y caracterización meteorológica de las temporadas

La temperatura del aire en cada posición de la canopia es presentada como la diferencia entre los valores diarios de temperatura máxima (ΔT_{max}), media (ΔT_{med}) y mínima (ΔT_{min}) en el interior de cada posición de la canopia respecto a la temperatura censada por encima de la canopia (Tablas 10 y 11).

En el cv. Ancellotta, el ΔT_{max} fue significativamente diferente entre posiciones, entre PMS y en la interacción de ambos factores. El ΔT_{min} sólo presentó diferencias entre PMS, mientras que ΔT_{med} no fue afectada por ninguno de los factores evaluados. La posición Top y Centro presentaron ΔT_{max} bajo y por encima del exterior ($+0,5^{\circ}\text{C}$) en la PM1. En la PMS2 y PMS3 los ΔT_{max} de la posición Top fueron altos y menores al exterior ($-4,0^{\circ}\text{C}$ y $-4,8^{\circ}\text{C}$, respectivamente), similar a lo observado en el Centro ($-3,5^{\circ}\text{C}$ y $-2,8^{\circ}\text{C}$, respectivamente). La posición SE no presentó diferencias en ΔT_{max} entre PM1 y PMS3, siendo menores al exterior ($-0,6^{\circ}\text{C}$ y $-1,5^{\circ}\text{C}$, respectivamente), mientras que en la PMS2 fue alto y menor al exterior ($-3,5^{\circ}\text{C}$). La posición NO mostró un patrón opuesto al resto de posiciones, el ΔT_{max} fue alto y por encima del exterior en la PM1 ($2,9^{\circ}\text{C}$), mientras en la PMS2 fue de $-0,25^{\circ}\text{C}$ y en PMS3 fue intermedio y por encima del exterior ($1,3^{\circ}\text{C}$). El ΔT_{min} fue alto y menor al exterior en la PM1 ($-3,7^{\circ}\text{C}$), mientras que entre PMS2 y PMS3 no hubo diferencias, siendo bajos y menores al exterior ($-0,3^{\circ}\text{C}$ y $-1,0^{\circ}\text{C}$, respectivamente).

En el cv. Syrah, el ΔT_{max} y ΔT_{min} fueron significativamente diferentes entre posiciones de la canopia, entre años de PMS y en la interacción de ambos. Mientras que el ΔT_{med} presentó diferencias entre las posiciones de la canopia y los años de PMS. La posición Top presentó ΔT_{max} intermedio y por debajo del exterior (-1°C) en PM1, mientras que no hubo diferencias entre PMS2 y PMS3, donde ΔT_{max} fueron altos y por debajo del exterior ($-4,4^{\circ}\text{C}$ y $-5,4^{\circ}\text{C}$, respectivamente). La posición Centro presentó ΔT_{max} intermedio y por encima del exterior (1°C) en PM1, mientras que no hubo diferencias entre PMS2 y PMS3, donde fueron altos y menores al exterior ($-3,2^{\circ}\text{C}$ y $-2,9^{\circ}\text{C}$, respectivamente). La posición SE, tuvo el mismo patrón,

mostrando ΔT_{max} bajo y menor al exterior ($-0,2^{\circ}\text{C}$) en PM1, mientras que no hubo diferencias entre PMS2 y PMS3, donde fueron altos y menores al exterior ($-4,1^{\circ}\text{C}$ y $-2,9^{\circ}\text{C}$, respectivamente). Por otro lado, la posición NO no presentó diferencias entre PM1 y PMS3, siendo los ΔT_{max} mayores al exterior ($+2,0^{\circ}\text{C}$ y $+0,4^{\circ}\text{C}$, respectivamente), mientras que en la PMS2 fue intermedio y menor al exterior ($-1,1^{\circ}\text{C}$). La posición Top mostró ΔT_{min} intermedio y por debajo del exterior ($-1,5^{\circ}\text{C}$), mientras que no mostró diferencias entre PMS2 y PMS3 con ΔT_{min} bajos ($-0,1^{\circ}\text{C}$ y $0,2^{\circ}\text{C}$). Por otro lado, las posiciones Centro, NO y SE tuvieron ΔT_{min} constantes a través de las PMS, con promedios de $-0,08^{\circ}\text{C}$, $-0,25^{\circ}\text{C}$ y $-0,32^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Respecto al ΔT_{med} , la posición Top mostró los mayores valores (-2°C), mientras que las posiciones Centro, NO y SE no mostraron diferencias entre ellas ($-1,5^{\circ}\text{C}$, $-1,1^{\circ}\text{C}$ y $-1,3^{\circ}\text{C}$, respectivamente). A su vez, la PM1 presentó un ΔT_{med} bajo y por debajo del exterior ($-0,5^{\circ}\text{C}$), mientras que no hubo diferencias entre la PMS2 y PMS3, con ΔT_{med} altos y por debajo del exterior ($-2,1^{\circ}\text{C}$ y $-1,8^{\circ}\text{C}$, respectivamente).

La dinámica de las temperaturas máxima y mínima diaria del aire registrada en la estación meteorológica durante las temporadas 2016-2017, 2017-2018 y 2018-2019 son presentadas en la Figura 14, paneles a, b y c, respectivamente. Las temperaturas máximas promedio de cada temporada (desde el mes de julio a junio del siguiente año) fueron similares entre las tres temporadas ($24,7^{\circ}\text{C}$, $24,6^{\circ}\text{C}$ y $24,0^{\circ}\text{C}$). Se observaron diferencias entre temporadas en el valor y el momento de ocurrencia de las temperaturas máximas absolutas. En 2016-2017, se registró una temperatura máxima absoluta de $39,7^{\circ}\text{C}$ el 29 enero del 2017. En la temporada siguiente, se observó similar temperatura máxima ($39,4^{\circ}\text{C}$) pero más temprano (29 de diciembre del 2017). En la tercera temporada se registró una temperatura máxima similar a las anteriores, de $39,1^{\circ}\text{C}$ también el 29 enero 2019. Las temperaturas mínimas promedio mostraron una disminución con el avance de las temporadas, siendo de $11,6$; $11,4$ y $11,2^{\circ}\text{C}$, para las temporadas 2016-2017, 2017-2018 y 2018-2019, respectivamente. Registrándose temperaturas mínimas absolutas de $-2,9$; $-4,8$ y -2°C en julio 2016, 2017 y 2018, respectivamente.

En la Figura 14d se presentan los valores de temperaturas para los meses desde enero (diciembre) a cosecha (marzo) (fenofase E-L 34 al 38 de Eichhorn y Lorenz modificado por Coombe, 1995). La primera temporada fue la más cálida durante el periodo de madurez de las bayas, con temperaturas máxima, medias y mínimas promedios de $31,8$, $24,9$ y $18,1^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Mientras, la tercera temporada fue más fresca con temperaturas de $30,0$; $23,5$ y $17,1^{\circ}\text{C}$, respectivamente. La segunda temporada presentó valores intermedios de temperatura máxima ($31,2^{\circ}\text{C}$), media ($24,3^{\circ}\text{C}$) y mínima ($17,4^{\circ}\text{C}$). Además, se calculó el tiempo de exposición de las plantas a una temperatura superior a 35°C (Figura 14e). En la primera

temporada las plantas estuvieron expuestas a un mayor tiempo de temperaturas $> 35^{\circ}\text{C}$ (193 horas), mientras que la segunda y tercera temporada presentaron tiempos de exposición marcadamente inferior (90 y 107 horas, respectivamente).

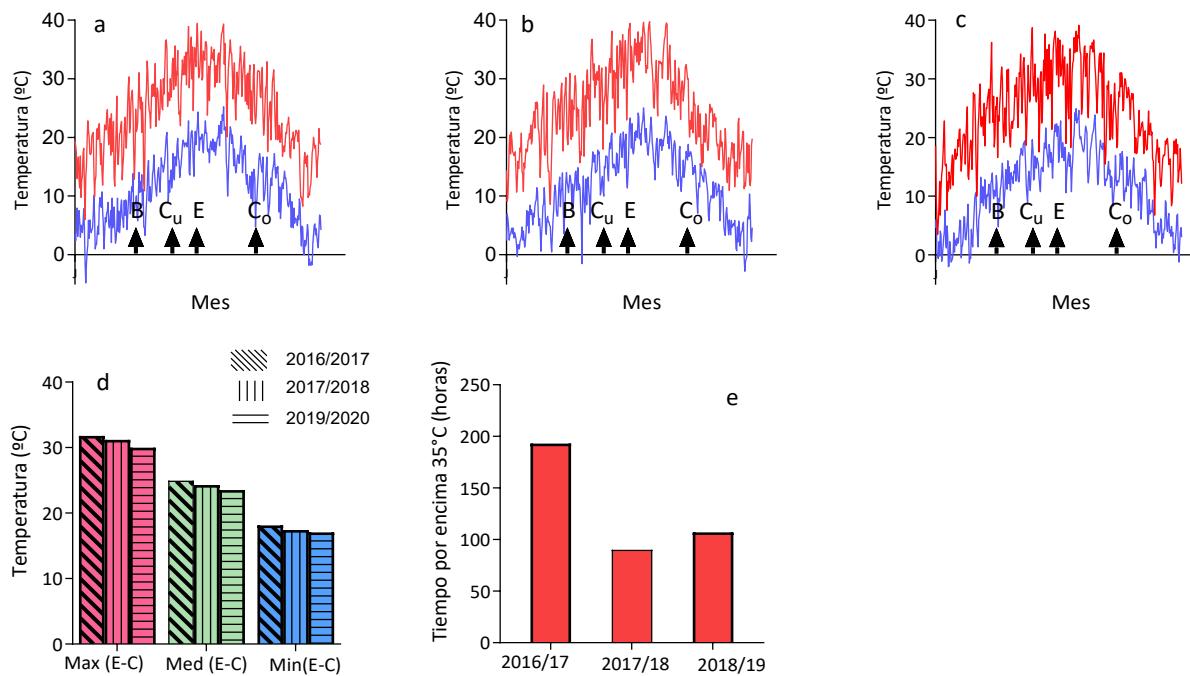


Figura 14. Evolución de la temperatura máxima (línea azul) y mínima (línea roja) durante las temporadas 2016-17 (a), 2017-18 (b) y 2018-19 (c), temperatura máxima, media y mínima promedio entre los meses de diciembre a marzo (envero a cosecha) para cada una de las 3 temporadas (d) y tiempo de exposición de las plantas a una temperatura superior a 35 °C (e). Las flechas en los paneles a-c indican las etapas fenológicas y en la secuencia de brotación (B), cuaje (Cu), envero (E) y cosecha (Co).

3.3. Distribución de la producción y componentes del rendimiento en las distintas posiciones de la canopia

La producción y componentes del rendimiento medidos en cada posición de la canopia, durante los tres años de aplicación de poda mecánica en caja son presentados para el cv. Ancellotta (Tabla 12) y el cv. Syrah (Tabla 13).

En el cv. Ancellotta la interacción entre posición y poda mecánica sucesiva (PMS) fue significativa para el peso del racimo y el número de racimos. En contraste, la interacción entre posición y PMS no fue significativa para la producción, peso de las bayas y número de bayas por racimo y por lo tanto presentaremos los resultados para los efectos simples. La producción para el cv. Ancellotta fue mayor en la posición Top, con un promedio de 4,8 kg/m, seguido por la posición Centro (3,6 kg/m). Mientras que las menores producciones se presentaron en las posiciones NO y SE, (promedio 0,86 kg/m), sin diferencias entre ellas. La producción fue más alta y sin diferencias entre PM1 y PMS3, con un promedio de 2,91 kg/m, en comparación a PMS2, que se registró un valor promedio entre posiciones de 1,75 kg/m. El número de racimos fue en las tres PMS más alto en la posición Top, a su vez presentó similar número de racimos entre PM1 y PMS2 (promedio de 53 racimos/m) y mayor en PMS3 (94 racimos/m). La posición Centro fue similar al Top en PM1 (48 racimos/m) y presentó valores intermedios en PMS2 y PMS3, respecto al resto de las posiciones (25 y 61 racimos/m, respectivamente). El número de racimos en la posición Centro presentó una marcada disminución en PMS2 respecto a PM1 y PMS3. Las posiciones NO y SE fueron las que presentaron menor cantidad de racimos en todas las PMS y además se mantuvieron similares entre ellas (promedio de 10 racimos/m). El peso de los racimos en las posiciones Top, Centro y SE disminuyeron progresivamente con la aplicación de PMS, siendo más evidentes las diferencias entre PM1 con PMS2 y PMS3. En el Top, el peso de los racimos disminuyó desde 102 g en PM1 a 74 y 52 g en PMS2 y PMS3, respectivamente. En la posición Centro, los racimos pesaron en promedio 107 g en PM1, disminuyendo 78 y 57 g en PMS2 y PMS3, respectivamente. Mientras que en la posición SE, el peso de los racimos disminuyó desde 127, 95 y 81 g en PM1, PMS2 y PMS3, respectivamente. En la posición NO, el peso de los racimos no mostró un patrón claro, aunque en PMS3 presentó el menor peso de racimos. El peso de la baya fue más bajo en PM1 (1,13 g), más alto en PMS2 (1,33 g), e intermedio en PMS3 (1,26 g). El número de bayas por racimo fue más bajo en las posiciones Top y Centro, y más alto en las posiciones NO y SE. El número de bayas por racimo disminuyó con la aplicación sucesivas de poda mecánica, siendo más alto en PM1 (90 bayas/racimo), intermedio en PMS2 (67 bayas/racimo) y más bajo en PMS3 (49 bayas/racimo).

