



Universidad de Concepción
Dirección de Postgrado
Facultad de Agronomía - Programa de Magíster en Ciencias Agronómicas

**RESPUESTAS DE LAS RELACIONES HÍDRICAS Y LA
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS BAYAS Y DEL VINO EN
VIDES MOSCATEL DE ALEJANDRÍA SOMETIDAS A TRES
INTENSIDADES DE PODA**

Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias Agronómicas

**KASANDRA ANGÉLICA IBARRA IBARRA
CHILLÁN-CHILE
2023**

Profesor Guía: Arturo Calderón Orellana
Dpto. de Producción Vegetal
Facultad de Agronomía
Universidad de Concepción

Esta tesis ha sido realizada en el Departamento de Producción Vegetal de la Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción.

Profesor Guía

Dr. Arturo Calderón Orellana
Facultad de Agronomía
Universidad de Concepción

Comisión Evaluadora:

Dr. Ignacio Serra Stepke
Facultad de Agronomía
Universidad de Concepción

Dr. Álvaro Peña Neira
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de Chile

Director de Programa

Dra. Marisol Vargas Concha
Facultad de Agronomía
Universidad de Concepción

TABLA DE CONTENIDOS

	Pagina
ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS	v
RESUMEN	x
SUMMARY	xii
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
HIPÓTESIS	9
OBJETIVO GENERAL	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
REFERENCIAS	10
CAPÍTULO 1. Sunburn and its relation to maturity and concentration of aromatic compounds in head-trained Muscat of Alexandria vines	17
Abstract	18
1. Introduction	19
2. Material and methods	22
3. Results	27
4. Discussion	29
5. Conclusions	34
References	35
Figures	42
Tables	49

CAPÍTULO 2. Respuestas de las relaciones hídricas y la composición química de las bayas y del vino en vides Moscatel de Alejandría sometidas a tres intensidades de poda	52
Resumen	52
1. Introducción	53
2. Materiales y métodos	56
3. Resultados	68
4. Discusión	73
5. Conclusiones	86
Referencias	87
Figuras	97
Tablas	108
DISCUSIÓN GENERAL	116
CONCLUSIONES GENERALES	118
REFERENCIAS	119

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

CAPÍTULO 1		Pagina
Figure 1	Head or Gobelet training system in Muscat of Alexandria vines trained at two heights from the trunk (High: 50 cm; Low: 2-10 cm) during the 2018 and 2019 seasons.	42
Figure 2	Scale used for the visual evaluation of the appearance of the skin of the berries were 1 = Green berries (Healthy); 2 = Ambar berries (Slight); 3 = Damage with skin browning (Moderate); 4 = Damage with dark browning (Severe); 5 = Damage with cell death (black skin) (Very severe).	43
Figure 3	(A) Maximum temperature and (B) solar radiation recorded at noon (12:00-15:00 h) between 1 October to 30 March in the 2018 and 2019 seasons at the Nueva Aldea agrometeorological station, Ñuble Region.	44
Figure 4	Percentage of berries according to the different categories of sunburn damage (Healthy: berries without lesions; Moderate: faint reddish-brown lesions; severe: clear brown lesion; very severe: dark brown lesions), for 2018 (A) and 2019 (B) seasons.	45
Figure 5	Quadratic relationship between nine hue categories and Brix at harvest time (end of March) of berries that were visually categorized by sunburn severity (Healthy: berries without lesions; Slight: faint reddish-brown lesions; Moderate: faint reddish-brown lesions; severe: clear brown lesion; very severe: dark brown lesions) in head-trained Muscat of Alexandria vines under non-irrigated conditions in the Itata valley ($-0.0028x^2 + 0.36x + 10.5$, $R^2: 0.59$; $P \leq 0.05$, $n=11$). Error bars represent ± 1 se.	46

Figure 6	The linear relationship between hue and maximum chlorophyll fluorescence (F_m) in skins of berries that were visually categorized by sunburn severity (Healthy: berries without lesions; Slight: faint reddish-brown lesions; Moderate: faint reddish-brown lesions; severe: clear brown lesion; very severe: dark brown lesions) in head-trained Muscat of Alexandria vines under non-irrigated conditions in the Itata valley at harvest time (April 5 th) ($0.25x + 0.72$; $R^2: 0.72$; $P \leq 0.0001$, $n=15$).	47
Figure 7	Orthogonal contrast analysis for linalool concentration in healthy (light-gray bar) and sunburned (dark-gray bar) berries of head-trained Muscat of Alexandria vines under non-irrigated conditions in the Itata valley in 2018 and 2019. Different letters indicate significant differences at a 95% confidence level (LSD). $N=6$ to 12.	48

CAPÍTULO 2

Figura 1	Diseño de bloques completos aleatorizados empleados en el estudio (P_{21} : poda leve, P_{16} : poda media y P_{12} : poda severa).	97
Figura 2	Temperatura máxima del aire (A) y radiación solar (B) registrada al mediodía (12:00-15:00 h) entre el 1 de noviembre de 2021 y el 31 de marzo de 2022 en la estación agrometeorológica Nueva Aldea, Región de Ñuble.	98
Figura 3	Temperatura del aire y de la hoja de cada tratamiento (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa) en cada etapa de medición.	99
Figura 4	Temperatura del aire y del racimo de cada tratamiento (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa) en cada etapa de medición.	100
Figura 5	Correlación entre el peso de poda y la concentración de (<i>E</i>)-2-Hexenal y hexanal estimada a través del área relativa en relación al patrón interno (T1: poda leve ▲, T2: poda media	101

	■ y T3: poda severa ●).	
Figura 6	Correlación entre la concentración total de aromas en las bayas estimada a través del área relativa total obtenida en cada tratamiento y la relación fuente/sumidero (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa).	102
Figura 7	Porcentaje de bayas sanas y con daño por golpe de sol desde leve a muy severo, según los tratamientos de poda 1 (A), 2 (B) y 3 (C).	103
Figura 8	Correlación entre la severidad de daño por golpe de sol y el potencial hídrico del tallo obtenido en el mes de marzo (T1: poda leve ▲, T2: poda media ■ y T3: poda severa ●).	104
Figura 9	Correlación entre la severidad de daño por golpe de sol y la concentración de sólidos solubles (Brix) de las bayas (T1: poda leve ▲, T2: poda media ■ y T3: poda severa ●).	105
Figura 10	Correlación entre la severidad de daño por golpe de sol y la concentración de ácido octanoico estimada a través del área relativa en relación al patrón interno (T1: poda leve ▲, T2: poda media ■ y T3: poda severa ●).	106
Figura 11	Correlación entre la concentración total de aromas en los vinos estimada a través del área relativa total obtenida en cada tratamiento y la relación fuente/sumidero (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa).	107

CAPÍTULO 1

Table 1	Normalized difference vegetation index (NDVI) and enhanced vegetation index (EVI) of vineyards that exhibited two fruit zone heights (High: 50 cm; Low: 2-10 cm) in bush-trained Muscat of Alexandria vines at <i>veraison</i> and harvest during the 2018 and 2019 seasons.	49
Table 2	Yield components and fruit quality parameters at	50

two fruit zone heights (High: 50 cm; Low: 2-10 cm) in bush-trained Muscat of Alexandria vines during the 2018 and 2019 seasons.

Table 3	Main and total volatile compounds concentration at harvest in berries from head-trained Muscat of Alexandria vines under non-irrigated conditions in the Itata valley. Sampled berries were visually categorized by sunburn severity (Healthy: berries without lesions; Moderate: faint reddish-brown lesions; severe: clear brown lesions). Data are expressed in relative area (abundance) with respect to the internal standard.	51
---------	---	----

CAPÍTULO 2

Tabla 1	Datos de cada variable fisiológica y microclimática para cada tratamiento en las etapas de medición (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa).	108
Tabla 2	Pesos de poda de los tratamientos empleados en el estudio (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa).	109
Tabla 3	Datos obtenidos en la cosecha para cada tratamiento empleado en el estudio (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa).	110
Tabla 4	Datos obtenidos del análisis químico de las bayas para cada tratamiento (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa).	111
Tabla 5	Compuestos aromáticos volátiles identificados en bayas del cultivar Moscatel de Alejandría, expresados en área relativa al patrón interno (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa).	112
Tabla 6	Datos de la caracterización física de las bayas (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa).	113
Tabla 7	Datos obtenidos del análisis químico del vino para cada tratamiento (T1: poda leve, T2: poda	114

media y T3: poda severa).

Tabla 8	Compuestos aromáticos volátiles identificados en vinos del cultivar Moscatel de Alejandría, expresados en área relativa al patrón interno (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa).	115
---------	--	-----

RESUMEN

Las vides Moscatel de Alejandría del Valle del Itata a menudo exhiben un bajo vigor, lo que puede sobre-exponer las bayas a una alta radiación solar y temperatura del aire, facilitando la aparición del daño por golpe de sol. Para estimar la severidad de daño por golpe de sol, se seleccionaron seis viñedos de Moscatel de Alejandría del Valle del Itata, tres viñedos con una zona frutal alta (~ 50 cm del suelo) y tres viñedos con una zona frutal baja (2 a 10 cm del suelo). Durante dos años consecutivos (2018 y 2019), se realizó la cosecha manual de los racimos de tres plantas elegidas al azar de cada uno de los viñedos, para estimar la severidad de daño por golpe de sol. Respecto a la altura de la zona frutal, esta no afectó la madurez y calibre de las bayas. Según los resultados, más del 40% de las bayas muestreadas presentaron daño por golpe de sol de moderado a muy severo. Se encontró una relación débil entre la severidad de daño por golpe de sol y la concentración de sólidos solubles. Sin embargo, se encontró una buena relación entre la tonalidad de la baya y la fluorescencia máxima de clorofila. Respecto a los terpenos, por lo general, su mayor concentración se asoció a bayas con una mayor severidad de daño por golpe de sol. La severidad de daño por golpe de sol reportada en este estudio, resalta la falta de un manejo técnico para mitigar este problema. En este contexto, la poda invernal severa podría aumentar la longitud de los brotes fructíferos, reduciendo la cantidad de radiación solar interceptada y afectando el estado hídrico de la planta, y la calidad de la fruta y el vino. Se realizó un estudio en un viñedo de Moscatel de Alejandría del Valle del Itata. Se aplicaron tres intensidades de poda (leve, moderada y severa, dejando 21, 16 y 12 yemas por planta, respectivamente). Durante la temporada 2021-2022, se evaluó el crecimiento y desarrollo reproductivo, el estado hídrico de las plantas, las condiciones del microclima y la calidad química de la fruta y el vino. Las vides severamente podadas mostraron rendimientos más bajos, pero similares estados hídricos y condiciones microclimáticas que los dos tratamientos

restantes. La poda severa y leve mostraron la mayor incidencia y severidad de golpe de sol, pero la concentración más baja de compuestos aromáticos herbáceos. Estos resultados indicaron que el golpe de sol puede ser inducido por distintas intensidades de poda, generando cambios importantes en el perfil aromático de las bayas y los vinos.

SUMMARY

The Muscat of Alexandria vines often show low vegetative growth in the Itata Valley, which can induce and over-exposition of berries to high solar radiation and air temperature, facilitating the appearance of sunburn damage. To estimate the sunburn damage severity, six Muscat of Alexandria vineyards from the Itata Valley were selected, three vineyards with a high fruit zone (50 cm from the soil) and three vineyards with a low fruit zone (2 to 10 cm from the soil). During two consecutive years (2018 and 2019), the manual harvest of the clusters of three plants randomly chosen from each of vineyards was carried out, to estimate the sunburn damage severity. Regarding the height of the fruit zone, it did not affect the maturity and size of the berries. According to the results, more than 40% of the sampled berries presented moderate to very severe sunburn damage. A weak relationship was found between sunburn damage severity and the concentration of soluble solids. However, a good relationship was found between the hue of the berry and the maximum fluorescence of chlorophyll. Regarding terpenes, in general, their highest concentration was associated with berries with a greater sunburn damage severity. The sunburn damage severity reported in this study highlights the lack of technical management to mitigate this problem. In this context, severe winter pruning could increase the length of the fruitful shoots, reducing the amount of intercepted solar radiation and affecting plant water status, and fruit and wine quality. A study was conducted in a Muscat of Alexandria vineyard in the Itata Valley. Three pruning intensities (mild, moderate, and severe, leaving 21, 16, and 12 buds per plant, respectively) were applied in the vineyard. During the 2021-2022 season, reproductive growth and development, plant water status, microclimate conditions, and fruit and wine chemical quality were evaluated. Severely pruned vines showed lower yields, but similar plant water status and microclimatic conditions than the two remaining treatments. Severe and slight pruning exhibited the highest level of sunburn incidence and severity, but the lowest concentration of herbaceous

aromatic compounds. These results indicated that sunburn in berries may be induced by pruning at different severities, generating important changes in the aromatic profile of berries and wines.