En el cv. Syrah la interacción entre posición y poda mecánica sucesiva fue significativa para la producción, pero no para los componentes del rendimiento, los cuales serán presentados y discutidos para los efectos simples. La producción en la posición Top fue mayor en los tres PMS, con valores de 5,2 kg/m, 6,5 kg/m y 3,8 kg/m, PM1, PMS2 y PMS3, respectivamente. La posición Centro también presentó producción elevada en PM1, siendo de 4,2 kg/m, similar al Top también en PM1. En la PMS2, la producción en la posición Centro fue de 2,3 kg/m, siendo menor al Top, pero mayor a las posiciones NO y SE. En PMS3, la posición Centro tuvo una producción de 1,6 kg/m, siendo menor al Top, y sin diferencias respecto a las posiciones NO y SE. Las posiciones NO y SE en las tres PMS presentaron las producciones más bajas y no mostraron diferencias entre ellas (promedio de 1,2 kg/m). Los racimos fueron menos pesados en las posiciones Top y Centro, siendo 84 g y 79 g, respectivamente, y más pesados en las posiciones NO y SE, siendo 96 g y 105 g, respectivamente. A su vez, el peso de los racimos disminuyó con la PMS, siendo 110 g, 95 g y 68 g, en PM1, PMS2 y PMS3, respectivamente. Los racimos de las posiciones Top y Centro tuvieron el menor número de bayas, siendo de 52 bayas/racimo y 47 bayas/racimo, respectivamente, mientras que las posiciones NO y SE presentaron los mayores valores, siendo 59 bayas/racimo y 65 bayas/racimo, respectivamente. El número de bayas por racimo también disminuyó con la PMS, desde 70 bayas/racimo PM1 a 39 bayas/racimo en PMS3. El número de racimos fue mayor en la posición Top (64 racimos/m), intermedia en la posición Centro (36 racimos/m) y menor en las posiciones NO y SE (promedio de 12 racimos/m). El peso de la baya que fue similar en los racimos ubicados en las distintas posiciones, y también similar entre PM1 y PMS2 (promedio de 1,53 g), sólo incrementó significativamente en PMS3 (1,66 g).

Tabla 12. Producción, componentes del rendimiento y área foliar (AF_{posición}) según las posiciones de la canopia en plantas del cv. Ancellotta podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza.

Fuente de variación		Producción	Nº Racimos	Peso Racimo	Peso Baya	Bayas/racimo	AF _{posición}
PMS	Posición	(kg/m)	(#/m)	(g)	(g)	(#)	(m²/m)
PM1	Top	5,10	50,65 cd	101,86 de	1,18	80,86	1,61 d
	Centro	5,11	47,68 c	107,49 ef	1,15	88,10	0,51 ab
	NO	1,16	12,86 a	96,77 cde	1,09	84,63	0,63 abc
	SE	1,26	10,62 a	127,45 f	1,12	107,18	0,61 abc
PMS2	Top	4,22	54,78 cd	74,25 abc	1,32	53,35	4,02 e
	Centro	2,10	24,94 b	77,81 bc	1,28	57,41	0,23 a
	NO	0,38	2,99 a	124,67 ef	1,40	86,35	1,09 c
	SE	0,32	3,15 a	95,43 cde	1,31	70,55	1,08 c
PMS3	Top	5,11	94,49 e	52,38 a	1,26	39,45	4,18 e
	Centro	3,52	60,71 d	57,28 ab	1,28	42,76	0,28 a
	NO	0,94	13,75 a	65,90 ab	1,25	50,21	0,93 bc
	SE	1,11	13,75 a	80,71 bcd	1,24	61,64	0,92 bc
Posición (P)	Top	4,81 c	66,64 c	76,16 a	1,25	57,89 a	3,27
	Centro	3,58 b	44,45 b	80,86 a	1,24	62,76 a	0,34
	NO	0,83 a	9,87 a	95,78 b	1,24	73,73 b	0,89
	SE	0,89 a	9,18 a	101,20 b	1,22	79,79 b	0,87
PMS	PM1	3,16 b	30,46 b	108,39 c	1,13 a	90,19 c	0,84
	PMS2	1,75 a	21,47 a	93,04 b	1,33 c	66,92 b	1,60
	PMS3	2,67 b	45,68 c	64,07 a	1,26 b	48,52 a	1,58
P x PMS	p-valor	0,0691	<0,0001	0,0452	0,5812	0,1833	<0,0001
P	p-valor	<0,0001	<0,0001	0,0025	0,8903	0,0003	<0,0001
PMS	p-valor	0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Los valores (n=6) con la misma letra no son significativamente diferentes dentro de cada P, PMS y P x PMS, según la prueba LSD con p≤0,05. Las letras solo se presentan cuando el ANOVA indica un efecto significativo.

Tabla 13. Producción, componentes del rendimiento y área foliar ($AF_{\text{posición}}$) según las posiciones de la canopia en plantas del cv. Syrah podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza.

Fuente de variación		Producción	N° Racimos	Peso Racimo	Peso Baya	Bayas/racimo	$AF_{\text{posición}}$
PMS	Posición	(Kg/m)	(#/m)	(g)	(g)	(#)	(m ² /m)
PM1	Top	5,21 e	50,28	104,03	1,44	68,46	2,85 e
	Centro	4,25 de	45,65	92,49	1,54	58,78	0,51 abc
	NO	1,41 a	11,42	126,89	1,52	79,80	0,49 abc
	SE	1,74 ab	11,89	118,32	1,50	74,90	0,62 abc
PMS2	Top	6,46 f	72,66	88,02	1,61	52,51	3,76 f
	Centro	2,87 bc	36,71	77,42	1,51	49,28	0,30 ab
	NO	1,46 a	15,35	93,99	1,60	56,96	1,47 d
	SE	1,10 a	9,09	119,2	1,53	75,24	1,34 d
PMS3	Top	3,85 cd	70,23	59,93	1,7	33,64	5,37 g
	Centro	1,57 a	26,23	66,99	1,68	37,92	0,16 a
	NO	0,76 a	12,72	67,42	1,66	39,32	0,74 bc
	SE	0,74 a	9,67	76,84	1,60	45,67	1,06 cd
Posición (P)	Top	5,17 c	64,39 c	83,99 a	1,59	51,53 a	3,99
	Centro	2,90 b	36,20 b	78,97 a	1,58	48,66 a	0,32
	NO	1,21 a	13,16 a	96,10 b	1,59	58,69 b	0,90
	SE	1,19 a	10,22 a	104,79 b	1,54	65,27 b	1,01
PMS	PM1	3,15 b	29,81	110,44 c	1,5 a	70,48 c	1,12
	PMS2	2,97 b	33,45	94,66 b	1,56 a	58,50 b	1,72
	PMS3	1,73 a	29,71	67,79 a	1,66 b	39,13 a	1,83
P x PMS	p-valor	0,0120	0,1855	0,1714	0,5065	0,1550	<0,0001
P	p-valor	<0,0001	<0,0001	0,0005	0,6499	0,0002	<0,0001
PMS	p-valor	<0,0001	0,6543	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,0003

Los valores (n=6) con la misma letra no son significativamente diferentes dentro de cada P, PMS y P x PMS, según la prueba LSD con $p \leq 0,05$. Las letras solo se presentan cuando el ANOVA indica un efecto significativo.

3.4. Área foliar y densidad de área foliar en las posiciones de la canopia

En la Tabla 12, se presenta el área foliar de cada posición de la canopia ($AF_{posición}$) por m lineal de cordón medida luego de la cosecha durante tres años de poda mecánica sucesiva en caja en viñedos de los cvs. Ancellotta y Syrah. En ambos cultivares, el $AF_{posición}$ fue afectado por la interacción entre las posiciones y la PMS.

En el cv. Ancellotta, el AF_{Top} incrementó con la aplicación de PMS, mientras que se mantuvo estable en el resto de las posiciones con la aplicación de PMS. El AF_{Top} fue más bajo en PM1 ($1,6 m^2/m$), incrementando significativamente en PMS2 y PMS3 (promedio $4,1 m^2/m$), a su vez, la posición Top siempre fue significativamente superior que el resto de las posiciones. Por otro lado, el AF_{Centro} presentó los valores más bajos y similares en las tres PMS (promedio $0,34 m^2/m$). En las posiciones NO y SE, el $AF_{posición}$ fue similar entre ambas posiciones y sin diferencias entre PMS, siendo en promedio de $0,88$ y $0,87 m^2/m$, respectivamente. Las posiciones NO y SE mostraron $AF_{posición}$ significativamente más bajo que el Top en las tres PMS, y fueron superior a la posición Centro en la PMS2 y PMS3.

Similar patrón fue observado en el cv. Syrah. El AF_{Top} incrementó con la aplicación de PMS, siendo $2,8$; $3,8$ y $5,4 m^2/m$ en PM1, PMS2 y PMS3, respectivamente y fue significativamente más alta que el resto de las posiciones estudiadas. El AF_{Centro} se mantuvo sin diferencias con la aplicación de PMS, siendo en promedio de $0,32 m^2/m$. El AF_{NO} fue similar en PM1 y PMS3 (promedio $0,61 m^2/m$), y más alta en PMS2 ($1,5 m^2/m$). Mientras que el AF_{SE} presentó menores valores en PM1 ($0,6 m^2/m$) y mayores en PMS2 y PMS3 (promedio de $1,2 m^2/m$). Las posiciones NO y SE, mostraron mayores $AF_{posición}$ que la posición Centro en PMS2 y PMS3.

En la Figura 15 se presenta la densidad del área foliar (DAF) medida luego de la cosecha en cada posición de la canopia estudiada durante tres años de poda mecánica sucesiva en caja en viñedos de los cvs. Ancellotta y Syrah. En ambos cultivares, la DAF fue afectado por la interacción entre las posiciones y la PMS. En el cv. Ancellotta, la posición Top incrementó la DAF de la PM1 ($5m^2/m^3$) a PMS2 ($12,5 m^2/m^3$) y se mantuvo luego de la PMS3 ($13 m^2/m^3$). Además, Top siempre mostró los mayores valores de DAF respecto a las otras posiciones. En contraposición, la posición Centro mantuvo estable la DAF a través las PMS (promedio de $2,1 m^2/m^3$) y presentó los menores valores respecto al resto de las posiciones. Las posiciones SE y NO presentaron el mismo patrón y similares valores de DAF, siendo de $3,9 m^2/m^3$ en PM1, más alto en PMS2 ($6,8 m^2/m^3$) e intermedio en PMS3 ($5,8m^2/m^3$). Ambas posiciones, SE y NO fueron similares a Centro sólo en PM1, mientras que presentaron DAF superiores en PMS2 y PMS3. En el cv. Syrah la posición Top mostró similar DAF entre PM1 y PMS2 (promedio de $10,3 m^2/m^3$), mientras que

incrementó en PMS3 a $16,8 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Por su parte, Top presentó los mayores valores de DAF en todas las PMS mientras que la posición Centro mantuvo estable la DAF durante las PMS (promedio de $2 \text{ m}^2/\text{m}^3$), presentando los menores valores respecto al resto de las posiciones. En el cv. Syrah también, SE y NO presentaron el mismo patrón y similares valores de DAF, siendo en promedio para ambas posiciones de $3,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$ para PM1, de $8,8 \text{ m}^2/\text{m}^3$ en PMS2 y de $5,6 \text{ m}^2/\text{m}^3$ en PMS3. Centro sólo fue similar a SE y NO en PM1, mientras que en PMS2 y PMS3 la DAF fue inferior.

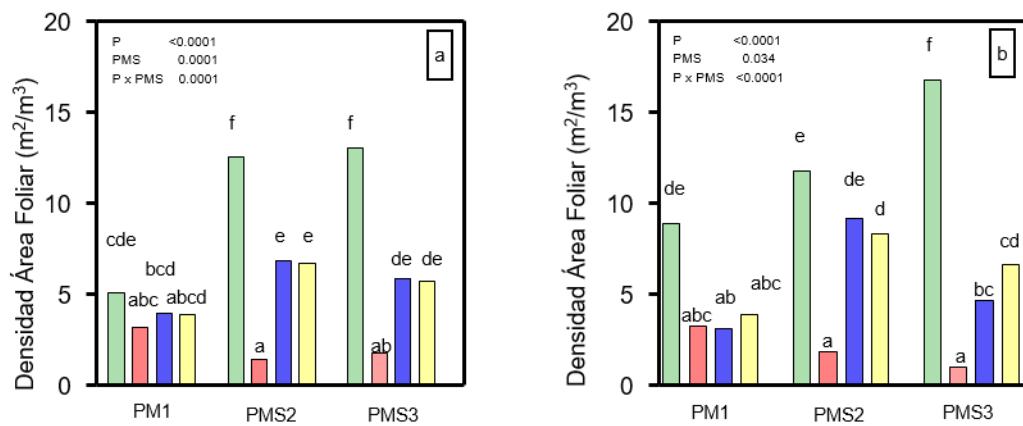


Figura 15. Densidad del área foliar de cada posición de la canopia: Top (verde), Centro (rojo), SE (azul) y NO (amarillo) en plantas de los cvs. Ancellotta (a) y Syrah (b), podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza. Los valores ($n=6$) con la misma letra no son significativamente diferentes dentro de cada P x PMS, según la prueba LSD con $p\leq 0.05$.

3.5. Composición de la baya

A continuación, se presentan los datos de composición de las bayas, los cuales serán posteriormente discutidos en relación con las condiciones microclimáticas caracterizadas en las secciones 3.1 y 3.2. La composición de las bayas de los racimos recolectados en las distintas posiciones de la canopia en los cvs. Ancellotta y Syrah no presentó interacción significativa entre la posición y el número de poda mecánica sucesiva, por lo que presentaremos la influencia de los efectos simples (i.e. posición de la canopia y PMS) Tablas 14 y 15.

En el cv. Ancellotta, el pH de las bayas fue el único parámetro afectado por la posición y PMS, mientras que el resto de los parámetros (SST, acidez, fenoles, taninos y antocianos totales) fueron afectados sólo por la PMS. El pH fue mayor en las bayas ubicadas en la posición Centro (3,8) y menor en la posición SE (3,7), mientras que las posiciones Top y NO presentaron valores intermedios. En adición, el pH promedio para todas las posiciones fue menor en las bayas recolectadas en PM1 (3,66), intermedio en PMS3 (3,71) y mayor en PMS2 (3,78). Para el resto de

los parámetros donde la posición no tuvo efecto significativo, se observó un marcado incremento entre PMS1 y PMS2 para SST, fenoles y antocianos totales, y entre PM1 y PMS3 para acidez y taninos totales (Tabla 14).

En el cv. Syrah, el pH, SST, acidez, fenoles y antocianos totales fueron afectados por PMS, mientras que los antocianos totales fue el único parámetro con tendencia a ser afectado por la posición de la canopia (p valor = 0,0505). En contraste, el contenido de taninos totales no fue afectados por la posición ni por PMS. El contenido de antocianos totales tendió a ser más alto en las posiciones Top y SE, siendo de 0,31 y 0,32 mg/g baya, respectivamente; y más bajos en la posición NO (0,23 mg/g de baya). En las bayas de la posición Centro el contenido de antocianos no se diferenció del resto de las posiciones. El contenido de antocianos totales fue más alto en PMS3 (0,36 mg/g de baya), respecto a PM1 y PMS2 (promedio 0,24 mg/g de baya). En los parámetros donde sólo PMS tuvo un efecto significativo, se observó un patrón similar, donde PMS3 presentó los valores más altos y PM1 los más bajos. La acidez titulable fue mayor en PMS3 (5,08 g/L), respecto a PM1 y PMS2 (promedio 4,42 g/L). El pH fue más alto en PMS2 y PMS3 (promedio 3,9) que PM1 (3,7). Los SST fueron más altos en PMS3 (24,8 °Brix), intermedio en PMS2 (23,7 °Brix) y más bajos en PM1 (22,3 °Brix). Los fenoles totales fueron más altos en PMS3 (0,4 mg/g de baya), respecto a PM1 y PMS2 (promedio 0,35 mg/g de baya).

Tabla 14. Concentración de sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), pH, fenoles, taninos y antocianos totales en bayas según las posiciones de la canopia en plantas del cv. Ancellotta podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza.

Fuente de variación		SST	AT	pH	Fenoles totales	Taninos totales	Antocianos totales
PMS	Posición	(°Brix)	(g/L)	(#)	(mg/g baya)	(mg/g baya)	(mg/g baya)
PM1	Top	19,37	4,90	3,62	0,44	0,22	0,37
	Centro	19,47	4,54	3,72	0,33	0,13	0,22
	NO	18,73	4,79	3,68	0,48	0,25	0,43
	SE	19,00	5,14	3,60	0,36	0,17	0,25
PMS2	Top	23,80	4,93	3,80	0,51	0,18	0,68
	Centro	23,40	4,92	3,83	0,60	0,21	0,93
	NO	22,93	4,89	3,79	0,50	0,22	0,70
	SE	22,73	5,11	3,71	0,58	0,22	0,91
PMS3	Top	24,27	5,19	3,70	0,63	0,36	1,08
	Centro	23,33	5,57	3,75	0,57	0,30	0,90
	NO	23,87	5,49	3,71	0,58	0,36	0,94
	SE	22,93	5,82	3,69	0,59	0,30	0,96
Posición (P)	Top	22,48	5,00	3,71 ab	0,53	0,25	0,71
	Centro	22,07	5,01	3,77 c	0,50	0,21	0,68
	NO	21,84	5,06	3,73 bc	0,52	0,28	0,69
	SE	21,56	5,36	3,67 a	0,51	0,23	0,71
PMS	PM1	19,14 a	4,48 a	3,66 a	0,40 a	0,19 a	0,32 a
	PMS2	23,22 b	4,96 a	3,78 c	0,55 b	0,21 a	0,80 b
	PMS3	23,60 b	5,52 b	3,71 b	0,59 b	0,33 b	0,97 b
P x PMS	p-valor	0,6894	0,4855	0,8196	0,3241	0,8133	0,7503
P	p-valor	0,0917	0,0774	0,0081	0,9341	0,4394	0,9965
PMS	p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	0,0008	<0,0001

Los valores (n = 3) con la misma letra no son significativamente diferentes dentro de cada P, PMS y P x PMS, según la prueba LSD con $p \leq 0,05$. Las letras solo se presentan cuando el ANOVA indica un efecto significativo.

Tabla 15. Concentración de sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), pH, fenoles, taninos y antocianos totales en bayas según las posiciones de la canopia en plantas del cv. Syrah podadas mecánicamente durante tres años (PM1, PMS2 y PMS3) en Junín, Mendoza.

Fuente de variación		SST	AT	pH	Fenoles totales	Taninos totales	Antocianos totales
PMS	Posición	(°Brix)	(g/L)	(#)	(mg/g baya)	(mg/g baya)	(mg/g baya)
PM1	Top	22,43	4,46	3,68	0,38	0,41	0,25
	Centro	22,47	4,46	3,82	0,35	0,38	0,25
	NO	22,23	4,64	3,70	0,35	0,40	0,20
	SE	22,23	4,4	3,73	0,35	0,38	0,26
PMS2	Top	24,11	3,96	3,89	0,34	0,36	0,25
	Centro	23,77	4,51	3,91	0,36	0,35	0,27
	NO	23,97	4,33	3,88	0,32	0,33	0,24
	SE	23,05	4,64	3,88	0,35	0,36	0,25
PMS3	Top	24,80	4,88	3,83	0,42	0,44	0,43
	Centro	24,83	5,12	3,87	0,36	0,35	0,31
	NO	25,00	4,99	3,85	0,36	0,39	0,25
	SE	24,56	5,32	3,85	0,44	0,46	0,43
Posición (P)	Top	23,78	4,43	3,8	0,38	0,41	0,31 b
	Centro	23,69	4,70	3,87	0,36	0,36	0,27 ab
	NO	23,73	4,66	3,81	0,35	0,38	0,23 a
	SE	23,28	4,79	3,82	0,38	0,40	0,32 b
PMS	PM1	22,34 a	4,49 a	3,73 a	0,36 a	0,39	0,24 a
	PMS2	23,73 b	4,36 a	3,89 b	0,34 a	0,35	0,25 a
	PMS3	24,80 c	5,08 b	3,85 b	0,40 b	0,41	0,36 b
P x PMS	p-valor	0,7442	0,6945	0,6517	0,2424	0,8964	0,2036
P	p-valor	0,2014	0,2645	0,0669	0,1591	0,6483	0,0505
PMS	p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0039	0,2150	0,0004

Los valores (n= 3) con la misma letra no son significativamente diferentes dentro de cada P, PMS y P x PMS, según la prueba LSD con $p \leq 0,05$. Las letras solo se presentan cuando el ANOVA indica un efecto significativo.

4. DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de las posiciones según área foliar, densidad del área foliar, producción y componentes del rendimiento

Ambos cultivares, Ancellotta y Syrah, mostraron similar evolución del área foliar ($AF_{posición}$) y de la densidad de área foliar (DAF) entre posiciones con la aplicación de podas mecánicas en tres temporadas sucesivas. El AF_{Top} incrementó entre PM1 y PMS3 160 % en el cv. Ancellotta y 88 % en el cv. Syrah, mientras que el resto de las posiciones fueron constantes a través de las PMS. Louarn et al. (2008) también observaron que la distribución del área foliar en diferentes ubicaciones de la canopia no era homogénea y responde al sistema de conducción, el cultivar y la arquitectura del brote. El incremento de AF_{Top} con la aplicación sucesiva de poda mecánica estaría explicado por el aumento del número de brotes (Capítulo III de esta tesis). De este modo, la DAF en Top pasó de 5 a 13 m^2/m^3 en el cv. Ancellotta y de 9 a 17 m^2/m^3 en el cv. Syrah, entre PM1 y PMS3. Por otra parte, en promedio para ambos cultivares, la DAF se mantuvo constante a través de la PMS para el resto de las posiciones, siendo baja en Centro (2 m^2/m^3) e intermedia para NO y SE (6 m^2/m^3). Tal como expresó Mabrouk y Sinoquet (1998) la determinación de DAF es algo arbitrario porque su cálculo se basa en el volumen de un cuerpo de forma geométrica regular seleccionado para aproximarse al cuerpo de un canopia real, por lo tanto, la comparación entre trabajos es compleja. A pesar de ello, similares valores de DAF obtuvieron Gladstone y Dokoozlian (2003) en sistemas de conducción sin posicionamiento de brotes, donde dependiendo la ubicación dentro de la canopia variaron entre 1 a 11 m^2/m^3 .

Considerando ambos cultivares, y el promedio de la aplicación de las tres PMS, las posiciones Top y Centro concentraron el 48 % y 32 % de la producción, respectivamente. Aunque algunas variaciones entre posiciones y PMS fueron observadas. La posición Centro concentró el 37 % de la producción en PM1 y disminuyó al 28 % en la PMS3. La posición Top concentró el 41 % de la producción en PM1 e incrementó al 52 % en PMS3. Este efecto opuesto entre las posiciones Top y Centro podría deberse a la brotación apical de los pitones que produce la ramificación de los mismos hacia la periferia de la caja (Capítulo III de esta tesis). Las posiciones SE y NO fueron similares y concentraron el 10 % de la producción en promedio para las tres PMS. Las variaciones en la distribución de la producción entre posiciones y PMS, estuvieron principalmente explicada por las variaciones en el número de racimos (Tablas 12 y 13). El peso de los racimos mostró en ambos cultivares un patrón inverso, siendo un 20 % menor en la posición Top y Centro que en las posiciones SE y NO. La relación inversa entre peso y número de racimos fue observada también por Allegro et al. (2023) cuando comparó el cultivar Trebbiano Romagnolo podado

manual y mecánicamente. En nuestro estudio, el número de bayas por racimo y el peso de los racimos mostraron el mismo patrón, explicando de esta manera la diferencia entre posiciones y entre PMS.

Cabe destacar que el peso de los racimos disminuyó consistentemente con la aplicación de la PMS (Tablas 12 y 13), explicado parcialmente por la disminución progresiva del número de yemas por pitón que condujo al aumento de la brotación de yemas más basales, tal como se desarrolló en el Capítulo III de esta tesis. El peso individual de las bayas mostró una fuerte relación inversa con la producción, y fue consistente en las tres PMS. De esta manera, en ambos cultivares el peso de las bayas incrementó cuando se produjo una disminución de la producción, tal como fue desarrollado en el Capítulo III de esta tesis.

4.2. Composición de la baya y su relación con la radiación y la temperatura

La composición de las bayas fue escasamente afectada por la posición de los racimos dentro de la canopia, excepto el pH en el cv. Ancellotta y las tendencias mencionadas en antocianos en el cv. Syrah (3.5). En el cv. Ancellotta, el pH fue un 3 % superior en la posición Centro que la posición SE. Por su parte, en el cv. Syrah la posición NO tuvo bayas tendientes a un menor contenido de antocianos totales, con un 28 % menos que las bayas ubicadas en la posición SE. Las diferencias en el contenido de antocianos sólo en el cv. Syrah entre las posiciones NO y SE, ocurrieron a pesar de no haber diferencias en la Rmax para cv. Syrah y a pesar de que la Rmax fue superior en SE respecto a NO en cv. Ancellotta (Tablas 10 y 11). En contraste, los racimos ubicados en la posición NO estuvieron expuestos a temperaturas máximas por encima al exterior (+1,3 °C en el cv. Ancellotta y +0,43 °C en el cv. Syrah), a diferencia del resto de posiciones, donde la temperatura máxima del aire fue inferior a la registrada en el exterior (Tablas 10 y 11). Cabe destacar que las temperaturas máximas promedios para las tres temporadas medidas en la estación meteorológica (durante el período de madurez) fueron de 31 °C, mientras que las máximas absolutas alcanzaron los 39 °C. Así, las diferencias observadas en la composición de las bayas de los racimos ubicados en las posiciones SE y NO parecen ser explicadas por temperatura más que por radiación solar incidente. Del mismo modo, Tarara et al. (2008), en un ensayo realizado en el cultivar Merlot, observaron que los racimos ubicados en las posiciones Oeste, fueron negativamente afectados en el color de sus bayas. Reshef et al. (2019) concluyen que la radiación solar desencadena procesos de biosíntesis de fenoles, mientras que las temperaturas elevadas inhiben la expresión génica de precursores e incluso aceleran la degradación química y/o enzimática de metabolitos (Mori et al., 2007).