INTRODUCCION GENERAL

La producción de uva para la elaboración de vinos es una de las actividades agrícolas más importante de Chile, pues en cuanto a volúmenes de exportación y producción de vinos, el país ocupa el cuarto y sexto lugar, respectivamente (OIV, 2022). Las regiones de Ñuble y Biobío ocupan el tercer lugar en superficie plantada a nivel nacional, después de la región del Maule y la región de O'Higgins (Constanzo, 2019). El Valle del Itata pertenece a la región de Ñuble y su vitivinicultura se caracteriza por producir vinos, mayoritariamente, en condiciones de secano, con variedades de menor importancia comercial que las empleadas en el resto del país, dentro de las cuales destacan las variedades tintas País y Cinsault y la variedad blanca Moscatel de Alejandría. La variedad más importante del Valle del Itata es la Moscatel de Alejandría, concentrando en la Región de Ñuble el 82% de la superficie total plantada con esta variedad (SAG, 2021).

La vid vinífera (*Vitis vinifera* L.) es una planta rastrera que necesita un sistema de conducción para facilitar la realización de labores culturales (Spayd et al., 2002). En el Valle del Itata, la variedad Moscatel de Alejandría es conducida en un sistema tradicional conocido como "cabeza" (SAG, 2021), el cual es considerado como uno de los sistemas de conducción más antiguos y económicos empleados en viticultura (Freeman et al., 1992). En el sistema de conducción en "cabeza", las plantas no se disponen en una estructura permanente de soporte, por lo cual éstas deben ser capaces de sostener su

propio peso. Por este motivo es que los viñedos conducidos en “cabeza” suelen estar a baja altura (Freeman et al., 1992) y la vegetación se presenta en forma discontinua a lo largo de la hilera (Sánchez-Llorente et al., 2001). El hecho de que las vides en “cabeza” se encuentran cerca del suelo, favorece la intercepción de radiación de onda larga desde el suelo por parte de los racimos, pudiendo así producir una maduración anticipada en climas fríos (Lacoste, 2010). Sin embargo, la cercanía de las bayas al suelo en climas cálidos puede producir problemas de calidad de la fruta, como por ejemplo la deshidratación de los racimos (Pascual, 2016).

Las vides del Valle del Itata, debido a una serie de factores, tales como la avanzada edad de sus plantas (muchos viñedos superan los 100 años), el sistema de conducción en “cabeza”, la falta de riego, y las condiciones de manejo cultural precarias, suelen exhibir un bajo vigor asociado a una baja productividad (Serra et al., 2017). Es importante considerar que el vigor de las plantas no solo determina el rendimiento de los viñedos, sino que también puede afectar la calidad de los vinos. En un estudio realizado por Song et al. (2014), se comparó la composición de las bayas y del vino proveniente de plantas con distintos niveles de vigor. Los resultados mostraron que vides de bajo vigor alcanzaron una mayor concentración de sólidos solubles en las bayas en cosecha y un mayor contenido de fenoles y antocianinas totales en el vino.

El microclima es fuertemente influenciado por el vigor de la planta, que a su vez afecta la morfología del racimo y la composición de la baya. Por ejemplo,

racimos provenientes de plantas de bajo vigor suelen alcanzar mayores temperaturas debido a que reciben una mayor cantidad de radiación solar directa comparado con plantas de alto vigor (Romboli et al., 2017). Debido a esto, los racimos de plantas con bajo vigor pueden presentar un mayor riesgo de daños en la fruta por efecto de la excesiva exposición a una alta radiación solar y elevadas temperaturas del aire.

En este contexto, uno de los daños más característicos asociados a la sobreexposición de frutas es el “golpe de sol”, el cual se presenta en uvas con la aparición de manchas de coloración parda a negra sobre la epidermis de las bayas. En el Valle del Itata hay un importante efecto del “golpe de sol” en la actividad vinícola. Puentes (2019), reportó un 40% de bayas dañadas por “golpe de sol” en seis viñedos de Moscatel de Alejandría conducidos en cabeza en el Valle del Itata, los cuales presentaban una severidad de daño entre moderado a muy severo. Aunque la relación entre el “golpe de sol” y la composición de las bayas no ha sido suficientemente estudiada, algunos trabajos han mostrado que vinos blancos elaborados con uvas afectadas por golpe de sol, tienden a ser más amargos, oscuros y menos aromáticos (Greer y La Borde, 2006).

La composición de la uva es crucial para lograr un vino de calidad y está fuertemente determinada por aquellas prácticas culturales orientadas a la obtención de condiciones microclimáticas que faciliten la síntesis de compuestos de importancia enológica, tales como antocianos, taninos, y terpenos, entre otros. Dentro de las prácticas culturales más relevantes para

definir las condiciones microclimáticas en el viñedo, se encuentra la poda invernal (Martínez-Moreno et al., 2019).

La poda consiste en la eliminación de partes vivas de la planta, como yemas, sarmientos y hojas, con el fin de mantener la forma y tamaño de la planta, regular la carga frutal, y renovar la madera productiva (Arias, 2017).

En viticultura se utilizan generalmente tres tipos de poda, los cuales se definen de acuerdo al largo del sarmiento: poda corta; poda larga; y poda mixta (Borja-Bravo et al., 2016). El tipo de poda que se utilice dependerá de la longitud del sarmiento y del número de yemas que se dejen en cada uno de éstos, lo que, a su vez, dependerá del hábito de fructificación de cada variedad (Keller, 2015). En general, las yemas ubicadas en la zona media del sarmiento poseen una mayor fertilidad. Sin embargo, en Moscatel de Alejandría se suele realizar una poda corta (Keller, 2015) o incluso, en algunos casos se poda a la ciega, dejando la yema más desarrollada que se encuentra en la base del sarmiento para formar la “cabeza”. Lo descrito anteriormente, se asocia a condiciones de baja productividad, pues Walteros et al. (2012), compararon el efecto de tres tipos de poda (corta, larga y mixta) sobre el rendimiento y calidad de la baya en viñedos adultos de Cabernet Sauvignon, resultando el menor rendimiento cuando se utilizó una poda corta.

Además de regular la productividad, la práctica de poda invernal interviene directamente sobre la relación fuente-sumidero, lo cual puede cambiar la tasa de acumulación de azúcares en las bayas, pues ésta depende de la relación

entre el área foliar y el peso del fruto (De Bei et al., 2019). En *Vitis vinifera* L., se sugiere que se requieren entre 8 y 12 cm² de área foliar para producir un gramo de fruta (Petrie et al., 2000).

Por ejemplo, una poda más severa (“más corta”), dejando un menor número de yemas en los sarmientos, implicaría una disminución en la producción por planta (menor carga frutal), con un consecuente aumento en el vigor de los brotes (O’Daniel et al., 2012), lo cual aumentaría la relación fuente-sumidero (Frioni et al., 2019).

Por otro lado, el menor número de brotes vigorizados en forma localizada, por acción de la poda severa, puede generar una mayor acrotonía en la planta, induciendo la aparición de brotes más erectos que modifiquen las condiciones microclimáticas. Se sabe que plantas con fuerte acrotonía tienden a presentar importantes niveles de sombreamiento, lo cual, dependiendo de la orientación de las hileras, puede generar una mayor protección de la fruta a la radiación solar directa, sin aumentar las tasas de transpiración por planta (Jiménez et al., 2008).

Para la calidad enológica de los vinos, son muy importantes los compuestos aromáticos (metabolitos secundarios), pues determinan el carácter e identidad de cada cepa. Dentro de los más relevantes se encuentran los terpenos, norisoprenoides y fenoles (Alem et al., 2019). Sus concentraciones relativas y absolutas en la maduración de la baya determinarán la calidad organoléptica del producto final (Chen et al., 2018). En la variedad Moscatel de Alejandría,

son los terpenos los que otorgan el aroma floral y frutal a la baya, los cuales se verán reflejados en el vino luego del proceso fermentativo (Black et al., 2015). Dentro de los terpenos se encuentran los monoterpenos, de los cuales destaca el linaool, geraniol, nerol y citronelol (Tahim y Mansfield, 2018). Los monoterpenos pueden ser sintetizados a través de pirofosfato de isopentilo y pirofosfato de dimetilo, a partir de ácido mevalónico (Pascual et al., 2017), o pueden ser sintetizados a través de la vía fenil propanoide la cual es inducida por la radiación ultravioleta (UV) (Fernandes de Oliveira y Nieddu, 2015). Además, cabe señalar que el ácido abscísico (ABA) también participa en la biosíntesis de estos metabolitos secundarios (Owen et al., 2009).

Los compuestos aromáticos se ven afectados por la madurez de las bayas, la ubicación del viñedo, y por prácticas culturales, tales como el sistema de conducción, poda, riego, raleo de bayas, y defoliación, entre otros (Alem et al., 2019). En este contexto, Ubeda et al. (2017), evaluaron la composición aromática de las bayas en diferentes etapas de madurez y en viñedos de diferente ubicación del cultivar País, determinando que el perfil aromático se relaciona directamente con la madurez de la baya, mientras que la fracción aromática es determinada principalmente por la ubicación del viñedo.

Por otro lado, la exposición de la fruta al sol afecta directamente la concentración de compuestos aromáticos (Friedel et al., 2016). En una investigación realizada por Pascual et al. (2017), se compararon los efectos de diferentes tratamientos de defoliación en la concentración de terpenos en las

bayas, específicamente el monoterpeno linalol, donde la mayor concentración se obtuvo con el tratamiento de defoliación severa, con una exposición del fruto entre un 60% y 80%.

Por otra parte, Belancic et al. (1997), compararon el efecto de diferentes niveles de sombra en la concentración de compuestos aromáticos en Moscatel de Alejandría, donde la mayor concentración se obtuvo con un nivel de sombra al 50%.

El estado hídrico de la planta también tiene un efecto directo en la concentración de compuestos volátiles en las bayas, pues se ha comprobado que un estrés severo en la planta tiene un efecto negativo en el potencial aromático del vino. Sin embargo, se ha determinado que el momento de cosecha es más determinante para estos compuestos que el estrés hídrico (Talaverano et al., 2017).

Respecto al efecto de la poda sobre metabolitos secundarios, González-Neves et al. (2003), compararon el efecto de diferentes tipos de poda en la concentración de fenoles del vino, resultando que en la poda corta la baya tenía la mayor concentración de fenoles. Sin embargo, este estudio, al igual que muchos otros, no reportan los efectos de la poda invernal sobre la concentración de compuestos aromáticos, como los terpenos en la baya y el vino.

En términos de requerimiento hídrico por parte de la vid, este se ha visto afectado por el fenómeno del cambio climático, el cual entre otros factores se

manifiesta con sequías, aumento de la concentración de CO₂ y temperaturas del aire altas (Kizildeniz et al., 2015).

En el Valle del Itata, la vid tiene la mayor demanda hídrica en el periodo comprendido entre envero y cosecha (Ramos et al., 2020), momento en el cual los suelos delgados y con bajas concentraciones de materia orgánica suelen no proveer con suficiente agua de reserva a la planta. En este periodo, un déficit hídrico muy severo puede afectar la composición de las bayas, reduciendo la concentración de azúcares, y aumentando la concentración de antocianinas (Ramos et al., 2020). Sin embargo, una de las principales ventajas de la variedad Moscatel de Alejandría es su alta tolerancia a una baja disponibilidad hídrica de los suelos. En un estudio reciente, la aplicación de riego deficitario sostenido en Moscatel de Alejandría, reduciendo en un 50% el suministro de agua a partir de la evapotranspiración estimada, mejoró la concentración de azúcares en las bayas y no perjudicó el rendimiento (Buesa et al., 2017).

Por otro lado, el estado hídrico del viñedo se relaciona directamente con el efecto que el sistema de conducción y la densidad de plantación utilizados tienen sobre el tamaño de las vides y la evapotranspiración (Sánchez-Llorente et al., 2001). Generalmente, se espera una menor evapotranspiración en sistemas con una baja densidad de plantación, y por tanto menor desarrollo vegetativo por unidad de suelo. Esto ocurriría en un sistema de producción de vides en “cabeza” en el Itata, en donde el follaje cubre una menor proporción del suelo, lo cual limita el componente transpirativo, y las amplias distancias

entre hileras favorecen el rápido desecamiento del suelo en esta zona (Freeman et al., 1992), limitando también la evaporación (Sánchez-Llorente et al., 2001). Sin embargo, hasta la fecha, no existen antecedentes robustos que permitan confirmar estas hipótesis en las condiciones particulares de cultivo de secano del Valle del Itata.

A pesar de los conocidos beneficios de la poda sobre la producción vitivinícola, aún se desconoce, en las condiciones de secano y de cultivo tradicional del Valle del Itata, cuál es la relación entre la poda y el balance del crecimiento vegetativo y reproductivo de las vides que a través de cambios en el microclima del racimo puede determinar la tolerancia de las plantas al estrés hídrico y mitigar problemas en las bayas provocados por la sobreexposición de la fruta.