En la misma línea, la composición de las bayas de los racimos en las posiciones Top y Centro fue similar, a pesar de las marcadas diferencias de la radiación en cada posición (Tablas 14 y 15). Los resultados revelan que la biosíntesis de metabolitos tanto primarios como secundarios (SST, acidez, fenoles, taninos y antocianos totales no fueron limitados por niveles bajos de radiación en la posición Centro (para nuestro estudio la Rmax fue en promedio de 22 % para Syrah y 25 % para Ancellotta, siendo en valores absolutos 506 y 575 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente). Similares resultados fueron observados por Downey et al., 2004 donde al encerrar racimos de Syrah en cajas opacas, la baja radiación no afectó la acumulación de antocianas totales, aunque sí cambió el perfil de las antocianinas individuales y disminuyó la biosíntesis de otros fenoles como son los flavonoles. Por otro lado, a pesar de que la temperatura máxima fue más baja en la posición Top que Centro, tampoco afectaron la acumulación de metabolitos entre ambas posiciones, probablemente debido a que la temperatura promedio de ambas posiciones fue menor que el exterior (Tablas 10 y 11). Relacionado a esto, Tarara et al. (2008) demostraron que los cambios en la acumulación de antocianos eran afectados por baja radiación solo cuando se producía condiciones de alta temperatura de las bayas. La exposición a alta radiación produce un aumento de la temperatura de la fruta, lo que a su vez aumenta su tasa de respiración y también su actividad de sumidero, es decir, una mayor translocación de carbono y otros asimilados en las frutas (Génard y Bruchou, 1993; Martínez-Lüscher et al., 2025), así como la actividad enzimática (Marini et al., 1991; Walker et al., 2021). De esta manera, la temperatura de las bayas se asocia comúnmente con una mayor concentración de sólidos solubles (SST) (por ejemplo, Reynolds et al., 1986; Martínez-Lüscher et al., 2020) y, sin embargo, una temperatura excesivamente alta de la fruta tiene el potencial de reducir los SST (Bonora et al., 2013) y las antocianinas (Bergqvist et al., 2001; Cataldo et al., 2023). De esta manera se muestra la baja influencia de la variabilidad del microclima dentro de la canopia sobre la calidad de la baya.

En contraste, la composición de las bayas fue fuertemente afectada con la aplicación de la PMS. En ambos cultivares se observó un aumento en los metabolitos primarios y secundarios con el avance de la PMS. En el cv. Syrah los cambios estuvieron dados principalmente entre PMS2 y PMS3, donde la acidez incrementó 17 %, los SST 5 %, fenoles totales 18 % y los antocianos totales el 44 %. Mientras que en el cv. Ancellotta, incrementaron los SST 21 %, los fenoles totales 38 % y los antocianos totales 150 % entre PM1 y PMS2, mientras que entre PMS2 y PMS3 incrementó la acidez 11 % y los taninos 57 %. El incremento de los metabolitos primarios y secundarios a través de la PMS puede ser parcialmente explicado por tres factores: procesos a nivel de planta entera (como la relación fuente/destino), diferencias de las condiciones microclimáticas en zonas de racimos y variaciones entre temporadas. El incremento del área

foliar a nivel planta a partir de la PMS2 incrementó la relación fuente/destino reflejadas en los índices AF/P_{planta} e IR, explicando parcialmente la mayor acumulación de metabolitos primarios (desarrollado en el Capítulo III de esta tesis). Además, se observaron diferencias contrastantes entre PM1 y las últimas dos PMS respecto al microclima en zona de racimos, donde disminuyó la radiación solar transmitida y por consecuencia ΔT_{max} pasó de +0,6 °C en PM1 a -3 y -2,3 °C en PMS2 y PMS3, respectivamente (promedio de ambos cultivares). Como vimos anteriormente, la diminución de la T_{max} podría haber aumentado la acumulación de metabolitos (Reshef et al., 2019). Gladstone y Dokoozlian (2003) observaron que sistemas de conducción sin posicionamiento de brotes concentran el área foliar cerca de la zona de racimos y que cuando se incrementa la DAF disminuye la radiación en zona de racimos, tal como se vio en nuestro estudio en la posición Top principalmente entre PM1 y PMS2. Es probable que el incremento de la DAF ocurrida en Top no afectara las R_{max} y R_{diaria} del resto de las posiciones, pero sí haya tenido un efecto sobre la disminución de la T_{max} principalmente en Centro y SE (Tabla 10 y 11). Gladstone y Dokoozlian (2003) también observaron que en los sistemas de conducción sin posicionamiento de brote existe un umbral de DAF por encima del cual la radiación se mantiene estable, tal como ocurrió en nuestro estudio, donde a pesar de que en el cv. Syrah la DAF se incrementó de 12 a 17 m^2/m^3 entre PMS2 y PMS3, la R_{diaria} no fue diferente (34 %).

En nuestro estudio, en adición a las influencias de la PMS, las condiciones ambientales ocurridas en cada temporada tuvieron un rol clave sobre la composición de las bayas. Del análisis de las temperaturas ocurridas en cada temporada (Figura 14e) se observan diferencias en el tiempo de exposición de las plantas a temperaturas por encima de 35 °C. En PM1 las T_{max} dentro de las posiciones fueron similares al exterior y el tiempo de exposición a temperaturas extremas en el exterior también fue alta, mientras que en PMS2 y PMS3 las T_{max} fueron significativamente menores al exterior y el tiempo de exposición a temperaturas extremas fue también menor. Estudios previos en vid han determinado que el tiempo de exposición por encima de una temperatura umbral impactan negativamente sobre la acumulación de antocianos (Cohen et al., 2012). Nuestros resultados van en la misma línea, donde la concentración de antocianos de las bayas fue más bajo en PM1 y más alto en PMS2 y PMS3.

Otro aspecto interesante para destacar, son los resultados observados en la composición de las bayas de los racimos recolectados en PMS2 y PMS3. En ambos cultivares, la composición de la baya cambió marcadamente entre PMS2 y PMS3, sin que ocurran cambios significativos en ΔT_{max} (Tablas 14 y 15) y del tiempo de exposición por encima de 35 °C (Figura 14e). Los cambios en la composición de las bayas pudieron estar asociados a la fuerte reducción del peso del racimo observado de PMS2 a PMS3 debido a una disminución significativa del número de bayas

de los racimos. Intrieri et al. (2011) en un experimento de intensidad de poda en el cv. Sangiovese, encontraron que cuando disminuyó el peso de los racimos, presentaron menor cantidad de bayas, los racimos fueron menos compactos, y las bayas presentaron más concentración de antocianos. Debido la complejidad sobre la acumulación de metabolitos principalmente secundarios es necesario continuar con estudios de más largo plazo sobre el efecto de la PMS y la canopia libre sobre la calidad de las bayas, más importante en regiones cálidas como es el noreste de la provincia de Mendoza.

Algunas diferencias se observaron entre cultivares. El aumento entre PM1 y PMS3 en los fenoles y antocianos totales fue notablemente más alto en cv. Ancellotta que lo observado en cv. Syrah (Tablas 14 y 15), así las diferencias parecen ser explicadas debido a características diferenciales entre los cultivares evaluados. A similar conclusión arribó Gambino et al. (2021) cuando evaluaron un cultivar caracterizado en producir niveles bajos de antocianos (cv. Nebbiolo) y otro caracterizado por producir niveles altos de antocianos (cv. Barbera). En ese experimento observaron diferentes mecanismos de respuestas (genes involucrados) en la biosíntesis de antocianos, cuando se evaluó la expresión génica en tres momentos de fenológicos: grano arveja, envero y cosecha. Cabe resaltar, que además de que los genes involucrados fueron distintos, también hubo diferencias en los momentos en que los mismos se expresaron. Por otro lado, Alvarez Gaona et al. (2018) destacaron el alto poder colorante del cv Ancellotta, respecto a otros cvs. de vino tinto como Malbec y Cabernet Sauvignon (Fanzone et al., 2012) y a cvs. tintoreros como Aspirant Bouchet (Alvarez Gaona et al., 2022).

5. CONCLUSIONES

Nuestro estudio puso en evidencia que la canopia libre genera una marcada variabilidad de la radiación transmitida y la temperatura entre distintas posiciones de la canopia. La variabilidad en el microclima que rodea hojas y racimos tuvo una ligera influencia sobre la composición de las bayas y sólo en el cv. Syrah el contenido de antocianos en la posición NO fue menor. La composición de la baya parece estar comandada por las condiciones de la canopia y del microclima a nivel planta entera.

La aplicación de PMS en caja durante tres años consecutivos generó en ambos cultivares Syrah y Ancellotta un aumento en la radiación interceptada por la canopia y una disminución en la temperatura del aire cercana a los racimos. Además, la PMS produjo en ambos cultivares una disminución del peso del racimo. La disminución de la temperatura y del peso de los racimos

ocurridas en planta entera, se relacionaron con un incremento en la acumulación de metabolitos primarios y secundarios, siendo de principal interés los antocianos totales.

De este modo, la PMS provocó cambios en la arquitectura de la canopia, modificando las condiciones microclimáticas alrededor de las bayas, generando efectos positivos sobre la calidad de la uva. En nuestro estudio, esto fue más importante que la variabilidad espacial al interior de la canopia entre las distintas posiciones evaluadas.

CAPÍTULO V

Discusión General

1. APORTES DE LA TESIS AL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y AL SECTOR PRODUCTIVO

La escasez de mano de obra y los altos costos de producción han llevado a mecanizar diversas tareas, entre ellas la poda. La poda mecanizada en caja se ha implementado satisfactoriamente sobre el sistema de conducción SHW, donde la canopia se desarrolla de manera libre (Poni et al., 2016). Sin embargo, la adopción de la poda mecanizada en Argentina es lenta, ya que a nivel nacional sólo el 1,1 % (INV, 2023) corresponde a sistemas de conducción diferentes al parral y espaldero, donde se incluye al SHW que sería utilizado especialmente para este tipo de poda. A nivel internacional a pesar de no contar con estadísticas, existen regiones vitivinícolas que avanzan a mejor ritmo con la poda mecanizada, como Estados Unidos (Kurtural y Fidelibus, 2021) y Australia (Clingeleffer 2013). En esta tesis desarrollamos 2 experimentos a campo que nos permitieron evaluar la influencia de la intensidad de la poda mecánica en caja y de la aplicación de la poda mecánica en años sucesivos sobre producción, calidad de baya, crecimiento vegetativo y microclima en distintas posiciones de la canopia. Además, uno de los experimentos fue diseñado para poder comparar la poda mecánica con la poda manual. Los estudios fueron realizados en tres cultivares (Cabernet Sauvignon, Syrah y Ancellotta) manejados con canopia libre. La Figura 16 resume y conecta en un mapa conceptual las principales conclusiones de cada capítulo experimental.

1.1. Poca mecánica vs poda manual

Para brindar conocimiento sobre las diferencias entre poda selectiva (poda manual) y no selectiva (poda mecánica en caja), nuestros resultados indican que al segundo año de poda la poda mecánica incrementó 35% la producción sin perjudicar la calidad de la uva comparado con la poda manual. Las plantas de los tratamientos manejados con poda manual y con una intensidad intermedia de poda mecánica (14 cm alto x 14 cm ancho) iniciaron el experimento con el mismo número de yemas. La poda manual permitió mantener similar número de yemas a lo largo del estudio, sin embargo, el número de yemas por metro lineal de cordón aumentó de forma consistente a medida que la poda mecánica se repetía con el mismo tamaño de caja (Tabla 1 Cap. II). A pesar de que la poda mecanizada retuvo mayor cantidad de yemas, esto no afectó la cantidad de brotes, explicado por los procesos de compensación en la brotación (Greven et

al., 2014). Aunque los brotes no variaron entre ambos tipos de poda, en el segundo año de poda mecanizada se incrementaron los brotes con uva (Fig. 4 Cap. II), los racimos por brote y como consecuencia, la producción. El incremento de la producción en el segundo año se asoció a una mayor proporción de pitones con una, dos y tres yemas con mayor fertilidad que las yemas basales. La mayor producción, en el orden del 35 %, de la poda mecanizada por sobre la manual también ha sido observado por otros autores (Peppi et al., 2017, Geller y Kurtural, 2013). La poda mecánica produce brotes más cortos, con menos yemas y menor peso de poda, debido probablemente al incremento en la producción (Martinez de Toda y Sancha, 1999). Sin embargo, la poda mecanizada presentó similares índices de equilibrio de AF/P_{planta} e IR (Tabla 3, Cap. II) que la poda manual. Sin embargo, la comparación de los índices de equilibrio entre la poda mecánica y manual es limitada porque la canopia es conducida de manera diferente (canopia libre en las vides con poda mecanizada en caja y con brotes posicionados verticalmente en vides con poda manual). Ambos tratamientos disminuyeron drásticamente el AF/P_{planta} en el segundo año de poda, incrementando significativamente los fenoles, antocianos y taninos totales. Cabe destacar que en el segundo año la producción de poda mecánica fue superior a poda manual y aun así la calidad de las bayas entre ambos tratamientos fue similar para ese año. (Tabla 4, Cap. II). De esta manera, los incrementos en producción y metabolitos secundarios que se dieron en plantas del cv. Cabernet Sauvignon podado mecánicamente fueron con índices de equilibrio de AF/P_{planta} de $0,4\text{ m}^2/\text{kg}$ e IR de 11. Futuros estudios son necesarios para determinar balances de índices óptimos en sistemas de conducción con canopia libre en viñedos adaptados a la mecanización de la poda y la cosecha (Ahumada et al., 2020).

1.2. Impacto del tamaño de caja en la poda mecanizada

Para brindar conocimiento sobre el tamaño de caja óptimo de poda mecanizada, nuestros resultados indican que en el segundo año de poda ya no hubo diferencias en producción ni en calidad de la uva entre los distintos tamaños de caja, recomendando de esta manera una caja intermedia o pequeña que permitan porcentajes de brotación altos y evite yemas que no broten en posiciones basales en etapas tempranas de implementación de poda mecanizada. Las plantas de los tratamientos que recibieron poda mecánica generando un mayor tamaño de caja (21cm alto x 21 cm ancho) durante tres años produjeron un incremento en el remanente de yemas en comparación con plantas que se les aplicó poda mecánica de menor tamaño (1 cm alto x 7 cm ancho). Las diferencias en el número de yemas dejadas por la poda disminuyeron marcadamente con el paso de las podas sucesivas (Tabla 1, Cap. II). La disminución en las diferencias de yemas entre caja grande y caja pequeña fue explicada porque en los pitones más

largos de caja grande la brotación se produjo en yemas más apicales que hicieron disminuir el largo del pitón al año siguiente, tal como observaron Peppi et al. (2017). El impacto del tamaño de la caja sobre la cantidad de yemas no se trasladó al número de brotes desarrollados, debido a que se generaron mecanismos de autorregulación a través del porcentaje de brotación (Tabla 2, Cap. II), que finalmente determina el número de brotes (Poni et al., 2004). En nuestro estudio la cantidad de brotes fue similar entre los tamaños de cajas y los años de poda estudiados, si bien el número de brotes fue similar entre tratamientos, las características de los brotes variaron. El tratamiento de la caja grande produjo en ambos años mayor cantidad de brotes con uva (Fig. 4, Cap. II) y como consecuencia mayor cantidad de racimos en comparación con el tratamiento de caja pequeña. Más adelante en la temporada, los brotes con uva del tratamiento de caja pequeña presentaron mayor peso de baya y peso del racimo (Tabla 3, Cap. II), más evidente en el segundo año de estudio. Como resultado, las diferencias en la producción entre tratamientos no fueron significativas en el segundo año. El peso de poda y el largo del brote fueron mayores en la caja pequeña sólo durante el primer año, probablemente por la menor producción, lo que provocó una relación de equilibrio AF/P_{planta} mayor para la caja pequeña, que finalmente no tuvo efecto sobre la calidad de las bayas de ese año (Tabla 4, Cap. II). Por otro lado, en el segundo año todos los tamaños de caja disminuyeron el área foliar, incrementaron la producción y a pesar de ello se duplicaron los antocianos y los taninos. De esta manera, plantas del cv. Cabernet Sauvignon podadas mecánicamente presentaron rangos de AF/P_{planta} entre 0,4-0,5 m^2/kg e IR entre 7-14 que permitieron incrementar los metabolitos secundarios en condiciones de aumento de producción. Por lo tanto, los umbrales de los índices de equilibrio para los sistemas de poda en caja en canopia libre parecen ser menores en AF/P_{planta} y mayores en IR, de los propuestos por Kliewer y Dokoozlian (2005) para sistemas de canopia simple y dividida.

1.3. Evaluación de la Poda Mecánica Sucesiva (PMS)

Para brindar conocimiento sobre la poda mecanizada a través de la temporada, nuestros resultados indican que la producción no es influenciada por la PMS y que la calidad de la uva mejora. La producción no fue influenciada por el tipo de poda, debido principalmente a mecanismos de compensación de los componentes del rendimiento. La PMS provocó una disminución progresiva tanto de las yemas por pitón como del largo del pitón en los cultivares Ancellotta y Syrah (Tabla 5, Cap. III). Estos resultados fueron explicados por el hecho de que pitones de mayor longitud tendieron a tener mayor porcentaje de brotación en las yemas ubicadas en posiciones apicales respecto a las posiciones basales. Por otro lado, la cantidad de

pitones por metro lineal de cordón incrementó con la PMS relacionado con la cantidad de sarmientos producidos en el año anterior. De esta manera el remanente de yemas por metro de cordón incrementó hasta el tercer año de PMS y luego disminuyó en el cuarto año de PMS, esto último asociado a una disminución de las yemas por pitón proporcionalmente mayor al incremento del número de pitones. Tanto el largo del pitón como la cantidad de pitones disminuyeron sus diferencias entre la tercera y cuarta poda mecánica sucesiva, indicando un posible equilibrio de la carga de yemas con la capacidad de la planta aplicando PMS a largo plazo (Morris et al., 2010). Respecto al crecimiento vegetativo, ambos cultivares disminuyeron el largo del entrenudo e incrementaron el área foliar (AF_{planta}) a partir del segundo año de PMS (Tabla 6, Cap.III). Similar a lo observado en el cultivar Cabernet Sauvignon (Cap. II), en Syrah y Ancellotta el porcentaje de brotación estuvo inversamente relacionado con la carga de yemas, donde la capacidad de la planta tuvo un rol importante (Intrieri et al., 2011). Si bien el proceso de regulación de la brotación fue importante en ambos cultivares, en el cv. Ancellotta la cantidad de brotes totales incrementó sostenidamente y ambos cultivares incrementaron la cantidad de brotes con uva. McLoughlin et al. (2011) observaron que cuando las yemas ubicadas en la posición de nudo dos y tres se ubican en las dos posiciones más distales del pitón (es decir, pitones de 3 nudos) son más fértiles (i.e. mayor cantidad de racimos) que los mismos nudos ubicados en pitones más largos (pitones de 4 y 5 yemas). Esta tendencia es interesante, ya que la fertilidad de las yemas se determina en la temporada anterior, lo que podría estar indicando una posible abscisión temprana de inflorescencias cuando la yema se ubica en una posición más basal dentro del pitón. Por otro lado, el peso de los racimos disminuyó gradualmente con la PMS, principalmente por efecto de la disminución de bayas por racimo (probablemente causado por un aumento de brotes provenientes de yemas basales). El incremento del AF_{planta} , la disminución del peso del racimo y la variación de la producción provocaron índices de equilibrio que se relacionaron con incrementos de SST, acidez, fenoles, taninos y antocianos totales. De esta manera el AF/P_{planta} fue de $1,3 \text{ m}^2/\text{kg}$ (cv. Syrah) y entre $0,3 - 1,1 \text{ m}^2/\text{kg}$ (cv. Ancellotta) y el IR fue de 10 (cv. Syrah) y entre 15-21 (cv. Ancellotta) (Tabla 8 y 9, Cap. III). Por otro lado, cuando se analizó la relación entre AF/PR_{brote} y los SST se pudo agrupar en una misma relación bilineal a ambos cultivares, donde a partir de $13,4 \text{ cm}^2/\text{g}$ se alcanzó un valor máximo de SST de 24 °Brix, en promedio (Fig. 10, Cap. III). En cambio, los fenoles y antocianos totales mostraron una respuesta diferente en ambos cultivares, donde el cv. Ancellotta presentó una mayor respuesta (mayor pendiente) al incremento de la relación AF/PR_{brote} que lo observado en el cv. Syrah. La variabilidad de respuesta de los índices de equilibrio podría estar parcialmente influenciada por la capacidad propia del cultivar de sintetizar compuestos fenólicos (Alvarez Gaona et al., 2018)

y el hábito de crecimiento diferente en los cultivares que modifica la radiación incidente y la temperatura en la zona de los racimos (Louarn et al., 2008), conduciendo a cambios en la composición de metabolitos secundarios de la baya (Bergqvist et al., 2001).

1.4. Influencia del manejo de la canopia libre sobre el ambiente y calidad de las bayas

Para brindar conocimiento sobre las características de la canopia libre, nuestros resultados indican que a pesar de la variabilidad del ambiente existente dentro de la canopia, la calidad de la baya estuvo relacionada al AF_{planta} , donde al incrementar el área foliar disminuyó la temperatura e incrementaron los metabolitos tanto primarios como secundarios. La canopia libre generó una marcada variabilidad en la distribución del área foliar ($AF_{posición}$), la densidad del área foliar (DAF) y la cantidad de racimos entre distintas posiciones de la canopia. El AF_{planta} se concentró en la posición Top (60%), la producción se concentró en las posiciones Top (48 %) y Centro (32 %), y la DAF fue mayor también en Top (entre 10-12 m^2/m^3) (Figura 15, Tablas 12 y 13, Cap. IV). Louarn et al. (2008) también observaron que la distribución del área foliar en diferentes ubicaciones de la canopia no era homogénea y responde al sistema de conducción, el cultivar y la arquitectura del brote. Por otro lado, la PMS provocó un incremento del $AF_{posición}$, la DAF y de la producción en la posición Top. La variabilidad en el microclima que rodea hojas y racimos tuvo una ligera influencia sobre la composición de las bayas y sólo en el cv. Syrah el contenido de antocianos fue menor en la posición NO, relacionado a que las temperaturas máximas fueron más elevadas que en el resto de las posiciones (Tabla 10 y 11, Cap. IV). La composición de la baya estuvo más influenciada por el microclima de la canopia a nivel de planta entera que por las diferencias microclimáticas que rodean a los racimos dentro de la canopia. La PMS produjo un incremento del área foliar en planta entera que disminuyó la radiación transmitida al interior de la canopia y, por lo tanto, disminuyó la temperatura máxima registrada. También, la PMS provocó una disminución progresiva del peso de los racimos. Los cambios en la temperatura máxima del aire y el menor peso de los racimos parecieron estar relacionados con la mayor acumulación de SST, acidez, fenoles, taninos y antocianos totales observados en bayas de los cultivares Syrah y Ancellotta (Tablas 14 y 15, Cap. IV). En la misma línea, Reshef et al. (2019) concluyeron que la radiación solar interviene en los procesos de biosíntesis de fenoles, mientras que las temperaturas elevadas inhiben la expresión génica de precursores e incluso aceleran la degradación química y/o enzimática de metabolitos (Mori et al., 2007). Intrieri et al. (2011), en un experimento de intensidad de poda en el cv. Sangiovese, encontraron que cuando disminuyó el peso de los racimos, presentaron menor cantidad de bayas y fueron menos compactos, entonces las bayas presentaron más concentración de

antoncianos. En resumen, la aplicación de la poda mecánica en temporadas sucesivas en combinación con el manejo libre de la canopia condujo a cambios en los componentes del rendimiento y en la arquitectura de la canopia, modificando las condiciones microclimáticas alrededor de las bayas, generando efectos positivos sobre la calidad de la uva.

1.5. Importancia del cultivar en la aplicación de la poda mecánica en caja y la conducción libre de los brotes

Para brindar conocimiento de la influencia del cultivar sobre la PMS y la canopia libre, nuestros resultados indican que, bajo las condiciones mencionadas de poda y conducción de brotes, las plantas expresan su potencial productivo relacionado a la capacidad de planta y a su vez, expresan su hábito de crecimiento inherente al genotipo. La aplicación de PMS y la conducción libre de la canopia produjo resultados en términos de producción y calidad de baya diferentes en relación con el cultivar evaluado. La cantidad de brotes desarrollados fue similar a través de las PMS en los cvs. Cabernet Sauvignon (Tabla 2, Cap. II) y en Syrah, mientras que en el cv. Ancellotta la cantidad de brotes aumentó progresivamente (Tabla 6, Cap. III). Esto podría estar relacionado a la capacidad de planta diferente con el que iniciaron el experimento. Más evidentes fueron las diferencias en el hábito de crecimiento de los brotes de cada cultivar, el cual modificó de manera diferencial la densidad del área foliar en la posición Top entre Ancellotta y Syrah, aunque no modificó la radiación transmitida al interior de la canopia. La variabilidad entre cultivares en el hábito de crecimiento de los brotes tendría mayor influencia en los sistemas de canopia libre, donde las plantas expresan su hábito de crecimiento según sus características genéticas y de vigor, en contraste con sistemas de conducción como el VSP, donde las canopias se conducen sobre una pared vertical (Louarn et al., 2008). Más allá de las condiciones microambientales que se generen dentro la canopia, también existen respuestas diferenciales entre cultivares respecto a diferencias inherentes al genotipo (Gambino et al., 2021) hacia los distintos metabolismos, como podría ser la acumulación de fenoles. En el cv. Cabernet Sauvignon, la poda mecánica en caja de dimensiones intermedias (14 cm de alto x 14 cm de ancho) disminuyó un 6 % el pH e incrementó un 13 % los fenoles, 66 % los taninos y 300 % los antocianos totales comparando el primero y el segundo año de aplicación de los tratamientos (Tabla 4, Cap. II). En el cv. Ancellotta, también comparando los dos primeros años de estudio, los SST y los fenoles totales incrementaron 23 % y 42 %, respectivamente (Tabla 9, Cap. III). En el cultivar Syrah (entre PM1 y PMS2), las bayas presentaron un incremento del pH y de los SST de 4 % y 7 %, respectivamente. Esto podría traer como consecuencia que los valores de equilibrio óptimos no sólo dependan del sistema de conducción, del riego, de las condiciones ambientales y de manejo, sino también del cultivar, donde la PMS en condiciones de canopia

libre afectaría la disposición de los brotes influyendo sobre el microclima de los racimos (Gladstone and Dokoozlian, 2003).