HIPÓTESIS

Una mayor intensidad de poda en vides de secano Moscatel de Alejandría mejora la relación hoja-fruto, modifica el estado hídrico de las plantas, y aumenta la concentración de terpenos en las bayas y el vino.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de diferentes intensidades de poda sobre la capacidad de la vid, el estado hídrico de la planta, y las características químicas de la baya y el vino en un viñedo Moscatel de Alejandría en condiciones de secano y conducido en cabeza.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar el efecto de los tratamientos de intensidad de poda sobre el crecimiento vegetativo y las características microclimáticas de las vides.
- Evaluar el efecto de los tratamientos de intensidad de poda sobre el estado hídrico de la planta.
- Evaluar el efecto de los tratamientos de intensidad de poda sobre la madurez, la composición química y las características físicas de las bayas en cosecha.
- Evaluar el efecto de los tratamientos de intensidad de poda sobre la composición química de los vinos.

REFERENCIAS

1. Alem, H., Rigou, P., Schneider, R., Ojeda, H. and Terregrosa, L. 2019. Impact of agronomic practices on grape aroma composition: a review. *J. Sci. Food Agric.* 99: 975-985.
2. Arias, F.A. 2017. Situación y experiencia en el cultivo de uva vinifera (*Vitis vinifera* L.) en el Valle de Ica. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Agraria la Molina. Lima, Perú, 161p.
3. Belancic, A., Agosin, E., Ibacache, A., Bordeu, E., Baumes, R., Razungles, A. and Bayonove, C. 1997. Influence of sun exposure on the aromatic

- composition of Chilean Muscat grape cultivars Moscatel of Alejandría and Moscatel rosada. *Am. J. Enol. Vitic.* 48(2): 181-186.
4. Black, C.A., Parker, M., Siebert, T.E., Capone, D.L. and Francis, I.L. 2015. Terpenoids and their role in wine flavor: recent advances. *Aust. J. Grape Wine Res.* 21: 582-600.
 5. Borja-Bravo, M., García-Salazar, J.A., Reyes-Muro, L. and Arellano-Arciniega, S. 2016. Rentabilidad de los sistemas de producción de uva (*Vitis vinifera*) para mesa e industria en Aguascalientes, México. *Agricultura, sociedad y desarrollo.* 13(1): 151-168.
 6. Buesa, I., Pérez, D., Castel, J., Intrigliolo, D.S. and Castel, J.R. 2017. Effect of deficit irrigation on vine performance and grape composition of *Vitis vinifera* L.cv. Muscat of Alexandria. *Aust. J. Grape Wine Res.* 23(2): 251-259.
 7. Chen, W.K., Wang, Y., Gao, X.T., Yang, X.H., He, F., Duan, C.Q. and Wang, J. 2018. Flavonoid and aromatic profiles of two *Vitis vinifera* L. teinturier grape cultivars. *Aust. J. Grape Wine Res.* 24(3): 379-389.
 8. Constanzo, I.E. 2019. Evaluación de la influencia climática en la vitivinicultura a través de índice bioclimáticos para las regiones de Biobío y Ñuble. Tesis Ingeniería ambiental. Universidad de concepción. Chile, 107p.
 9. De Bei, R., Wang, X., Papagiannis, L., Cocco, M., O'Brien, P., Zito, M., Ouyang, J., Fuentes, S., Gilliam, M., Tyerman, S. and Collins, C. 2019.

- Postveraison leaf removal does not consistently delay ripening in Semillon and Shiraz in a hot Australian climate. *Am. J. Enol. Vitic.* 70(4): 398-410.
10. Fernandes De Oliveira, A. and Nieddu, G. 2015. Vine growth and physiological performance of two red grape cultivars under natural and reduced UV solar radiation. *Aust. J. Grape Wine Res.* 22(1): 105-114.
11. Freeman, M.R., Tassie, E. and Rebbechi, M.D. 1992. Training and trellising. pp: 42-65. In: Coombe, B. and Dry, P. (Eds.). *Viticulture volume 2: Practices.* Winetitles. Adelaide.
12. Friedel, M., Frotscher, J., Nitsch, M., Hofmann, M., Bogs, J., Stoll, M. and Dietrich, H. 2016. Light promotes expression of monoterpene and flavonol metabolic genes and enhances flavour of winegrape berries (*Vitis vinifera* L. cv. Riesling). *Aust. J. Grape Wine Res.* 22(3): 409-421.
13. Frioni, T., Acimovic, D., VanderWeide, J., Tombesi, S., Pallioti, A., Gatti, M., Poni, S. and Sabbatini, P. 2019. Whole-canopy source-sink balance at bloom dictates fruit set in cv. Pinot noir subjected to early leaf removal. *Am. J. Enol. Vitic.* 70(4): 411-419.
14. González-Neves, G., Balado, J., Barreiro, L., Bochicchio, R., Gatto, G., Gil, G., Tessore, A. and Ferrer, M. 2003. Efecto de algunas prácticas de manejo del viñedo y de la vinificación en la composición fenólica y el color de los vinos tintos. En: Celso, M., Laureano, O., Wellington, G. and De Souza, S (Eds.). X Congresso Brasileiro de Viticultura y Enología. 03-05 diciembre, 2003. Embrapa Uva e Vinho. Bento Gonçalves, RS.

15. Greer, D.H. and La Borde, D. 2006. Sunburn of grapes affects wine quality. *The Australian and New Zealand grapegrower and winemaker*. 506: 21-23.
16. Jiménez, L., Sánchez De Miguel, P., Pedrosa, R., De la Fuente, M. and Baeza, P. 2008. Influencia de la orientación de las filas en el microclima térmico de las hojas y la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vid (*Vitis vinifera* L. cv. Cabernet franc) durante el periodo de maduración. *Revista de Enología*. 1(6): 1-9.
17. Keller, M. 2015. The science of grapevines: Anatomy and physiology. (2a. ed.). Academic press. London, UK.
18. Kizildeniz, T., Mekni, I., Santesteban, H., Pascual, I., Morales, F. and Irigoyen, J.J. 2015. Effects of climate change including elevated CO₂ concentration, temperature and water deficit on growth, water status, and yield quality of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Agric. Water Manag.* 159: 155-164.
19. Lacoste, P. 2010. Parrales, braceros y cepas de cabeza: El arte de cultivar la viña en Mendoza y San Juan (1561-1869). *Historia (Santiago)*. 43(1): 5-40.
20. Martínez-Moreno, A., Sanz, F., Yeves, A., Gil-Muñoz, R., Martínez, V., Intrigliolo, D.S. and Buesa, I. 2019. Forcing bud growth by doble-pruning as a technique to improve grape composition of *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo in a semi-arid Mediterranean climate. *Sci. Hortic.* 256: 1-9.

21. O'Daniel, S.B., Archbold, D.D. and Kurtural, S.K. 2012. Effects of balanced pruning severity on Traminette (*Vitis* spp.) in a warm climate. *Am. J. Enol. Vitic.* 63(2): 284-290.
22. OIV. 2022. State of the world wine sector 2021 [en línea]. <https://www.oiv.int/sites/default/files/documents/eng-state-of-the-world-vine-and-wine-sector-april-2022-v6_0.pdf>. [Consulta: 09 febrero 2023].
23. Owen, S.J., Lafond, M.D., Bowen, P., Bogdanoff, C., Usher, K. and Abrams, S.R. 2009. Profiles of abscisic acid and its catabolites in developing Merlot grape (*Vitis vinifera*) berries. *Am. J. Enol. Vitic.* 60(3): 277-284.
24. Pascual, G.A. 2016. Evaluación del ambiente lumínico-térmico y su influencia en la acumulación de terpenos en *Vitis vinifera* L. cv. Moscatel de Alejandría, bajo sistema de conducción en cabeza. Tesis grado de Magister. Universidad de Concepción. Chile, 34p.
25. Pascual, G.A., Serra, I., Calderón-Orellana, A., Laurie, V.F. and López, M.D. 2017. Changes in concentration of volatile compounds in response to defoliation of Muscat of Alejandría grapevines grown under a traditional farming system. *Chilean Journal Agricultural Research.* 77(4): 373-381.
26. Petrie, P.R., Trought, M.C.T. and Howell, G.S. 2000. Fruit composition and ripening of Pinot Noir (*Vitis vinifera* L.) in relation to leaf area. *Aust. J. Grape Wine Res.* 6(1): 46-51.
27. Puentes, P. 2019. Aptitud del cultivo Moscatel de Alejandría del Valle del Itata para la producción comercial de uva de mesa. Memoria de Título,

- Ingeniero Agrónomo. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía. Chillán, Chile, 18p.
28. Ramos, M.C., Pérez-Álvarez, E.P., Peregrina, F. and Martínez de Toda, F. 2020. Relationships between grape composition of Tempranillo variety and available soil water and water stress under different weather conditions. *Sci. Hortic.* 262: 1-12.
29. Romboli, Y., Di Gennaro, S.F., Mangani, S., Buscioni, G., Matese, A., Genesio, L. and Vincenzini, M. 2017. Vine vigour modulates bunch microclimate and affects the composition of grape and wine flavonoids: an unmanned aerial vehicle approach in a Sangiovese vineyard in Tuscany. *Aust. J. Grape Wine Res.* 23(3): 368-377.
30. SAG. 2021. Catastro vitícola nacional 2020 [en línea]. Santiago, Chile. <<https://hdl.handle.net/20.500.12650/711180>>. [Consulta: 31 enero 2023].
31. Sánchez-Llorente, P., Baeza, P. and Lissarrague, J.R. 2001. Sistemas de conducción del viñedo. *Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera.* 422-426.
32. Serra, I., Castillo, P., Hidalgo, M., Fuentealba, O., Cerda, R. and Salazar, F. 2017. Itata Valley: how traditional farming and geomorphological characteristics can become from a limiting factor to key factor in competitiveness. Fifth International Congress on Mountain and Steep Slope Viticulture. March 31 - April 01, 2017. Centre for Research, Environmental Sustainability and Advancement of Mountain Viticulture. Conegliano, Italy.

33. Song, J., Smart, R.E., Damberg, R.G., Sparrow, A.M., Wells, R.B., Wang, H. and Qian, M.C. 2014. Pinot Noir wine composition from different vine vigour zones classified by remote imaging technology. *Food Chem.* 153: 52-59.
34. Spayd, S.E., Tarara, J.M., Mee, D.L. and Ferguson, J.C. 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *Am. J. Enol. Vitic.* 53(3): 171-182.
35. Tahim, C.M. and Mansfield, A.K. 2018. Yeast assimilable nitrogen (YAN) optimization for cool-climate Riesling. *Am. J. Enol. Vitic.* 70(2): 127-138.
36. Talaverano, M.I., Ubeda, C., Cáceres-Mella, A., Valdés, M.E., Pastenes, C. and Peña-Neira, A. 2017. Water stress and ripeness effects on the volatile composition of Cabernet Sauvignon wines. *J. Sci. Food Agric.* 98(3): 1140-1152.
37. Ubeda, C., Gil i Cortiella, M., Del Barrio-Galán, R. and Peña-Neira, A. 2017. Influence of maturity and vineyard location on free and bound aroma compounds of grapes from the País cultivar. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 38: 201-211.
38. Walteros, I.Y., Molano, D.C., Almanza-Merchán, P.J., Camacho, M. and Balaguera-López, H.E. 2012. Efecto de la poda sobre la producción y calidad de frutos de *Vitis vinifera* L. var. Cabernet Sauvignon en Sutamarchán (Boyacá, Colombia). *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas.* 6(1): 19-30.

CAPÍTULO 1

Sunburn and its relation to maturity and concentration of aromatic compounds in head-trained Muscat of Alexandria vines

Kasandra Ibarra¹, Ignacio M. Serra¹, Álvaro Peña-Neira², Nicolás Bambach^{3,4}, Pedro Puentes¹, **Arturo Calderón-Orellana***¹

¹Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Vegetal, Universidad de Concepción, Chile.

²Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Agroindustria y Enología, Universidad de Chile, Chile.

³Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Davis, CA, USA.

⁴Department of Enology and Viticulture, University of California, Davis, CA, USA.

***Corresponding author:** Dr. Arturo Calderon-Orellana, facsimile + 569 42 2208700, telephone + 569 42 2208934, email arcalderon@udec.cl.

Acknowledgments

We gratefully acknowledge the funding provided by the “Centro de Extensión Vitivinícola del Sur”, “Programa de Magíster en Ciencias Agronómicas” Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Chile, and the “Cooperativa Agrícola y Vitivinícola Cerro Negro - Quillón Ltda (COOVICEN).”

REVISTA: AMERICAN JOURNAL OF ENOLOGY AND VITICULTURE

FECHA DE ENVÍO: 17 de abril de 2023

Abstract

Background and goals. Sunburn is considered one of the most important problems in fresh fruit production, but there is little information regarding its impact on the winegrape industry. The objective of this study was to characterize physically and chemically the severity of sunburn in berries from traditionally-farmed 'Muscat of Alexandria' vineyards.