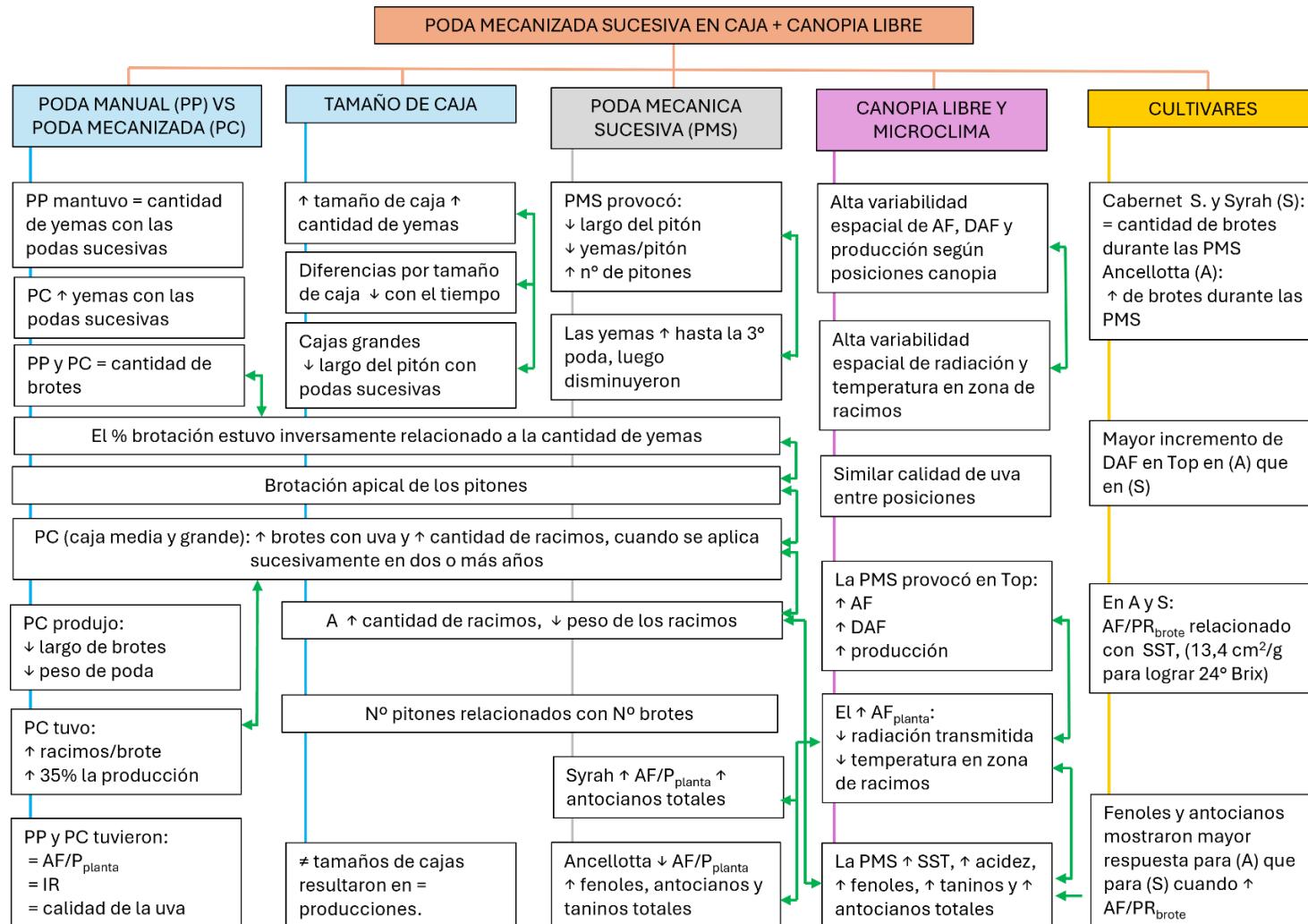


Figura 16. Mapa conceptual resumen que condensa y conecta las principales conclusiones de cada capítulo experimental: azul: capítulo II, gris: capítulo III, morado: capítulo IV y naranja: capítulos II, III y IV.

2. VALIDACIÓN DE LAS HIPÓTESIS DE LA TESIS

Hipótesis 1, Capítulo II: *La poda mecánica en caja retiene una mayor cantidad de yemas en comparación con la poda manual en pitón, lo que conduce a mayor número de racimos y producción.*

En el primer año de poda tanto la poda manual como la poda mecánica en caja iniciaron el experimento con la misma cantidad de yemas remanentes, y no hubo diferencias en la cantidad de racimos ni en la producción. Luego, en el segundo año, la poda mecánica en caja mostró un incremento del remanente de yemas (88 %) que produjo un aumento en la cantidad de racimos (47 %) y en la producción (39 %). Por lo tanto, se acepta la hipótesis.

Hipótesis 2, Capítulo II: *La poda mecánica afecta negativamente la composición de la baya debido al aumento en la producción en comparación con la composición de la baya de viñedo podado manualmente.*

A pesar del incremento del 39 % en la producción en el segundo año de la poda mecanizada respecto a la poda manual, no hubo diferencias en la composición de la baya medida en SST, acidez total, fenoles, taninos y antocianos totales. Sólo el pH fue inferior en la poda mecanizada, lo que es considerado como una característica positiva de la calidad de la baya. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis.

Hipótesis 3, Capítulo II: *El mayor tamaño de la caja en la poda mecánica incrementa la longitud de los pitones, la cantidad de yemas retenidas y la producción. El mayor tamaño de la caja se relaciona positivamente con el Índice de Ravaz, y negativamente con el AF/P_{planta} y con la composición de la baya.*

La aplicación de un mayor tamaño de caja con la poda produjo pitones más largos y mayor remanente de yemas durante los tres años de poda en comparación con la aplicación de cajas de menor tamaño. En adición, la aplicación de un mayor tamaño de caja llevó a un incremento de la producción en el primer año de poda, pero no en el segundo, debido a una compensación de los componentes del rendimiento. Por lo tanto, la hipótesis puede ser parcialmente aceptada.

En el primer año de poda el tamaño de la caja se relacionó positivamente con el Índice de Ravaz y negativamente con AF/P_{planta}, mientras que, en el segundo año, sólo Ravaz mostró la misma tendencia. A pesar de las diferencias en los índices de equilibrio, no existió diferencia en la composición de la baya entre tamaños de caja en SST, acidez, fenoles, taninos y antocianos

totales en ninguno de los dos años de poda, a excepción del pH, que fue menor en el segundo año en la caja de mayor tamaño. De esta manera, la hipótesis es rechazada.

Hipótesis 4, Capítulo III: *La poda mecánica aplicada en años sucesivos manteniendo el tamaño de caja constante a través de las temporadas, produce estabilización de las yemas remanentes y de la producción.*

Las yemas remanentes incrementaron durante los tres primeros años de poda, luego en el cuarto año existió una disminución significativa en ambos cvs., Syrah y Ancellotta. A pesar de ello, la ligera disminución en la cantidad y el largo de pitones entre el tercero y el cuarto año de poda, podría indicar un equilibrio entre el remanente de yemas y la capacidad de la planta a largo plazo. La disminución en la producción observada en ambos cultivares fue principalmente atribuida a la ocurrencia de contingencias climáticas. El impacto de la PMS sobre los componentes del rendimiento fue compensado mediante mecanismos de autorregulación sobre cantidad de brotes con uva, peso de racimo y cantidad de racimos, que finalmente no afectaron significativamente a la producción. Por lo tanto, la hipótesis es parcialmente aceptada.

Hipótesis 5, Capítulo III: *La poda mecánica aplicada en años sucesivos mantiene con el tiempo similares valores en los índices de equilibrio vegetativo/reproductivo sin modificar la composición de la baya.*

La PMS produjo un efecto positivo en los índices de equilibrio AF/P_{planta} , IR y AF/PR_{brote} a partir del segundo año de poda en el cv. Ancellotta. Los mismos efectos fueron observados en el cv. Syrah a partir del tercer año de poda. La composición de la baya cambió a través de la PMS. En ambos cultivares los SST incrementaron a partir de la PMS2, mientras que la acidez, los fenoles, taninos y antocianos totales incrementaron a partir de PMS3. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis.

Hipótesis 6, Capítulo IV: *La posición de los racimos dentro de la canopia afecta a las características de los racimos y la composición de la baya.*

Las posiciones Top y Centro de la canopia presentaron racimos con menor peso que los ubicados en las posiciones NO y SE. La composición de la baya fue escasamente afectada por la posición de los racimos dentro de la canopia, excepto el pH en el cv. Ancellotta donde las bayas de los racimos en la posición Centro tuvieron mayor pH que las bayas de la posición SE. En el cv. Syrah, las bayas de los racimos de la posición NO presentaron menor contenido de antocianos, aunque no significativo, que los racimos de la posición SE. Los SST, la acidez y los fenoles fueron similares en todas las posiciones de ambos cultivares, mientras que no hubo diferencias entre

posiciones en pH en Syrah ni en antocianos en Ancellotta. Por lo tanto, la hipótesis puede ser aceptada respecto al efecto sobre las características de los racimos, pero es rechazada respecto al efecto sobre la composición de las bayas.

Hipótesis 7, Capítulo IV: *La PMS afecta a la estructura de la canopia, modificando las condiciones de radiación y de temperatura en su interior, y la composición de la baya.*

La PMS produjo en los cultivares Syrah y Ancellotta un incremento en el área foliar, principalmente en la posición Top, disminuyendo la radiación transmitida y la temperatura máxima, principalmente a partir del segundo año de PMS. La PMS afectó a la composición de la baya, ya que SST, acidez, fenoles, taninos y antocianos fueron mayores en la PMS2 y/o PMS3 respecto a la PMS1, incrementando la acumulación de metabolitos tanto primarios como secundarios en la baya. Por lo tanto, la hipótesis es aceptada.

3. PERSPECTIVAS FUTURAS

Uno de los principales objetivos de la poda manual es manejar el remanente de yemas para lograr un equilibrio vegetativo/reproductivo óptimo, con consecuencias positivas sobre la calidad de la uva. Por el contrario, la poda mecánica en caja es una poda no selectiva y, como observamos en esta tesis, el remanente de yemas y la cantidad de sarmientos se equilibra con la capacidad de la planta. De esta manera, para la poda mecanizada en caja, pareciera que para regular el equilibrio de la planta es clave considerar aspectos de manejo del viñedo como son el riego y la nutrición. Así, será muy interesante el desarrollo de experimentos para optimizar el riego y determinar coeficiente de cultivo adaptado a canopia libre (Williams et al., 2022) y de curvas de respuesta de macronutrientes en viñedos manejados con poda mecanizada que tiendan a incrementar la capacidad de la planta, sin perjudicar el microclima en la zona de racimos (Botelho et al., 2020).

En la poda manual el operario, al recorrer la hilera, identifica según la variabilidad intraparcelaria, el vigor de las distintas plantas (capacidad de planta) y le asigna una riqueza de yema acorde a la misma. La poda mecánica en caja parece ser aplicada de forma homogénea en todo el viñedo sin diferenciar el vigor de las plantas. Sin embargo, el avance en la tecnología de las máquinas podadoras hace prever que en el futuro las máquinas podrían incorporar mapas de vigor del viñedo, traduciéndolo en una poda diferencial a nivel parcelario. Así con los resultados de este trabajo, al conocer que el tamaño de la caja no tiene efecto a largo plazo sobre la producción, lo que se sugiere es mantener una caja uniforme a lo largo de la hilera, pero intervenir sobre la disminución de la variabilidad del vigor dentro de la parcela, atendiendo

aquellos factores que producen las limitaciones y que originan la variabilidad (como impedancias físicas, materia orgánica, riego, textura de suelo, etc). Por lo tanto, el diagnóstico de la variabilidad intraparcelaria del vigor a través del uso de sensores remotos o drones para la viticultura de precisión permitirá homogeneizar la capacidad de las plantas y permitir que la poda mecanizada se adapte mejor a las condiciones de la totalidad de las plantas del viñedo (Poni et al., 2016; Kasimati et al., 2023).

Otro factor operativo interesante para evaluar son los tipos de corte que realizan las diversas cuchillas que ofrece el mercado de maquinarias, siendo indispensable minimizar laceraciones para evitar el ingreso de enfermedades de la madera como la hoja de malvón. Para este punto serían necesarios ensayos con podadoras de sierras, barras y cuchillas sobre el nivel de daño que generan en los cortes (Bruez et al., 2022). Referido a este punto, sería importante evaluar la aplicación de diversos principios activos inmediatamente de realizada la poda, para disminuir la incidencia de los hongos antes mencionados.

Como fue expuesto en esta tesis, existe una marcada influencia del sistema de conducción y del posicionamiento de los brotes sobre la arquitectura de la canopia, sobre la incidencia de la radiación y de la temperatura en los racimos y las bayas. Por lo tanto, cabe destacar que la altura del cordón podría tener efectos significativos sobre la velocidad del aire que influye sobre los racimos y, por lo tanto, sobre el enfriamiento convectivo de las bayas, pudiendo alterar la calidad de la uva. Ensayos sobre alturas de cordones operativamente viables, como podrían ser entre 1,2 m y 1,8 m podría brindar mayor información al respecto (Zhuang et al., 2023).

Por otro lado, es indispensable la evaluación tanto de la poda mecanizada en caja como de la canopia libre sobre diversos cultivares, ya que factores genéticos y micro-ambientales estarían fuertemente relacionados con la fertilidad de las yemas basales y con la acumulación de metabolitos. Otro factor que considerar es el estudio del efecto del genotipo y de su interacción con el ambiente sobre las características de los pitones (largo de los entrenudos y fertilidad de yemas según su posición), lo que tendría influencia sobre el remanente de yemas. Del mismo modo, como se vio en esta tesis, la arquitectura de la canopia determina la radiación transmitida e influye sobre la temperatura de los racimos, por lo tanto, el hábito de crecimiento de diversos cultivares influiría sobre estas condiciones. Dicho conocimiento permitiría ajustar, si fuesen necesarios, manejos alternativos de recorte de los brotes para provocar la brotación de feminelas y manipular el microclima dentro de la canopia, además de ajustar el vigor mediante otra herramienta como el riego controlado. Ensayos sobre despampanado temprano (poda en verde) sobre cultivares con distintos hábitos de crecimientos (erectos versus pendulares) tanto

para uvas tintas como blancas o rosadas, serían de suma importancia para mejorar la calidad de las uvas para este tipo de manejo de cultivo (Poni et al., 2023).