Methods and key findings. Three Muscat of Alexandria non-irrigated vineyards, each of a high (~ 50 cm from the soil) and a low (2 to 10 cm from the soil) fruit zone height, were selected in the Itata Valley, Chile. Sunburn damage at commercial harvest was estimated for two consecutive years. There were no statistically significant differences in soluble solids concentration, weight, shape, color, and sunburn severity of berries between fruit zone heights. Results showed that 40% of sampled berries exhibited moderate to severe symptoms of sunburn. The appearance of sunburn lesions on the berry surface correlated with changes in hue, and maximum chlorophyll fluorescence, but not with the concentration of soluble solids. In general, greater concentrations of volatile terpenes were associated with more severe symptoms of sunburn in berries, but linalool showed the clearest response to sunburn damage.

Conclusions and significance. Contrary to previous research, our results indicate that moderate levels of berry sunburn induce positive changes in the aromatic profile of berries. However, the high incidence of berry sunburn found

in the present study highlights the high vulnerability of traditional farming systems to high solar radiation and thermal stress.

Keywords: *Vitis vinifera* (L.), dryland vineyards, terpenes, climate change, thermal stress.

1. Introduction

Fresh fruit sunburn is a critical issue affecting the quality of horticultural commercial production. For instance, in apples, sunburn can reduce marketable yield by as much as 20% (Wünsche et al., 2001). Recent technical reports claim that sunburn is the leading cause of apple “packouts”, affecting more than 50% of harvested fruit in some years (Schmidt, 2018). However, there is a lack of knowledge about the impact of sunburn on the table and wine grape production (Greer and La Borde, 2006).

The symptoms of sunburn in grape berries depend on several factors, such as variety, stage of development, and the presence of abiotic stress, among others. Nevertheless, the sunburn damage in grapevine exhibits clear physical symptoms in berry skins, which includes the degradation of chlorophyll and other photosynthetically active pigments (i.e., anthocyanins and carotenoids), the appearance of brown lesions, and the development of a shiny surface due to epicuticular wax crystalline structure losses (Greer et al., 2006). Also, sunburn-induced damage to the skin may increase the risk of berry dehydration due to a greater permeability of the cuticle to water loss (Bondada and Keller, 2012).

From a commercial perspective, sunburn reduces the cosmetic value of berries, which may affect the vineyard's profitability. For instance, in Australia, wine grapes can be categorized as low-quality fruit if sunburn damage is identified in the winery (Gambetta et al., 2021). Although there is a lack of information about the impact of sunburn on wine quality, some markets consider the presence and severity of sunburn damage in the fruit as a relevant defect. In Chardonnay, wines made with sunburn berries tended to be bitterer, darker, and slightly less aromatic than those made with healthy berries, but no chemical analyses were provided (Greer and La Borde, 2006). Traditionally, the presence of sunburn in fruits has been associated with air temperatures above 40 °C. However, recent studies have detected the appearance of sunburn lesions in berry skins from clusters exposed for 5 hours to air temperatures between 24 and 30 °C and solar radiation levels around 2.7 MJ m⁻²h⁻¹ (Rustioni et al., 2014). These results indicate that berry sunburn can be induced at ambient temperatures considerably lower than those usually thought (Greer and Weedon, 2013).

In addition to climatic conditions, other factors can induce sunburn on berries, such as overexposure of the cluster to sunlight. Fruit overexposure is more often found in low-vigor vines (Romboli et al., 2017) or when shoots are severely trimmed during ripening (Diago et al., 2012). For example, Chorti et al. (2010) reported the greatest level of sunburn damage in berries (37.5% of sunburn damage) when leaves from the fruit zone were removed at the fruit set. These

results suggest that the timing of the application of canopy management practices affects the incidence of sunburn in berries.

The Itata valley is one of the few wine regions in Chile where vines are bush-trained and not irrigated during the whole growing season. In the bush training system, vines are not arranged in a permanent support structure and vegetation appears discontinuously along the row (Freeman et al., 1992). This cultural management is a key factor in obtaining unique wines representative of this region. Nevertheless, the bush training system may increase the risk of sunburn on berries, as clusters are very close to the warm soil during ripening (Freeman et al., 1992). The Muscat of Alexandria is one of the most important cultivars in the Itata valley, concentrating more than 80% of the total planted area with this variety in Chile (SAG, 2021). Muscat of Alexandria wines exhibit very characteristic fruity and floral aromas due to high concentrations of terpenes, such as linalool, geraniol, and nerol (Black et al., 2015). In the Itata valley, the bush-trained Muscat of Alexandria vines often show low vigor, and clusters are exposed to maximum daily temperatures as high as 35 °C for several weeks (Pascual et al., 2017). Considering temperature trends, Muscat of Alexandria vines, especially under non-irrigated conditions, may be expected to be more vulnerable to suffering from sunburn, as global warming models predict, in the most pessimistic scenario, a drastic increase in air temperature (up to 4 °C) and evapotranspiration in the Chilean central valley (Bambach et al., 2021). Due to the lack of scientific evidence that sunburn damage affects the chemical

composition of the berry, a study was carried out to physically and chemically characterize berry sunburn in traditionally-farmed Muscat of Alexandria vineyards, using skin color as an objective measure of sunburn severity.

2. Materials and methods

2.1. Study site

Six commercial non-irrigated and head-trained vineyards (*Vitis vinifera* L.) of cv. Muscat of Alexandria, each one representative of the traditional viticultural management of the Itata valley (Serra et al., 2017), were selected in 2018 and 2019 from several locations in the Ñuble Region, Chile. Traditional viticultural management includes mechanical weeding, minimal agrochemical application, and hand pruning. Fruit quality determinations, including berry sunburn characterization, were carried out at two fruit zone height classes (High: the fruit zone was at 50 cm from the soil, and Low: the fruit zone was between 2 and 10 cm from the soil) (Figure 1). The experimental vineyards were planted at various spacing in different years, but all of them were > 50 years old and covered an area between 0.5 and 1.0 ha. The soils of Itata valley are derived mainly from the Chilean Coastal Range, exhibiting clay textures with drainage limitations. The study area is characterized by a Mediterranean climate, and according to Köppen's classification, it corresponds to a warm temperate climate with winter rains (663.7 mm yr⁻¹) and dry summers (Ciren, 2019). Daily values of maximum air temperature, solar radiation, and minimum relative humidity were obtained

from the “Nueva Aldea” weather station (Inia-Agromet weather network) (36°39’05.3” S; 72°27’18.6” W), which is located approximately 10 km from the sampled area, from October 1st to April 30th in 2018 and 2019.

2.2. Vegetation indices

Two vegetation indices (VI), the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Equation 1) and the Enhanced Vegetation Index (EVI) (Equation 2), were chosen to estimate vineyard “greenness” at *veraison* (mid-January) and harvest (last week of March) each season. Satellite images were obtained from the Landsat 8 (30-m pixel) and processed using the Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017). The atmospheric correction of the images was performed using a Level-1 precision processor, and each VI was calculated using the following equations:

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{RED})}{(\text{NIR} + \text{RED})}$$

(Eq. 1)

$$\text{EVI} = 2.5 \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{(\text{NIR} + 6 \text{ RED} + 7.5 \text{ BLUE}) + 1}$$

(Eq. 2)

2.3. Fruit characterization

The harvest time in each vineyard was determined when the average soluble solids concentration of a 200-berry sample reached between 21 and 23 Brix. One day before commercial harvest, all clusters (between 15 and 25 clusters

per vine) were collected from three randomly selected vines per vineyard. Each cluster was counted and individually weighed using an analytical scale ($2.0 \text{ kg} \pm 0.01 \text{ g}$) to obtain yield estimates. The yield per vine was calculated as the sum of all the cluster weights. A composite 5-berry sample was manually taken from a top (2 berries), middle (2 berries), and bottom position (1 berry) on each cluster (total of 5 berries per cluster) to estimate sunburn severity in berries, based on a visual assessment of skin appearance. Where 1 = Healthy and green-colored berries; 2 = Healthy and amber-colored berries; 3 = Moderate damage with light brown lesions; 4 = Severe damage with dark brown lesions; 5 = Very severe damage with black lesions (Figure 2). The skin hue was measured in each sampled berry using a portable colorimeter (CR-10 Plus, Konica-Minolta, Japan). In berries visually affected by sunburn (Sunburn severities 3, 4, and 5), color readings were carried out at the center of the skin lesion. After color determinations, the soluble solids concentration and berry size were measured in each berry with an optical refractometer (Atago Hand Refractometer, Atago, Tokyo, Japan) and a digital caliper, respectively.

Maximum chlorophyll fluorescence (F_m) was measured at harvest using a portable fluorimeter (Pocket Pea, Hansatech Instruments, U.K.) in three berries per class of sunburn severity ($n=15$). F_m was measured in berries covered with adapted fiber-optic probes and maintained in total darkness for 30 minutes. Fluorescence readings were made after exposing the berries to saturated light conditions ($4000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ for 0.8 s). Measurements were made at the fruit

center for healthy berries (severities 1 and 2) and the center of the lesion for sunburn-damaged berries (severities 3, 4, and 5).

The determination of volatile aromatic compounds was performed for three classes of sunburn severity (1, 3, and 5) that were collected and kept at -20 °C until chemical analysis. For volatile aromatic compounds determination, grapes were defrosted at ambient temperature over 40 min, and the seeds were removed. Afterward, three grapes were crushed in a 50 mL Falcon tube using an Ultra-Turrax™ homogenizer for 1 min. Then, 3.75 g of the sample was placed in a 20 mL glass vial, and 3.75 of milliQ water and 10 µL of 4-methyl-2-pentanol (0.75 mg L⁻¹) (used as an internal standard) were added. For the extraction and analysis, the methodology employed in Ubeda et al. (2017) was followed. The extraction was carried out in an MPS Autosampler (Gerstel, Palo Alto, CA, USA), incubating the vial for 20 min at 45 °C with agitation at 500 rpm. Then, the selected SPME fiber was a 2 cm 50/30 µm Carboxen/Divinylbenzene/Polydimethylsiloxane (Supelco, Bellefonte, PA, USA) placed into the headspace of the vial for 40 min. Afterward, the desorption was carried out in the injector in splitless mode for 3 min, with a transfer line temperature of 280 °C. To perform the gas chromatography analysis, a 7890B Agilent GC system coupled to an Agilent 5977 quadrupole inert mass spectrometer (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA) with a DB Wax capillary column (60 m × 0.25 mm, and 0.25 µm film thickness) (J&W Scientific, Folsom, CA, USA) was used. Helium was used as the carrier gas at a flow rate

of 1 mL min⁻¹. The program of the oven was the following: 35 °C for 1 min, followed by an increase to 130 °C at 4.5 °C min⁻¹ with holding for 3 min, an increase to 180 °C at 2.5 °C min⁻¹, and then an increase to 230 °C at 5 °C min⁻¹ with holding for 1 min. The electron ionization mass spectra were recorded in scan mode at 70 eV in the range of 35-300 amu. The MS Chemstation software (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA) was employed for the recording and processing of the data. Finally, the identification of the compounds was done by employing authentic standards when available, as well as by comparing the mass spectra obtained from each molecule with the reference spectra of the NIST 98 software library (only considering compounds identified with a Match Score higher than 900%) and with the data from the literature. In cases when only the software identified the compound, they were treated as tentatively identified. The data were expressed as the relative area with respect to 4-methyl-2-pentanol (internal standard). The relative concentration was calculated by dividing the peak area of the target ion of each compound by the peak area of the target ion of the internal standard (Ubeda et al., 2020).

The standard compounds employed in this study for identification and quantification of volatile compounds were supplied by Sigma-Aldrich (Darmstadt, Germany), including hexanal, (*E*)-2-hexenal, benzaldehyde, hexanol, benzyl alcohol, linalool, β -citronellol, nerol and geraniol. Sodium chloride and 4-methyl-2-pentanol (internal standard) were purchased from Merck (Darmstadt, Germany).

2.4. Experimental design and statistical analysis

This study was replicated three times in each of two consecutive years (2018 and 2019) and analyzed as a completely randomized design, where each vineyard with a fruit zone height was considered a replicate. Means of various fruit parameters were analyzed by ANOVA and significant differences were subjected to LSD means separation test. All statistical procedures were carried out using SAS-Studio 9.4 software (SAS Institute, North Carolina, USA).

3. Results

Weekly averages of maximum air temperatures never exceeded 35 °C and reached the highest seasonal values around *veraison* (90 DAA). From budbreak to harvest (October to March), there were 63 and 41 days with maximum air temperatures above 30 °C in the first and second seasons, respectively (Figure 3A). The maximum diurnal radiation levels were higher than 2.5 MJ m⁻²h⁻¹ for the same period in both seasons, reaching the highest seasonal values, ~ 3.5 MJ m⁻²h⁻¹, between anthesis and *veraison* (Figure 3B).

Vines with high and low fruit zones exhibited similar vegetation indices (EVI and NDVI near 0.6) between *veraison* and harvest. Yet, there was a slight decrease in both vegetation indices during ripening (~ 10%), but significant differences were only detected in the second season (Table 1). There were no significant differences in yield per vine, number of clusters, and cluster weight between fruit zone heights (Table 2). Although the yield per vine was similar in both seasons,

the cluster number was significantly lower in 2017. On the other hand, the cluster weight was 19% higher in 2017. All clusters were harvested near 21 Brix each season. Differences in fruit height induced no significant differences in soluble solids concentration, berry diameters, and skin hue. The polar diameter of the berry was slightly higher than the equatorial diameter (10%) in both seasons. The hue of berry skins was 29.2% higher in the first season (104.9 in 2017 and 74.17 in 2018). The average severity of berry sunburn was near 2.2 in both seasons, showing similar levels of severity between fruit zone heights. Yet, the combined incidence of moderate and severe sunburn was nearly 40% in both seasons (Figures 4A and 4B).

There was a quadratic relationship between skin hue and soluble solids concentration ($R^2 = 0.59$, p -value < 0.05) in berries from clusters that exhibited various levels of sunburn incidence (Figure 5). The hue variation was not associated with changes in Brix for sunburned berries, regardless of the damage severity. In contrast, healthy berries showed higher Brix as the hue decreased. There was a strong linear relationship between the maximum chlorophyll fluorescence (F_m) and the color parameter hue ($R^2 = 0.72$; p -value < 0.0001) for berries that represented five visual categories of sunburn damage (Figure 6). Thus, the more severely damaged berries were associated with the lowest values of F_m and hue, while healthy berries exhibited higher F_m and hue.

No significant season-by-severity interaction was detected in the present study. This is why pooled data are presented for sunburn severities and seasons. The

ANOVA showed no differences in the concentration of the analyzed volatile aromatic compounds among sunburn severities (Table 3). Similarly, total terpenes in berries affected by moderate sunburn was 3 higher than in "healthy" berries. A 2-fold decrease in total terpenes was observed in severely sunburned berries with respect to moderately sunburned berries. Yet, the total concentration of terpenes in severely sunburned berries was two times higher than in "healthy" berries. The orthogonal contrast analysis showed that the concentration of linalool in healthy green berries was 60% lower than in sunburned berries (Figure 7). The concentration of volatile aromatic compounds tended to be higher in 2019, but significant differences were only detected for linalool, geraniol, and trans-2-hexenal. Thus, the average concentration of these three compounds together in 2018 was 5 times lower than in 2019 (17.5 v/s 105.6 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectively). The exception was the β -Citronellol, which was 64% lower in 2019.

4. Discussion

Despite differences in fruit zone height, the concentration of soluble solids was similar for all vines, reaching a technical maturity appropriate for producing dry-white wines from the Muscat of Alexandria cultivar (~ 21 Brix). These results were somewhat unexpected, as clusters at the low fruit zone were closer to the warm soil, which may have stimulated berry dehydration and Brix increase in head-trained vines. In the Itata valley, Pascual et al. (2017) reported that

clusters from head-trained Muscat of Alexandria vines were exposed to high air temperatures ($> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$) at least 30% of the time during the growing season. The lack of significant differences in Brix between fruit zone heights was also observed for the remaining fruit quality parameters and yield components. This indicated that fruit zone height showed no impact on the reproductive growth behavior of head-trained vines even under non-irrigated conditions.

The high percentage of sunburn damage found in this work ($> 40\%$) supports the hypothesis that air temperatures below $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ may be sufficiently high to induce sunburn in grape berries, as the maximum air temperature in the study area was rarely above $35\text{ }^{\circ}\text{C}$. In the present study, maximum solar radiation exceeded $2.5\text{ MJ m}^{-2}\text{h}^{-1}$ from anthesis to harvest (for ~ 125 days), whereas maximum air temperatures were above $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ later in the season, from *veraison* to harvest (for ~ 50 days). This means that both air temperature and sunlight intensity were sufficiently high to induce sunburn only throughout the ripening period. During ripening, grape berries have almost no evaporative cooling, as fruit transpiration rates are the lowest of the season (Greenspan et al., 1996). Clusters directly exposed to solar radiation can be several degrees above the air temperature (as much as $12\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Spayd et al., 2002). In low-vigor vines, fruit is usually overexposed to environmental conditions, and sunburn damage in berries is frequently found at harvest (Romboli et al., 2017). In general, the Muscat of Alexandria vines from the Itata valley exhibit small canopies and low interception ratios of solar radiation at the fruit zone ($\sim 50\%$ of ambient PPFD at

30 cm above the ground) (Pascual et al., 2017). In the present study, pruning weights averaged about 0.4 kg vine⁻¹ (data not shown), which is 70% lower than those registered in moderately vigorous vines from the Itata valley (Hidalgo et al., 2017). The vegetation indices tested in this study (EVI and NDVI) showed a consistent reduction between *veraison* and harvest, reflecting a progressive decline in variables that are related to fruit exposure, such as canopy density and plant water status, as NDVI and EVI have been correlated with leaf area index (LAI) (Kang et al., 2022) and midday stem water potential (SWP) (Helman et al., 2018). Yet, the lowest values of both vegetation indices were only representative of moderate levels of abiotic stress in grapevine, which explains why, in this study, vines exhibited high yield components for head-trained vineyards (Baeza et al., 1999) and Muscat of Alexandria vines (Avilez, 2005).

The visual assessment of sunburn severity used in this study, based on the physical appearance of skin lesions, reflected physical and biochemical changes associated with both the impact of environmental stress conditions and fruit ripening. The linear regression analysis indicated that more severe levels of sunburn induced changes in skin hue that were related to reductions in chlorophyll fluorescence, measured as *Fm*. In grape berries, severe oxidative stress can generate irreversible damage in skin chloroplasts, causing chlorophyll degradation and, hence, lower emission of fluorescence (Müller et al., 2001; Rustioni et al., 2014). Yet, the *Fm* values measured in this study were considerably lower than those previously reported for sunburn in grape berries

(Greer et al., 2006) and other fruit crops (Wünsche et al., 2001). This indicates that fruit from the Itata valley was probably exposed to particularly high levels of oxidative stress, which may explain the higher percentage of sunburn damage (~ 40%) compared to previous studies (e.g. Greer et al. (2006) for Chardonnay vines (5 to 15%) in Wagga Wagga, Australia).

The regression analysis between skin hue and soluble solids concentration showed that sunburn-affected berries tended to exhibit higher Brix than healthy berries, which agrees with the common belief that the occurrence of sunburn accelerates maturity. It has been suggested that the loss of the crystalline structure of the epicuticular wax of sunburn-affected berries may enhance fruit dehydration and increase the soluble solids concentration, compared to healthy berries (Muganu et al., 2011). However, the concentration of soluble solids remained near 22 Brix in berries affected by sunburn, regardless of the visual severity of the damage. This may indicate that fruit dehydration is relevant to raise Brix in berries only at moderate severities of sunburn, as there was no increase in Brix for severely-damaged berries. For healthy berries, the soluble solids concentration linearly increased from 15 to 21 Brix as hue values decreased from 100 to 70, reflecting the well-known connection between sugar accumulation and chlorophyll degradation in skins during the ripening of white grapevine cultivars. On the other hand, berries affected by sunburn exhibited no change in Brix (22 Brix), regardless of sunburn severity. The cessation of the Brix increase in berries occurred when the skin hue was near 65, as the

inflection point of the quadratic regression between skin hue and Brix was equal to 0 at that value of Hue. The linear regression analysis between hue and *Fm* indicated that hue values near 60 were associated with moderate visual symptoms of sunburn. This suggests that a hue of 60 in berry skins may be used as a color index to harvest the fruit in Muscat of Alexandria vines, as no gain in Brix and alcohol is expected at hue values below 60, which are associated with severe levels of sunburn.

The concentration of terpenes in grapes is generally high in areas that exhibit elevated air temperatures and solar radiation, as these volatile compounds exhibit plant thermoprotective and antioxidant functions (Joubert et al., 2016). Our results showed that the concentration of several volatile compounds, as well as of total terpenes, tended to be higher in berries affected by sunburn, despite the lack of significant differences among sunburn severities. The exception was linalool, which showed a concentration that was 1.5-fold higher in sunburn-affected berries than in healthy berries. Linalool is one of the most relevant terpenes that characterize the aromatic profile in Muscat of Alexandria wines, which may indicate that the occurrence of sunburn in berries is not necessarily negative for winemaking. The higher concentration of linalool in sunburn-affected berries may respond to a faster biosynthesis of this aromatic compound due to microclimate conditions that induce the appearance of sunburn, specifically sunlight intensity at the fruit zone after *veraison*, as reported by Belancic et al. (1997). In berries shaded during ripening, linalool has not been

detected in the fruit at harvest, unlike other terpenes that have been distinguished in low concentrations (Friedel et al., 2016). In another study, when previously shaded clusters were re-exposed to sunlight, the concentration of glycosylated linalool in sunlight-exposed berries gradually increased during ripening (Zhang et al., 2017). Conversely, higher concentrations of linalool have been found in severely defoliated Muscat of Alexandria vines (Pascual et al., 2017). In the biosynthesis process of linalool, there is a light-dependent decarboxylation phase that does not exist in the synthesis of other terpenes (Belancic et al., 1997), which may explain the lack of significant differences for the remaining volatile compounds analyzed in this study. Yet, as no differences in linalool concentration were found among severities of sunburn, it seems there is no need to induce severe sunburn to improve the aromatic profile in Muscat grapes. The lowest concentration of volatile terpenes was detected in the first season, which coincided with the highest number of days above 35 °C from *veraison* to harvest. Elevated air temperatures (> 35 °C) may increase the anaerobic respiration rate of berries, inducing the synthesis of ROS and affecting the monoterpene synthesis pathway (Jiang et al., 2015).

5. Conclusions

Global warming is expected to increase maximum air temperatures and the frequency of heat waves across the most important world's wine regions. This may increase the incidence and severity of sunburn damage in grapes,

especially in vineyards affected by the combination of temperature, radiation, and water stress. In the present study, visual symptoms of sunburn were as high as 40% of the analyzed fruit. This may be attributed to the overexposure of clusters from the head-trained vines to environmental conditions rather than the existence of particularly extreme weather conditions. Despite the common belief that sunburn reduces wine quality, our results showed that moderate levels of sunburn may be positive for grapes used for the winemaking of aromatic wines, in which the concentration of volatile terpenes plays a key role in defining wine quality. However, no gain in technical maturity or aromatic profile was observed when sunburn was severe or very severe, which highlights the importance of monitoring sunburn incidence and severity during ripening.

References

1. Avilez, P.G. 2005. Distintos manejos en el cv. Moscatel de Alejandría destinado a mejorar la producción y calidad como uva de mesa. Tesis, Universidad de Concepción, Chillán, 36p.
2. Baeza, P., Bartolomé, M.C., Sotés, V., Ruiz, C. and Lissarrague, J.R. 1999. Diferencias en la superficie foliar de cuatro sistemas de conducción de la vid y sus consecuencias en el desarrollo y la producción. *Investigación agraria: Producción y protección vegetales*. 14: 174-190.
3. Bambach, N.E., Rhoades, A.M., Hatchett, B.J., Jones, A.D., Ullrich, P.A. and Zarzycki, C.M. 2021. Projecting climate change in South America using

- variable-resolution Community Earth System Model: An application to Chile. *Int. J. Climatol.* 42: 2514-2542.
4. Belancic, A., Agosin, E., Ibacache, A., Bordeu, E., Baumes, R., Razungles, A. and Bayonove, C. 1997. Influence of sun exposure on the aromatic composition of Chilean Muscat grape cultivars Moscatel de Alejandría and Moscatel rosada. *Am. J. Enol. Vitic.* 48(2): 181-186.
 5. Black, C.A., Parker, M., Siebert, T.E., Capone, D.L. and Francis, I.L. 2015. Terpenoids and their role in wine flavour: recent advances. *Aust. J. Grape Wine Res.* 21: 582-600.
 6. Bondada, B.R. and Keller, M. 2012. Not all shrivels are created equal- morpho-anatomical and compositional characteristics differ among different shrivel types that develop during ripening of grape (*Vitis vinifera* L.) berries. *Am. J. Enol. Vitic.* 3: 879-898.
 7. Chorti, E., Guidoni, S., Ferrandino, A. and Novello, V. 2010. Effect of different cluster sunlight exposure levels on ripening and anthocyanin accumulation in Nebbiolo grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 61(1): 23-30.
 8. Ciren. 2019. Comuna Quillón, recursos naturales [en línea]. Ñuble, Chile. <https://www.sitrural.cl/wp-content/uploads/2020/03/Quillon_rec_nat.pdf>. [Consulta: 22 Marzo 2023].
 9. Diago, M.P., Ayestarán, B., Guadalupe, Z., Poni, S. and Tardáguila, J. 2012. Impact of prebloom and fruit set basal leaf removal on the flavonol and

- anthocyanin composition of Tempranillo grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 63(3): 367-376.
10. Freeman, M.R., Tassie, E. and Rebbechi, M.D. 1992. Training and trellising. *In Viticulture volume 2: Practices.* Coombe, B.G. and Dry, P.R. (eds.), pp. 42-65. Winetitles, Adelaide.
 11. Friedel, M., Frotscher, J., Nitsch, M., Hofmann, M., Bogs, J., Stoll, M. and Dietrich, H. 2016. Light promotes expression of monoterpene and flavonol metabolic genes and enhances flavour of winegrape berries (*Vitis vinifera* L. cv. Riesling). *Aust. J. Grape Wine Res.* 22(3): 409-421.
 12. Gambetta, J.M., Holzapfel, B.P., Stoll, M. and Friedel, M. 2021. Sunburn in grapes: A review. *Front. Plant Sci.* 11: 1-21.
 13. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. and Moore, R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* 202: 18-27.
 14. Greenspan, M.D., Schultz, H.R. and Matthews, M.A. 1996. Field evaluation of water transport in grape berries during water deficits. *Physiol. Plant.* 97: 55-62.
 15. Greer, D.H. and La Borde, D. 2006. Sunburn of grapes affects wine quality. *The Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker.* 506: 21-23.
 16. Greer, D.H. and Weedon, M.M. 2013. The impact of high temperatures on *Vitis vinifera* cv. Semillon grapevine performance and berry ripening. *Front. Plant Sci.* 4: 1-9.