4. CONCLUSIONES FINALES

El manejo del viñedo aplicando poda mecánica en años sucesivos (PMS) y manteniendo la misma intensidad (tamaño de caja) produce un aumento en la cantidad de pitones y una disminución del largo de los pitones. Este efecto produce un incremento en las yemas remanentes durante los primeros años de aplicación, que tenderían a equilibrarse con las podas sucesivas en relación con la capacidad de la planta. Así, podemos concluir que el tamaño de la caja tendría poca influencia a largo plazo en el remanente de yemas, por lo que se recomienda un tamaño intermedio (10-15 cm de alto x 15-20 cm de ancho) que no produzca la brotación exacerbada de yemas basales ni una alta proporción de yemas basales “ciegas”. La brotación de las yemas actúa como un mecanismo inicial de regulación de la vid, manteniendo en equilibrio la cantidad de brotes y la capacidad de la planta. En términos productivos, la aplicación en años sucesivos de la poda mecánica disminuyó o mantuvo el peso de los racimos, debido a una disminución o poco cambio en la cantidad de bayas por racimo. Los componentes de la producción (número de racimos y bayas por racimo) estuvieron regulados *vía* PMS por el aumento de la cantidad de brotes con uva provenientes de yemas francas o basales.

Además, la composición de la baya fue afectada positivamente por la PMS y el manejo de canopia libre, incrementando tanto la acumulación de metabolitos primarios como secundarios en los tres cultivares evaluados. El incremento de los metabolitos acumulados se relacionó con una disminución del área foliar en planta entera y del peso de poda en el cv. Cabernet Sauvignon y con un aumento del área foliar en planta entera y una disminución del peso del racimo en los cvs. Syrah y Ancellotta. El incremento del área foliar en planta entera en los cvs. Syrah y Ancellotta se asoció con una disminución en la temperatura máxima del aire alrededor de los racimos que favoreció una mayor acumulación de metabolitos secundarios en la baya.

BIBLIOGRAFÍA

Ahumada G. E. (2023). Evaluación del efecto de distintas relaciones hoja: fruta y arquitecturas de canopia en viñedos de la variedad Malbec implantados en un sistema de conducción no tradicional: Single High- Wire en la provincia de Mendoza. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina.

Ahumada, G. E., Catania, A., Fanzone, M. L., Belmonte, M. J., Giordano, C. V., & González, C. V. (2020). Effect of leaf-to-fruit ratios on phenolic and sensory profiles of Malbec wines from single high-wire-trellised vineyards. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101, 1467-1478. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10760>

Aliqué, G., Catania, A. & Aguado, G. La poda de la vid. Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Lujan de Cuyo, Argentina (2010).

Allegro, G., Martelli, R., Valentini, G., Pastore, C., Mazzoleni, R., Pezzi, F., & Filippetti, I. (2023). Effects of Mechanical Winter Pruning on Vine Performances and Management Costs in a Trebbiano Romagnolo Vineyard: A Five-Year Study. *Horticulturae*, 9(1), 21. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010021>

Alvarez Gaona, I. J., Fanzone, M. L., Galmarini, M. V., Chirife, J., Ferreras-Charro, R., García-Estevez, I., & Escribano-Bailón, M. T. (2022). Encapsulation of phenolic compounds by spray drying of Ancellotta and Aspirant Bouchet wines to produce powders with potential use as natural food colorants. *Food Bioscience*, 50, 102093. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102093>

Alvarez Gaona, I. J., Fanzone, M., Sari, S., Assof, M., Pérez, D., Chirife, J., & Zamora, M. C. (2019). Spray-dried Ancellotta red wine: natural colorant with potential for food applications. *European Food Research and Technology*, 245, 2621-2630. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03375-0>

Barcia, F., Prieto, J., & Trentacoste, E. R. (2023). Effects of mechanical box pruning intensity on bud development, vegetative growth, and yield components on cv. Cabernet-Sauvignon in Mendoza, Argentina. *OENO One*, 57(3), 153–163. <https://doi.org/10.20870/oenone.2023.57.3.7475>

Battistella, M., Novello, R., Miranda, O., & Alós, M. (2013). Limitantes estructurales que afectan la productividad de la mano de obra durante la vendimia en el sector vitivinícola de San Juan. XLIV Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria.

Bergqvist, J., Dokoozlian, N., & Ebisuda, N. (2001). Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the Central San Joaquin Valley of California. *American journal of Enology and Viticulture*, 52(1), 1-7.

Bonora, E., Noferini, M., Vidoni, S., & Costa, G. (2013). Modeling fruit ripening for improving peach homogeneity in planta. *Scientia Horticulturae*, 159, 166-171. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.05.011>

Botelho, M., Cruz, A., Ricardo-da-Silva, J., de Castro, R., & Ribeiro, H. (2020). Mechanical pruning and soil fertilization with distinct organic amendments in vineyards of Syrah: Effects on

vegetative and reproductive growth. *Agronomy*, 10, 1090. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081090>

Bruez, E., Cholet, C., Giudici, M., Simonit, M., Martignon, T., Boisseau, M., ... & Geny-Denis, L. (2022). Pruning quality effects on desiccation cone installation and wood necrotization in three grapevine cultivars in France. *Horticulturae*, 8(8), 681. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8080681>

Bustos Morgani, M., Fanzone, M., Perez Peña, J., Sari, S., Gallo, A., Gomez Tournier, M., & Prieto, J. A. (2023). Late pruning modifies leaf to fruit ratio and shifts maturity period, affecting berry and wine composition in *Vitis vinifera* L. cv. Malbec in Mendoza, Argentina. *Scientia Horticulturae*, 313, 111861. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111861>

Cabré, M. F., Quénol, H., & Nuñez, M. (2016). Regional climate change scenarios applied to viticultural zoning in Mendoza, Argentina. *International journal of biometeorology*, 60, 1325-1340. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1126-3>

Calderón, F. J., Weibel, A. M., & Trentacoste, E. R. (2021). Effects of different interstock length on vegetative growth and flowering in peach cv. Pavie Catherine. *Scientia Horticulturae*, 285, 110174. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110174>

Caprara, C., & Pezzi, F. (2013). Effect of different winter pruning systems on grapes produced. *Journal of Agricultural Engineering*, 44(s2). <https://doi.org/10.4081/jae.2013.327>

Carboneau, A., Casteran, P., & Leclair, P. (1981). Principes de choix de systèmes de conduite pour des vignobles tempérés et définitions pratiques utilisables en réglementation. *OENO One*, 15(2), 97–124. <https://doi.org/10.20870/eno-one.1981.15.2.1789>

Cataldo, E., Eichmeier, A., & Mattii, G. B. (2023). Effects of Global Warming on Grapevine Berries Phenolic Compounds—A Review. *Agronomy*, 13(9), 2192. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092192>

Chen, J., Saunders, S. C., Crow, T. R., Naiman, R. J., Brosofske, K. D., Mroz, G. D., ... & Franklin, J. F. (1999). Microclimate in forest ecosystem and landscape ecology: variations in local climate can be used to monitor and compare the effects of different management regimes. *BioScience*, 49(4), 288-297. <https://doi.org/10.2307/1313612>

Clingeffer, P. R. (2013). Mechanization in Australian vineyards. In I International Workshop on Vineyard Mechanization and Grape and Wine Quality 978 (pp. 169-177).

Cohen, S. D., Tarara, J. M., Gambetta, G. A., Matthews, M. A., & Kennedy, J. A. (2012). Impact of diurnal temperature variation on grape berry development, proanthocyanidin accumulation, and the expression of flavonoid pathway genes. *Journal of experimental botany*, 63(7), 2655-2665.

Coombe, B. G. (1995). Growth stages of the grapevine: adoption of a system for identifying grapevine growth stages. *Australian journal of grape and wine research*, 1(2), 104-110. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1995.tb00086.x>

Deis L., de Rosas I., Malovini E., Cavagnaro M., Cavagnaro J.B., 2015. Impacto del cambio climático en Mendoza. Variación climática en los últimos 50 años. Mirada desde la fisiología de la vid. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 47, 67–92.

Del Zozzo, F., & Poni, S. (2024). Climate Change Affects Choice and Management of Training Systems in the Grapevine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 2024.

Di Lorenzo, R., & Pisciotta, A. (2019). Combined influence of bud load and bud position along the cane on vegetative and reproductive parameters of grape cv. Grillo. *BIO Web of Conferences*, 13, 04012. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191304012>

Dokoozlian, N. (2013). The evolution of mechanized vineyard production systems in California. In I International workshop on vineyard mechanization and grape and wine quality 978 (pp. 265-278).

Dou, F., Phillip, F. O., & Liu, H. (2024). Combined Metabolome and Transcriptome Analysis Revealed the Accumulation of Anthocyanins in Grape Berry (*Vitis vinifera L.*) under High-Temperature Stress. *Plants* (Basel, Switzerland), 13(17), 2394. <https://doi.org/10.3390/plants13172394>

Downey, M. O., Harvey, J. S., & Robinson, S. P. (2004). The effect of bunch shading on berry development and flavonoid accumulation in Shiraz grapes. *Australian journal of grape and wine research*, 10(1), 55-73. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2004.tb00008.x>

Elwafa, A., & Thoraua, S. A. (2018). Effect of different levels of buds load on bud behavior and fruit quality of Early Sweet grapevine. *Annals of Agricultural Science Moshtohor Journal*, 56, 61-70. <https://doi.org/10.21608/ASSJM.2018.44111>

Epee, P. T., Schelezki, O., Trought, M. C., Werner, A., Hofmann, R. W., Almond, P., ... & Parker, A. (2022). Effects of cane-and spur-retained node numbers on the pre-flowering vegetative growth of cane-pruned Sauvignon blanc. *OENO One*, 56(4), 157-171.

Fanzone, M., Peña-Neira, A., Gil, M., Jofré, V., Assof, M., & Zamora, F. (2012). Impact of phenolic and polysaccharidic composition on commercial value of Argentinean Malbec and Cabernet Sauvignon wines. *Food Research International*, 45(1), 402-414. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.11.010>

Fredes, C., Simunovic, Y. M., Farias, S. O. O., & Von Bennewitz, E. (2010). Vine balance: a study case in Carménère grapevines. *Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura*, 37(1), 143-150.

Gambetta, J. M., Romat, V., Schmidtke, L. M., & Holzapfel, B. P. (2021). Secondary Metabolites Coordinately Protect Grapes from Excessive Light and Sunburn Damage during Development. *Biomolecules*, 12(1), 42. <https://doi.org/10.3390/biom12010042>

Gambino, G., Boccacci, P., Pagliarani, C., Perrone, I., Cuozzo, D., Mannini, F., & Gribaudo, I. (2021). Secondary metabolism and defense responses are differently regulated in two grapevine cultivars during ripening. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(6), 3045. <https://doi.org/10.3390/ijms22063045>

Gatti, M., Civardi, S., Bernizzoni, F., & Poni, S. (2011). Long-term effects of mechanical winter pruning on growth, yield, and grape composition of Barbera grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 62, 199-206. <https://doi.org/10.5344/ajev.2011.10101>

Geller, J. P., & Kurtural, S. K. (2013). Mechanical canopy and crop- load management of Pinot gris in a warm climate. *American Journal of Enology and Viticulture*, 64, 65-73. <https://doi.org/10.5344/ajev.2012.12045>

Génard, M., & Bruchou, C. (1993). A functional and exploratory approach to studying growth: the example of the peach fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 118(2), 317-323.

Gladstone, E. A., & Dokoozlian, N. K. (2003). Influence of leaf area density and trellis/training system on the light microclimate within grapevine canopies. *Vitis: Journal of Grapevine Research*, 42(3), 123-131.

González, C. V., Fanzone, M. L., Cortés, L. E., Bottini, R., Lijavetzky, D. C., Ballaré, C. L., & Boccalandro, H. E. (2015). Fruit-localized photoreceptors increase phenolic compounds in berry skins of field-grown *Vitis vinifera* L. cv. Malbec. *Phytochemistry*, 110, 46-57.

Greven, M. M., Bennett, J. S., & Neal, S. M. (2014). Influence of retained node number on Sauvignon Blanc grapevine vegetative growth and yield. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 20(2), 263-271. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12074>

Gu, S., Jacobs, S. D., McCarthy, B. S., & Gohil, H. L. (2012). Forcing vine regrowth and shifting fruit ripening in a warm region to enhance fruit quality in 'Cabernet Sauvignon' grapevine (*Vitis vinifera* L.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 87, 287-292. <https://doi.org/10.1080/14620316.2012.11512866>

Harbertson, J. F., Kennedy, J. A., & Adams, D. O. (2002). Tannin in skins and seeds of Cabernet Sauvignon, Syrah, and Pinot noir berries during ripening. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(1), 54-59.

Harbertson, J. F., Picciotto, E. A., & Adams, D. O. (2003). Measurement of Polymeric Pigments in Grape Berry Extracts and Wines Using a Protein Precipitation Assay Combined with Bisulfite Bleaching. *American Journal of Enology and Viticulture*, 54(4), 301-306.

Heredia, T. M., Adams, D. O., Fields, K. C., Held, P. G., & Harbertson, J. F. (2006). Evaluation of a comprehensive red wine phenolics assay using a microplate reader. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(4), 497-502.

Intrieri, C., Filippetti, I., Allegro, G., Valentini, G., Pastore, C., & Colucci, E. (2011). The Semi-minimal-Pruned Hedge: A novel mechanized grapevine training system. *American Journal of Enology and Viticulture*, 62, 312-318. <https://doi.org/10.5344/ajev.2011.10083>

INV. Informe anual de superficie 2023.
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/10/informe_anual_de_superficie_2023.pdf

Jackson, D. I. (1991). Environmental and hormonal effects on development of early bunch stem necrosis. *American Journal of Enology and Viticulture*, 42(4), 290-294.

Kasimati, A., Psiroukis, V., Darra, N., Kalogrias, A., Kalivas, D., Taylor, JA y Fountas, S. (2023). Investigación de las similitudes entre los mapas del NDVI de diferentes plataformas de teledetección y detección proximal para explicar la variabilidad del viñedo. *Precision Agriculture*, 24 (4), 1220-1240.