17. Greer, D.H., Rogiers, S.Y. and Steel, C.C. 2006. Susceptibility of Chardonnay grapes to sunburn. *Vitis*. 45(3): 147-148.
18. Helman, D., Bahat, I., Netzer, Y., Ben-Gal, A., Alchanatis, V., Peeters, A. and Cohen, Y. 2018. Using time series of high-resolution planet satellite images to monitor grapevine stem water potential in commercial vineyards. *Remote Sens*. 10(10).
19. Hidalgo, M., Henríquez, R., Merino, R., Chandía, A. and Serra, I. 2017. Effect of shoot orientation on vegetative growth, yield parameters and berry composition in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *In* Proceedings for the IX International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology. Pinto M. (ed.), pp. 11-16. La Serena, Chile.
20. Jiang, J.M., Lin, Y.X., Chen, Y.Y., Deng, C.J., Gong, H.W., Xu, Q.Z., Zheng, S.Q. and Chen, W. 2015. Proteomics approach reveals mechanism underlying susceptibility of loquat fruit to sunburn during color changing period. *Food Chem*. 176: 388-395.
21. Joubert, C., Young, P.R., Eyéghé-Bickong, H.A. and Vivier, M.A. 2016. Field-grown grapevine berries use carotenoids and the associated xanthophyll cycles to acclimate to UV exposure differentially in high and low light (shade) conditions. *Front. Plant Sci*. 7: 1-17.
22. Kang, Y., Gao, F., Anderson, M., Kustas, W., Nieto, H., Knipper, K., Yang, Y., White, W., Alfieri, J., Torres-Rua, A., Alsina, M.M. and Karnieli, A. 2022.

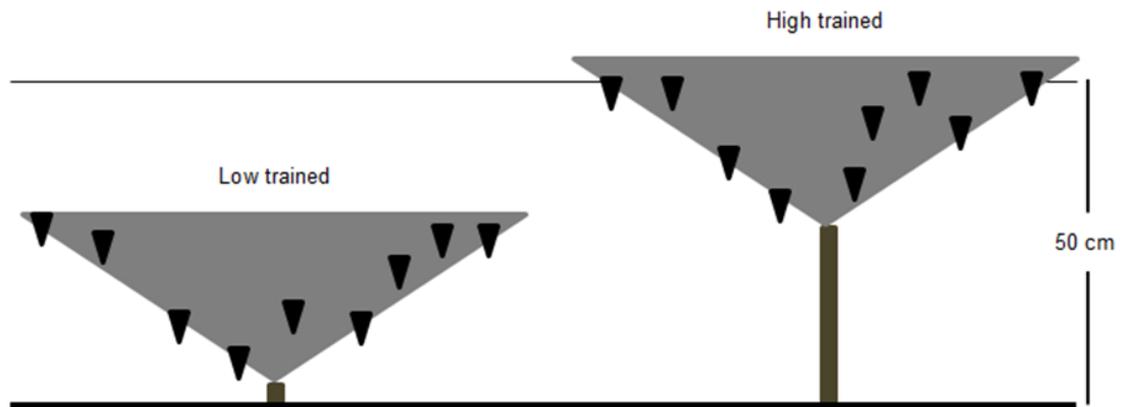
- Evaluation of satellite leaf area index in California vineyards for improving water use estimation. *Irrig. Sci.* 40: 531-551.
23. Muganu, M., Bellincontro, A., Barnaba, F.E., Paolocci, M., Bignami, C., Gambellini, G. and Mencarelli, F. 2011. Influence of bunch position in the canopy on berry epicuticular wax during ripening and on weight loss during postharvest dehydration. *Am. J. Enol. Vitic.* 62: 91-98.
24. Müller, P., Li, X.P. and Niyogi, K.K. 2001. Non-photochemical quenching. A response to excess light energy. *Plant. Physiol.* 125(4): 1558-1566.
25. Pascual, G.A., Serra, I., Calderón-Orellana, A., Laurie, V.F. and López, M.D. 2017. Changes in concentration of volatile compounds in response to defoliation of Muscat of Alexandria grapevines grown under a traditional farming system. *Chil. J. Agric. Res.* 77(4): 373-381.
26. Romboli, Y., Di Gennaro, S.F., Mangani, S., Buscioni, G., Matese, A., Genesio, L. and Vincenzini, M. 2017. Vine vigour modulates bunch microclimate and affects the composition of grape and wine flavonoids: an unmanned aerial vehicle approach in a Sangiovese vineyard in Tuscany. *Aust. J. Grape Wine Res.* 23(3): 368-377.
27. Rustioni, L., Rocchi, L., Guffanti, E., Cola, G. and Failla, O. 2014. Characterization of grape (*Vitis vinifera* L.) berry sunburn symptoms by reflectance. *J. Agric. Food Chem.* 62(14): 3043-3046.
28. SAG. 2021. Catastro vitícola nacional 2020 [en línea]. Santiago, Chile. <<https://hdl.handle.net/20.500.12650/71180>>. [Consulta: 31 Enero 2023].

29. Schmidt, T. 2018. Apple Sunburn 101 [en línea]. Washington State Tree Fruit Association. <<http://treefruit.wsu.edu/article/apple-sunburn-101/>>. [Consulta: 28 Enero 2023].
30. Serra, I., Castillo, P., Hidalgo, M., Fuentealba, O., Cerda, R. and Salazar, F. 2017. Itata Valley: how traditional farming and geomorphological characteristics can became from a limiting factor to key factor in competitiveness. *In* Proceedings for the Fifth International Congress on Mountain and Steep Slope Viticulture. pp. 19-27. Conegliano, Italy.
31. Spayd, S.E., Tarara, J.M., Mee, D.L. and Ferguson, J.C. 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *Am. J. Enol. Vitic.* 53: 171-182.
32. Ubeda, C., Gil i Cortiella, M., Del Barrio-Galán, R. and Peña-Neira, A. 2017. Influence of maturity and vineyard location on free and bound aroma compounds of grapes from the País cultivar. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 38: 201-211.
33. Ubeda, C., Gil i Cortiella, M., Villalobos-González, L., Gómez, C., Pastenes, C. and Peña-Neira, A. 2020. Ripening and Storage Time Effects on the Aromatic Profile of New Table Grape Cultivars in Chile. *Molecules.* 25(24): 5790.
34. Wünsche, J.N., Greer, D.H., Palmer, J.W., Lang, A. and McGhie, T. 2001. Sunburn - The cost of a high light environment. *Acta Hort.* 557: 349-356.

35. Zhang, E., Chai, F., Zhang, H., Li, S., Liang, Z. and Fan, P. 2017. Effects of sunlight exclusion on the profiles of monoterpene biosynthesis and accumulation in grape exocarp and mesocarp. *Food Chem.* 237: 379-389.

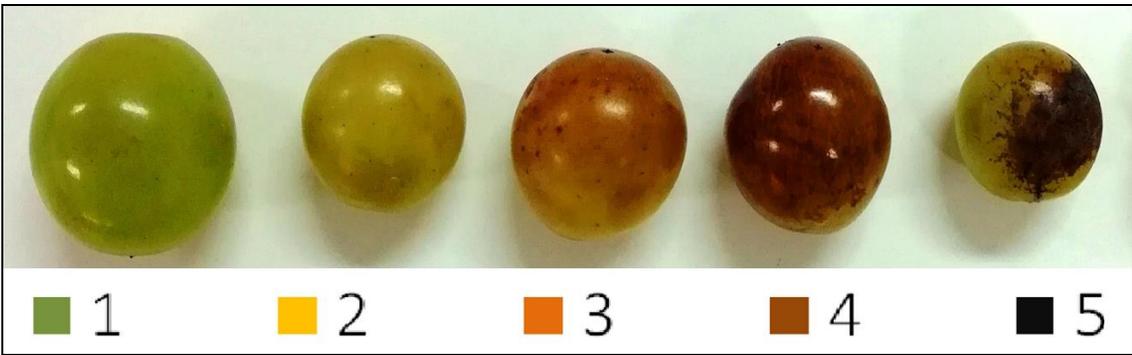
Figures

Figure 1. Head or Gobelet training system in Muscat of Alexandria vines trained at two heights from the trunk (High: 50 cm; Low: 2-10 cm) during the 2018 and 2019 seasons.



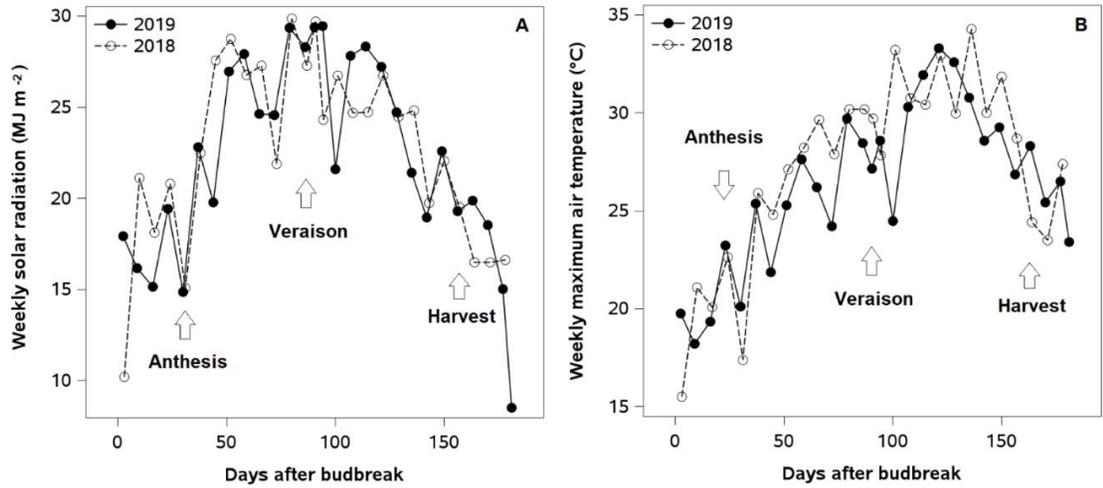
Fuente: Elaboración propia

Figure 2. Scale used for the visual evaluation of the appearance of the skin of the berries were 1 = Green berries (Healthy); 2 = Ambar berries (Slight); 3 = Damage with skin browning (Moderate); 4 = Damage with dark browning (Severe); 5 = Damage with cell death (black skin) (Very severe).