Keller, M. (2020). *The science of grapevines*. Academic Press

Keller, M., Kummer, M., & Vasconcelos, M. C. (2001). Reproductive growth of grapevines in response to nitrogen supply and rootstock. *Australian journal of grape and wine research*, 7(1), 12-18.

Keller, M., Mills, L. J., Wample, R. L., & Spayd, S. E. (2004) Crop load management in Concord grapes using different pruning techniques. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55, 35-49. <https://doi.org/10.5344/ajev.2004.55.1.35>

Kliewer, W. M., & Dokoozlian, N. K. (2005) Leaf area/crop weight ratios of grapevines: influence on fruit composition and wine quality. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56, 170-181. <https://doi.org/10.5344/ajev.2005.56.2.170>

Kurtural, S. K., & Fidelibus, M. W. (2021). Mechanization of pruning, canopy management, and harvest in winegrape vineyards. *Catalyst: Discovery into Practice*, 5, 29-44. <https://doi.org/10.5344/catalyst.2021.20011>

Kurtural, S. K., Dervishian, G., & Wample, R. L. (2012). Mechanical canopy management reduces labor costs and maintains fruit composition in 'Cabernet-Sauvignon' grape production. *HortTechnology*, 22, 509-516. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.22.4.509>

Kurtural, S. K., Wessner, L. F., & Dervishian, G. (2013). Vegetative compensation response of a procumbent grapevine (*Vitis vinifera* cv. Syrah) cultivar under mechanical canopy management. *HortScience*, 48, 576-583. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.5.576>

Ladux, F. J., Rousseaux, M. C., & Trentacoste, E. R. (2024). Characterization of light intensity and quality, vegetative, flowering and fruiting traits in high and super-high density olive hedgerows. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 23(4), 267-276. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2023.12.004>

Louarn, G., Dauzat, J., Lecoeur, J., & Lebon, E. (2008). Influence of trellis system and shoot positioning on light interception and distribution in two grapevine cultivars with different architectures: an original approach based on 3D canopy modelling. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 14(3), 143-152.

Mabrouk, H., & Sinoquet, H. (1998). Indices of light microclimate and canopy structure of grapevines determined by 3D digitising and image analysis, and their relationship to grape quality. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 4(1), 2-13. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1998.tb00129.x>

Maldera, F., Vivaldi, G. A., Iglesias-Castellarnau, I., & Camposeo, S. (2021). Two almond cultivars trained in a super-high density orchard show different growth, yield efficiencies and damages by mechanical harvesting. *Agronomy*, 11(7), 1406. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071406>

Marini, R.P., Sowers, D.L., Marini, M.C. (1991). Peach fruit quality is affected by shade during final swell of fruit growth. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 116, 383-389.

Martínez de Toda Fernández, F., & Balda Manzanos, P. J. (2015). Quantifying the effect of temperature on decoupling anthocyanins and sugars of the grape (*Vitis vinifera* L. 'Maturana Tinta de Navarrete'). *Vitis – Journal of Grapevine Research*, 54(3), 117–120.

Martínez de Toda, F., & Sancha, J. C. (1999). Long-term effects of simulated mechanical pruning on Grenache vines under drought conditions. *American Journal of Enology and Viticulture*, 50(1), 87–90. <https://doi.org/10.5344/ajev.1999.50.1.87>

Martínez-Lüscher, J., Chen, C. C. L., Brillante, L., & Kurtural, S. K. (2020). Mitigating Heat Wave and Exposure Damage to "Cabernet Sauvignon" Wine Grape With Partial Shading Under Two Irrigation Amounts. *Frontiers in plant science*, 11, 579192. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.579192>

Martínez-Lüscher, J., Matus, J. T., Gomès, E., & Pascual, I. (2025). Toward understanding grapevine responses to climate change: a multi-stress and holistic approach. *Journal of experimental botany*, 76(11), 2949–2969. <https://doi.org/10.1093/jxb/erae482>

McLoughlin, S. J., Petrie, P. R., & Dry, P. R. (2011). Impact of node position and bearer length on the yield components in mechanically pruned Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.). *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17, 129-135. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00126.x>

Mori, K., Goto-Yamamoto, N., Kitayama, M., & Hashizume, K. (2007). Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature. *Journal of experimental botany*, 58(8), 1935-1945. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm055>

Morris, J. R. (2007). Development and commercialization of a complete vineyard mechanization system. *HortTechnology*, 17(4), 411-420. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.17.4.411>

Morris, J. R., & Main, G. L. (2010). Response of Concord grapevines to varied shoot positioning and pruning methods in a warm, long- season growing region. *American journal of enology and viticulture*, 61(2), 201-213. <https://doi.org/10.5344/ajev.2010.61.2.201>

Novello, J. R. Estimación de costos de producción de vid para vinificar para el Oasis Este de Mendoza [Noviembre 2021]. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/18872>

OIV. Annual assessment of the world vine and wine sector in 2022. https://www.oiv.int/sites/default/files/documents/OIV_Annual_Assessment-2023.pdf

Palliotti, A. (2012). A new closing Y-shaped training system for grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18, 57-63. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00171.x>

Palliotti, A., Tombesi, S., Silvestroni, O., Lanari, V., Gatti, M., & Poni, S. (2014). Changes in vineyard establishment and canopy management urged by earlier climate-related grape ripening: A review. *Scientia Horticulturae*, 178, 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.07.039>

Peppi, M. C., Kania, E., Talep, R., Castro, P., & Reginato, G. (2017). Effect of different cutting heights of mechanically pruned grapevines cv. Merlot over three consecutive seasons. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 38, 221-227. <http://dx.doi.org/10.21548/38-2-1609>

Pezzi, F., & Bordini, F. (2008). Vineyard mechanical winter pruning: technical, qualitative and economical aspects of different mechanization levels (*Vitis vinifera* L.; grapevine; Emilia-Romagna). *Rivista di Ingegneria Agraria* (Italy), 37, 57-63.

Poni, S., Bernizzoni, F., Presutto, P., & Rebucci, B. (2004). Performance of Croatina under short-cane mechanical hedging: A successful case of adaptation. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55, 379-388. <https://doi.org/10.5344/ajev.2004.55.4.379>

Poni, S., Tombesi, S., Palliotti, A., Ughini, V., & Gatti, M. (2016). Mechanical winter pruning of grapevine: Physiological bases and applications. *Scientia Horticulturae*, 204, 88-98. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.046>

Poni, S., Frioni, T., & Gatti, M. (2023). Summer pruning in Mediterranean vineyards: is climate change affecting its perception, modalities, and effects?. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1227628. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1227628>

Prieto, J. A., Bustos Morgani, M., Gomez Tournier, M., Gallo, A., Fanzone, M., Sari, S., ... & Perez Peña, J. (2024). Climate Change Adaptations of Argentine Viticulture. In *Latin American Viticulture Adaptation to Climate Change: Perspectives and Challenges of Viticulture Facing up Global Warming* (pp. 149-169). Cham: Springer International Publishing.

Prieto, J. A., Louarn, G., Penas, J. P., Ojeda, H., Simonneau, T. T., & Lebon, E. (2013, July). Impact of training system on gas exchanges and water use efficiency: a 3D-modelling study with topvine. In *18. International Symposium GiESCO 2013*.

Prieto, J. A., Louarn, G., Perez Peña, J., Ojeda, H., Simonneau, T., & Lebon, E. (2020). A functional-structural plant model that simulates whole-canopy gas exchange of grapevine plants (*Vitis vinifera* L.) under different training systems. *Annals of Botany*, 126(4), 647-660. <https://doi.org/10.1093/aob/mcz203>

Reshef, N., Fait, A., & Agam, N. (2019). Grape berry position affects the diurnal dynamics of its metabolic profile. *Plant, cell & environment*, 42(6), 1897-1912.

Reynolds, A. G., & Heuvel, J. E. V. (2009). Influence of grapevine training systems on vine growth and fruit composition: a review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 60(3), 251-268. Doi: [10.5344/ajev.2009.60.3.251](https://doi.org/10.5344/ajev.2009.60.3.251)

Reynolds, A., Pool, R., & Mattick, L. (1986). Influence of cluster exposure on fruit composition and wine quality of Seyval blanc grapes. *Vitis*, 25, 85-95.

Rienth, M., Vigneron, N., Darriet, P., Sweetman, C., Burbidge, C., Bonghi, C., ... & Castellarin, S. D. (2021). Grape berry secondary metabolites and their modulation by abiotic factors in a climate change scenario—a review. *Frontiers in Plant Science*, 12, 643258.

Rizk, M., & El-Kenawy, M. A. (2006). Influence of pruning severity on bud behaviour, yield, berry quality and content of total carbohydrates in the canes of Thompson Seedless grapes under pergola trellis system. *Journal of Plant Production*, 31, 901-913.

Sadras, V. O., & Moran, M. A. (2012). Elevated temperature decouples anthocyanins and sugars in berries of Shiraz and Cabernet Franc. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18(2), 115-122. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2012.00180.x>

Sadras, V. O., Stevens, R. M., Pech, J. M., Taylor, E. J., Nicholas, P. R., & McCarthy, M. G. (2007). Quantifying phenotypic plasticity of berry traits using an allometric-type approach: a case study on anthocyanins and sugars in berries of Cabernet Sauvignon. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 13(2), 72-80.

Sánchez, L. A., & Dokoozlian, N. K. (2005). Bud microclimate and fruitfulness in *Vitis vinifera*. *L. American Journal of Enology and Viticulture*, 56(4), 319-329.

Sánchez Vives, Salatino y Pizzolato (2024). El trabajo en la viticultura de calidad de la provincia de Mendoza. Serie ImpaCT.ar Desafío 58. Cuantificación y caracterización de los mercados de trabajo de actividades de base agraria para la gestión de políticas públicas. ISSN 3008-833X.

Sanchez, E. E. (2020). Programa Nacional Frutales. Superficie ocupada por plantaciones frutales en el país y cambios en su estructura productiva. Ediciones INTA.

Saudreau, M., Marquier, A., Adam, B., & Sinoquet, H. (2011). Modelling fruit-temperature dynamics within apple tree crowns using virtual plants. *Annals of Botany*, 108(6), 1111-1120. <https://doi.org/10.1093/aob/mcr054>

Smart, R. E., & Coombe, B. G. (1983). Water relations of grapevines. Water deficits and plant growth, 7, 137-196.

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*, 53(3), 171-182.

Sun, R. Z., Cheng, G., Li, Q., He, Y. N., Wang, Y., Lan, Y. B., ... & Wang, J. (2017). Light-induced variation in phenolic compounds in Cabernet Sauvignon grapes (*Vitis vinifera* L.) involves extensive transcriptome reprogramming of biosynthetic enzymes, transcription factors, and phytohormonal regulators. *Frontiers in Plant Science*, 8, 547.

Tarara, J. M., Lee, J., Spayd, S. E., & Scagel, C. F. (2008). Berry temperature and solar radiation alter acylation, proportion, and concentration of anthocyanin in Merlot grapes. *American journal of enology and viticulture*, 59(3), 235-247.

Tonietto, J., & Carbonneau, A. (2004). A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124, 81-97. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.06.001>

Torres, N., Martínez-Lüscher, J., Porte, E., & Kurtural, S. K. (2020). Optimal ranges and thresholds of grape berry solar radiation for flavonoid biosynthesis in warm climates. *Frontiers in plant science*, 11, 931.

Vila, H. F., Paladino, S. C., Nazrala, J. J. B., & Lucero, C. C. (2010). Manual de calidad de uva: guía práctica para conocer y evaluar la calidad de uva para vino. Ediciones INTA

Walker, R. P., Bonghi, C., Varotto, S., Battistelli, A., Burbidge, C. A., Castellarin, S. D., Chen, Z. H., Darriet, P., Moscatello, S., Rienth, M., Sweetman, C., & Famiani, F. (2021). Sucrose Metabolism and Transport in Grapevines, with Emphasis on Berries and Leaves, and Insights Gained from a Cross-Species Comparison. *International journal of molecular sciences*, 22(15), 7794. <https://doi.org/10.3390/ijms22157794>

Wang, X., Leseck, S., De Bei, R., Fuentes, S., & Collins, C. (2020). Effects of canopy management practices on grapevine bud fruitfulness. *OENO One*, 54, 313-325. <https://doi.org/10.20870/oenone.2020.54.2.3016>

Weyand, K., & Schultz, H. (2006). Light interception, gas exchange and carbon balance of different canopy zones of minimally and cane-pruned field-grown Riesling grapevines. *Vitis*, 45(3), 105-114.

Williams, L. E., & Ayars, J. E. (2005). Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Agricultural and forest meteorology*, 132(3-4), 201-211.

Williams, LE, Levin, AD y Fidelibus, MW (2022). Coeficientes de cultivo (Kc) desarrollados a partir del área sombreada del dosel en viñedos de California. *Agricultural Water Management*, 271, 107771.

Yu, R., Torres, N., Tanner, J. D., Kacur, S. M., Marigliano, L. E., Zumkeller, M., ... & Kurtural, S. K. (2022). Adapting wine grape production to climate change through canopy architecture manipulation and irrigation in warm climates. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1015574.

Zhang, Z., Heinemann, P. H., Liu, J., Baugher, T. A., & Schupp, J. R. (2016). The development of mechanical apple harvesting technology: A review. *Transactions of the ASABE*, 59(5), 1165-1180. doi: 10.13031/trans.59.11737.

Zhuang, S., Sun, Q., Kurtural, K., & Fidelibus, M. (2023). Cordon height and deficit irrigation practices interact to affect yield and fruit quality of Cabernet Sauvignon and Petite Sirah grown in a hot climate [Poster presentación]. 22nd GiESCO International Meeting, Cornell University, Ithaca, NY, Estados Unidos.