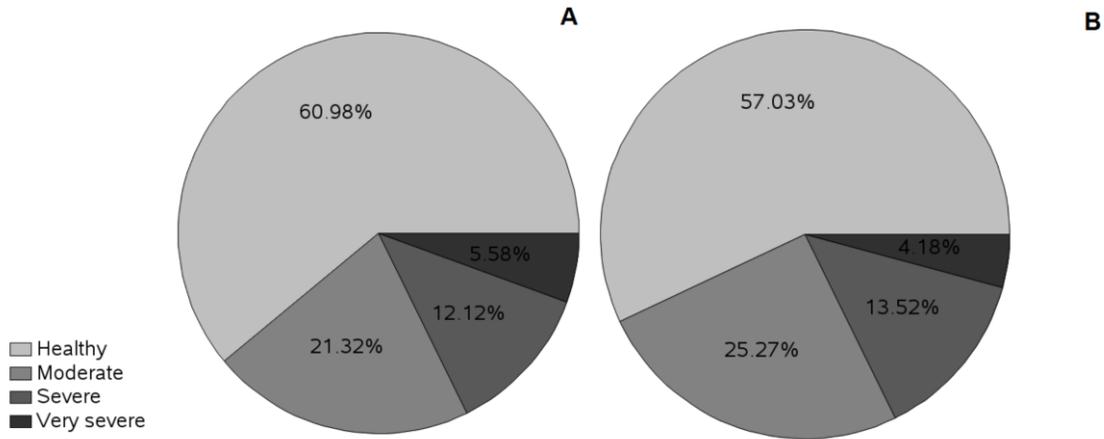
Fuente: Elaboración propia

Figure 3. (A) Maximum temperature and (B) solar radiation recorded at noon (12:00-15:00 h) between 1 October to 30 March in the 2018 and 2019 seasons at the Nueva Aldea agrometeorological station, Ñuble Region.



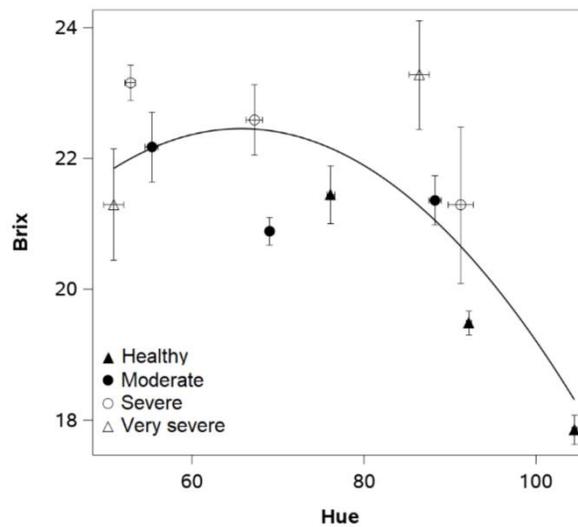
Fuente: Elaboración propia

Figure 4. Percentage of berries according to the different categories of sunburn damage (Healthy: berries without lesions; Moderate: faint reddish-brown lesions; severe: clear brown lesion; very severe: dark brown lesions), for 2018 (A) and 2019 (B) seasons.



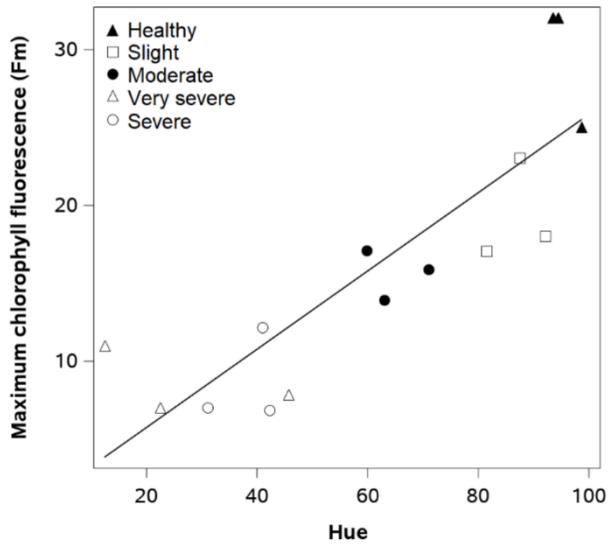
Fuente: Elaboración propia

Figure 5. Quadratic relationship between nine hue categories and Brix at harvest time (end of March) of berries that were visually categorized by sunburn severity (Healthy: berries without lesions; Slight: faint reddish-brown lesions; Moderate: faint reddish-brown lesions; severe: clear brown lesion; very severe: dark brown lesions) in head-trained Muscat of Alexandria vines under non-irrigated conditions in the Itata valley ($-0.0028x^2 + 0.36x + 10.5$, $R^2: 0.59$; $P \leq 0.05$, $n=11$). Error bars represent ± 1 se.



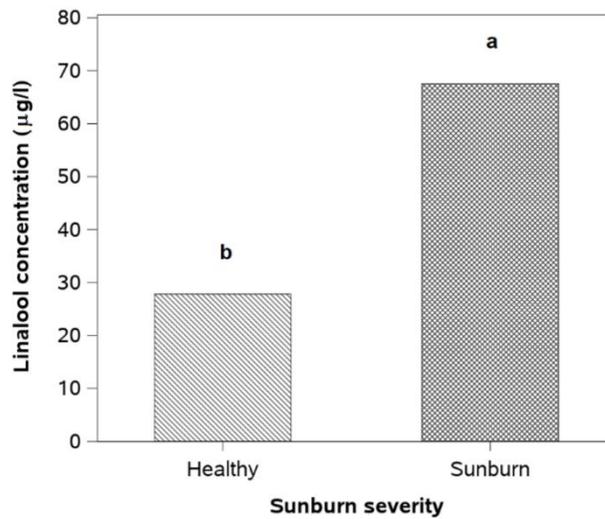
Fuente: Elaboración propia

Figure 6. The linear relationship between hue and maximum chlorophyll fluorescence (F_m) in skins of berries that were visually categorized by sunburn severity (Healthy: berries without lesions; Slight: faint reddish-brown lesions; Moderate: faint reddish-brown lesions; severe: clear brown lesion; very severe: dark brown lesions) in head-trained Muscat of Alexandria vines under non-irrigated conditions in the Itata valley at harvest time (April 5th) ($0.25x + 0.72$; R^2 : 0.72; $P \leq 0.0001$, $n=15$).



Fuente: Elaboración propia

Figure 7. Orthogonal contrast analysis for linalool concentration in healthy (light-gray bar) and sunburned (dark-gray bar) berries of head-trained Muscat of Alexandria vines under non-irrigated conditions in the Itata valley in 2018 and 2019. Different letters indicate significant differences at a 95% confidence level (LSD). N=6 to 12.



Fuente: Elaboración propia

Tables

Table 1. Normalized difference vegetation index (NDVI) and enhanced vegetation index (EVI) of vineyards that exhibited two fruit zone heights (High: 50 cm; Low: 2-10 cm) in bush-trained Muscat of Alexandria vines at *veraison* and harvest during the 2018 and 2019 seasons.

	NDVI		EVI	
	2018	2019	2018	2019
<i>Phenological stage</i>				
<i>Veraison</i>	0.69	0.66 a	0.68 a	0.62 a
Harvest	0.66	0.62 b	0.59 b	0.55 b
<i>Height of the fruit zone</i>				
High	0.68	0.64	0.64	0.61
Low	0.67	0.64	0.63	0.56

Different letters indicate significant differences between columns at 95% confidence level (LSD). N=3.

Fuente: Elaboración propia

Table 2. Yield components and fruit quality parameters at two fruit zone heights (High: 50 cm; Low: 2-10 cm) in bush-trained Muscat of Alexandria vines during the 2018 and 2019 seasons.

<i>Yield components</i>	Height of the fruit zone		Season	
	High	Low	2018	2019
Production per plant (kg)	4.4	3.2 a	3.8	3.8
Number of clusters per plant	19.9	14.9 a	15.9 b	18.8 a
Cluster weight (g)	217.7	196.0 a	224.5 a	189.2 b
<i>Berry quality</i>				
Soluble solids concentration	20.2	21.2	20.6	20.8
Pole diameter (mm)	19.0	17.8	18.3	18.5
Equatorial diameter (mm)	16.5	15.7	16.0	16.3
Skin hue	96.7	82.4	104.9 a	74.2 b
Sunburn severity	2.28	2.23	2.39	2.13

Different letters indicate significant differences between columns at 95% confidence level (LSD). N=3.

Fuente: Elaboración propia

Table 3. Main and total volatile compounds concentration at harvest in berries from head - trained Muscat of Alexandria vines under non - irrigated conditions in the Itata valley. Sampled berries were visually categorized by sunburn severity (Healthy: berries without lesions; Moderate: faint reddish-brown lesions; severe: clear brown lesions). Data are expressed in relative area (abundance) with respect to the internal standard.

	Sunburn severity			Seasons	
	Healthy	Moderate	Severe	2018	2019
	Hue 90-100	Hue (55-75)	Hue (30-45)		
Volatile aromatic compounds					
<i>Terpenes</i>					
Linalool	27.9	94.8	74.3	29.8 b	108.9 b
α -Terpineol	2.5	23.0	26.1	17.2	54.7
β -Citronellol	31.9	62.1	63.2	98.1 a	35.6 b
Nerol	5.3	59.6	33.1	21.7	130.8
Geraniol	13.4	103.1	23.8	14.1 b	172.0 a
Total	91.0	322.6	220.5	180.9	502.0
<i>Alcohols</i>					
Hexanol	8.6	25.2	18.0	13.6	21.7
Benzyl alcohol	99.9	212.6	241.6	241.8	148.1
Total	108.5	237.8	259.6	255.4	169.8
<i>Aldehydes</i>					
Benzaldehyde	11.2	9.6	14.9	34.1	16.9
<i>Trans</i> -2-hexenal	20.6	10.5	19.9	8.74 b	36.0 a
Total	31.8	20.1	34.8	42.84	52.9

Different letters indicate significant differences between columns at 95% confidence level (LSD). N=6.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 2

Respuestas de las relaciones hídricas y la composición química de las bayas y del vino en vides Moscatel de Alejandría sometidas a tres intensidades de poda

Resumen

Las vides de “Moscatel de Alejandría” del Valle del Itata carecen de riego, son conducidas en “cabeza”, y comúnmente presentan un bajo crecimiento vegetativo, lo cual puede inducir una sobre-exposición de la fruta a la alta radiación solar. Consecuentemente, se suele observar un alto porcentaje de fruta con “golpe de sol” ($\pm 50\%$) y una calidad irregular del vino. La poda invernal altera la relación fuente-sumidero y las condiciones microclimáticas, lo cual puede cambiar la composición de las bayas. Una poda severa podría aumentar la longitud de los brotes fructíferos en plantas desvigorizadas, reduciendo el estrés radiativo-térmico y mejorando la calidad de las bayas. Además, la poda severa podría generar cambios microclimáticos que reduzcan la transpiración y el estrés hídrico de las vides. Se realizó un estudio en un viñedo de “Moscatel de Alejandría” bajo las condiciones de cultivo tradicional del Valle del Itata durante la temporada 2021-2022. Se evaluó el efecto de tres intensidades de poda (Leve, moderada, y severa, dejando 21, 16, y 12 yemas por planta, respectivamente) sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo, el

microclima, el estado hídrico del viñedo, y la calidad físico-química de las bayas y del vino. Las vides severamente podadas mostraron rendimientos más bajos, pero similares estados hídricos y condiciones microclimáticas que los dos tratamientos restantes. La poda media mostró la menor incidencia y severidad de golpe de sol, pero la concentración más alta de compuestos aromáticos herbáceos. Estos resultados indicaron que el golpe de sol puede ser inducido por distintas intensidades de poda, generando cambios importantes en el perfil aromático de las bayas y los vinos.

1. Introducción

La variedad Moscatel de Alejandría, es una de las variedades más importantes del Valle del Itata, debido a que más del 80% de la superficie nacional de esta variedad se encuentra en este Valle vitivinícola (SAG, 2021). Las vides del Valle del Itata suelen exhibir un bajo vigor, lo cual se asocia a la avanzada edad de las plantas (muchos viñedos superan los 100 años), el sistema de conducción en “cabeza”, la condición de secano, y el manejo cultural precario (Serra et al., 2017).

El vigor de la planta afecta directamente el microclima de esta, el cual, a su vez tiene relación con la morfología del racimo y la composición química de la baya. Por ejemplo, se ha reportado que racimos provenientes de plantas de bajo vigor, suelen estar más expuestos a la radiación solar directa y temperatura del aire (Romboli et al., 2017), pudiéndose generar el daño por golpe de sol en las

bayas. En el Valle del Itata se ha reportado hasta un 40% de bayas con daño por golpe de sol de moderado a muy severo (Puentes, 2019), lo cual resalta la necesidad de realizar una práctica de manejo cultural que permita modificar el microclima del racimo y mitigar este problema.

Dentro de las prácticas culturales más relevantes para definir las condiciones microclimáticas en el viñedo, se encuentra la poda invernal (Martínez-Moreno et al., 2019). Se plantea que la realización de una poda más severa (“más corta”), dejando un menor número de yemas en los sarmientos, implicaría un aumento en el vigor de los brotes (O’Daniel et al., 2012), lo cual puede generar una mayor acrotonía en la planta, induciendo ciertos niveles de sombreamiento que permitan proteger la fruta de la radiación solar directa.

Respecto a los aromas, en la variedad Moscatel de Alejandría, son los terpenos los que otorgan el aroma floral y frutal a la baya (Black et al., 2015), los cuales también se ven afectados por el nivel de exposición de la fruta (Friedel et al., 2016). Se ha reportado una mayor concentración del monoterpeno linalol en bayas de vides Moscatel de Alejandría que han sido defoliadas severamente, quedando las bayas mayormente expuestas a la radiación solar directa y la temperatura del aire (Pascual et al., 2017). Sin embargo, este estudio solo reporta el efecto de una poda en verde sobre la composición aromática de las bayas, y no el efecto de una poda invernal sobre estos compuestos en las bayas y los vinos.

En términos de requerimiento hídrico, en el Valle del Itata, la vid tiene la mayor demanda hídrica en el periodo comprendido entre envero y cosecha (Ramos et al., 2020), periodo en el cual un déficit hídrico muy severo puede afectar la composición de las bayas, reduciendo la concentración de azúcares, y aumentando la concentración de antocianinas (Ramos et al., 2020). Sin embargo en un estudio reciente, la aplicación de riego deficitario sostenido en Moscatel de Alejandría, reduciendo en un 50% el suministro de agua a partir de la evapotranspiración estimada, mejoró la concentración de azúcares en las bayas y no perjudicó el rendimiento (Buesa et al., 2017), por lo que se considera una variedad tolerante a este tipo de estrés.

Por otro lado, el estado hídrico del viñedo se relaciona directamente con el efecto que el sistema de conducción y la densidad de plantación utilizados tienen sobre el tamaño de las vides y la evapotranspiración (Sánchez-Llorente et al., 2001). Debido a que los viñedos bajo un sistema de conducción en “cabeza” poseen un menor desarrollo vegetativo por unidad de suelo, se espera una menor evapotranspiración, puesto que el follaje cubre una menor proporción del suelo, lo cual limita el componente transpirativo, y las amplias distancias entre hileras favorecen el rápido desecamiento del suelo en esta zona (Freeman et al., 1992), limitando también la evaporación (Sánchez-Llorente et al., 2001). Sin embargo, no existen antecedentes que permitan conocer el estado hídrico del viñedo en las condiciones de cultivo tradicional del Valle del Itata.

A pesar de los antecedentes, aún se desconoce, en las condiciones de secano y de cultivo tradicional del Valle del Itata, cuál es la relación entre la poda y el balance del crecimiento vegetativo y reproductivo de las vides que determina la tolerancia de las plantas al estrés hídrico y la calidad de la fruta y del vino.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

Este estudio se llevó a cabo durante una temporada (2021-2022) en un viñedo comercial (*Vitis vinifera* L.) de la variedad Moscatel de Alejandría, el cual se encuentra conducido en cabeza y en condición de secano. El manejo del viñedo es de tipo tradicional, el cual incluye el control mecánico de malezas, aplicación mínima de agroquímicos, poda y cosecha manual, entre otros (Serra et al., 2017). El viñedo se ubica en el área vitícola que corresponde al Valle del Itata, región de Ñuble, Chile, específicamente en la comuna de Quillón ($36^{\circ}52'15.9''S$; $72^{\circ}27'59.5''W$). El suelo deriva principalmente de la Cordillera de La Costa, dando origen a texturas arcillosas. Las principales series de suelo presentes en la comuna de Quillón son: Cauquenes y San Esteban (Stolpe, 2006). Los suelos son recientes, profundos, moderadamente estratificados, excesivamente drenados y descansan sobre un substrato de gravas, piedras y arenas, o bien, sobre arenas gruesas. Las condiciones climáticas de la comuna, indican que existe predominio de un clima mediterráneo en el Valle, mientras que hacia los

sectores de la Cordillera de la Costa existe predominio de un clima mediterráneo con influencia marina (Serra et al., 2017).

2.2. Diseño experimental

Se analizó el efecto de tres tratamientos de poda, en donde:

P21: Poda leve: Se dejaron 3 cargadores de 7 yemas.

P16: Poda media (control): Se dejaron 2 cargadores de 8 yemas.

P12: Poda severa: Se dejaron 2 cargadores de 6 yemas.

El diseño del ensayo fue en bloques completamente aleatorizados, con tres repeticiones, en donde la unidad experimental consistió en 12 plantas, distribuidas en 4 hileras contiguas (Figura 1).

2.3. Evaluación de las condiciones ambientales

Mesoclima. Los datos de temperatura y radiación solar fueron obtenidos desde la estación meteorológica Nueva Aldea (Red Inia-Agromet), ubicada en la comuna de Ránquil, provincia de Itata, la cual se ubica aproximadamente a 10 km del sitio del ensayo. Los datos de humedad relativa del aire y de temperatura fueron empleados para estimar el déficit de presión de vapor (DPV). La evaporación de una superficie de agua es proporcional al déficit de presión de vapor, el cual es definido como la diferencia entre la presión de saturación y la presión parcial del vapor de agua en el aire, esto se expresa en la fórmula de Rosenberg et al. (1983):

$$DVP = e_s \left(1 - \frac{HR}{100}\right)$$

$$e_s = \exp\left(\frac{16,78 \times T_a - 116,9}{T_a + 237,3}\right)$$

Donde DVP es el Déficit de presión de vapor (kPa); HR es la Humedad relativa del aire (%); e_s la Presión de saturación de vapor (kPa); T_a es la Temperatura del aire (°C).

Las mediciones de crecimiento vegetativo, relaciones hídricas del viñedo, y microclima se realizaron una vez al mes, en los estados fenológicos de floración (noviembre), 50% de crecimiento de la baya etapa I (diciembre), envero (enero), 50% de crecimiento de la baya etapa III (febrero) y madurez de cosecha (marzo).

2.4. Relaciones hídricas del viñedo

Potencial hídrico del tallo (Ψ_{tallo}): Las mediciones del potencial hídrico del tallo, se llevaron a cabo mediante el uso de la cámara de presión de Scholander (PMS 615 Instruments, Washington, EEUU) (Scholander et al., 1965), en dos hojas por cada planta, la cual se caracterizó por ser una hoja sana y ubicarse en la zona del tercio inferior del brote (McCutchan y Shackel, 1992). La medición se realizó al medio día (entre las 12:00 y 15:00 horas) con el fin de evaluar el máximo nivel de estrés hídrico diario.

Conductancia estomática de las hojas: Se midió con un porómetro portátil de estado estacionario (SC-1, Decagon Instruments, Washington, EEUU) en 4 hojas por planta, en láminas expuestas al sol, maduras, y sin clorosis.

Eficiencia del fotosistema II: Se midió a través de la relación F_v/F_m con un fluorímetro portátil (Pocket Pea, Hansatech Instruments, UK) en 2 hojas por planta, las cuales presentaron las mismas condiciones consideradas para la medición de conductancia estomática de las hojas. Las evaluaciones se realizaron una vez que las hojas fueron adaptadas a oscuridad total durante 30 minutos por medio del uso de “clips” foliares con una placa de obturación móvil.

Condiciones del microclima: Se midió la temperatura de las hojas y de los racimos, utilizando un termómetro IR ubicado a una distancia exacta de 2 cm de la muestra. Para esto, se seleccionaron 4 hojas y 4 racimos, previamente marcados en cuaja. Dos racimos se seleccionaron en cada lado de la planta, de acuerdo a la exposición al sol del follaje en la mañana y en la tarde. Asimismo, se midió la temperatura del aire y humedad relativa a una altura de 2.0 m del suelo, al inicio y al final de las evaluaciones en cada combinación bloque-tratamiento. Esto con la finalidad de caracterizar las condiciones climáticas asociadas a las mediciones del estado hídrico de la planta.

En cada medición efectuada, se estimó la temperatura y humedad relativa del aire con un psicrómetro de precisión.

2.5. Capacidad de la vid

Índice de área foliar (IAF): Fue estimado por medio del uso de un ceptómetro (LP-80, Decagon Instruments, Washington, EEUU). Para esto se ubicó el sensor bajo el dosel, y se realizaron 3 mediciones por planta muestreada, en donde la primera, segunda y tercera medición se realizó a 0, 20, y 40 cm del tronco.

Porcentaje de cobertura: Al igual que el IAF, fue estimado por medio del uso de un ceptómetro (LP-80, Decagon Instruments, Washington, EEUU). Para esto se ubicó el sensor sobre el dosel para realizar la primera medición y luego bajo el dosel donde se realizaron 3 mediciones por planta muestreada, en donde la primera, segunda y tercera medición se realizó a 0, 37,5, y 75 cm del tronco. Posteriormente el porcentaje de cobertura fue calculado según la relación entre la medición realizada sobre el dosel y las tres mediciones realizadas bajo el dosel.

Peso de poda: La biomasa podada se pesó en una balanza electrónica al momento de realizar la labor de poda comercial siguiendo las indicaciones de cada tratamiento.

2.6. Crecimiento reproductivo

Para determinar la fecha de cosecha, se midió la concentración de sólidos solubles (Brix) una vez por semana, a partir de la primera semana de marzo. Se determinó el momento óptimo de cosecha cuando los sólidos solubles fueron al menos 21, lo cual es necesario para obtener un grado de alcohol probable entre 12 y 13. Una vez alcanzada la madurez requerida, se procedió a cosechar las

plantas completas hasta alcanzar por lo menos 30 kg por combinación bloque-tratamiento, para posteriormente realizar las micro-vinificaciones en tanques de 25 L.

El rendimiento de cosecha se estimó a partir del conteo de racimos por planta y luego se calculó el peso de estos. Además, se pesaron 100 bayas por combinación bloque-tratamiento en una balanza de precisión.

2.7. Caracterización de las bayas

Posteriormente en el laboratorio, se analizaron parámetros químicos en tres muestras compuestas de 200 bayas por combinación bloque-tratamiento. En la primera muestra compuesta se midió la concentración de sólidos solubles, acidez total y pH. Mientras que en la segunda muestra compuesta se midió la concentración de terpenos; y en la tercera muestra se estimó el porcentaje de bayas dañadas por golpe de sol según se describe:

Concentración de sólidos solubles (Brix): La baya fue comprimida para obtener al menos 3 gotas de mosto, las cuales se depositaron en el prisma del refractómetro digital (HI 96801, Hanna Instruments, Rhode Island, EEUU) previamente calibrado con agua destilada. Luego se cubrió el área del prisma con la tapa y se leyó la medida de sólidos solubles (Brix) en el visor del instrumento (Pszczółkowski y Ceppi, 2011).

Para mediciones de acidez total, pH y concentración de terpenos, las bayas se trituraron manualmente y el mosto obtenido fue centrifugado durante 5 minutos a 20 °C, para obtener un mosto claro.

Acidez total: Se depositaron 5 mL de mosto en un vaso de precipitado, luego se añadieron 2 gotas de azul de bromotimol. Posteriormente se realizó la titulación con NaOH 0,1 M hasta que el mosto se tornara de un color azul verdoso. La acidez total fue expresada en g L^{-1} de ácido tartárico (Pszczółkowski y Ceppi, 2011).

pH: Fue medido por potenciometría a través de un pH-metro, utilizando soluciones tampones cercanas al pH de la muestra (pH 3 a 4). La muestra de mosto fue depositada en un vaso de precipitado. El electrodo fue introducido en la muestra de tal manera que la membrana de intercambio del electrodo quedara completamente en contacto con el mosto. Posteriormente se obtuvo el resultado del pH (Pszczółkowski y Ceppi, 2011).

Concentración de terpenos: Se utilizaron 5 bayas por combinación bloque-tratamiento, las cuales fueron molidas durante cerca de 1 minuto utilizando el equipo homogeneizador, hasta obtener un mosto homogéneo, del cual se extrajeron 3,5 g, los cuales posteriormente fueron depositados en un vial junto con 3,5 mL de agua destilada y 10 μL de patrón interno 2-pentanol-4-metil al 0,1% N. Los viales con las muestras se acomodaron en la bandeja del inyector automático del equipo de cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS) para su posterior análisis (Ubeda et al., 2020). Los cromatogramas obtenidos fueron cuantificados y perfilados mediante el programa computacional "Data Analysis" de Agilent Technologies (USA), junto

con la biblioteca digital de NIST (National Institute of Standard and Technology, USA).

Para llevar a cabo una adecuada interpretación y comparación entre los resultados, se utilizó como medida de cuantificación el “Área Relativa” que consiste en una relación entre el área obtenida de un compuesto con el área obtenida de los 10 µL de patrón interno agregados a la muestra, según la siguiente ecuación:

$$\text{Área Relativa} = \frac{\text{Área Compuesto}}{\text{Área Patrón interno}} \times 100$$

Golpe de sol: Se caracterizó visualmente el porcentaje de fruta con golpe de sol, con la escala visual de Puentes (2019), donde se asignó un valor numérico según la severidad del daño, donde 0 = Sin golpe de sol; 1 = Daño leve; 2 = Daño moderado; 3 = Daño severo; 4 = Daño muy severo. Adicionalmente se midió la tonalidad (“Hue”) de la baya utilizando un colorímetro portátil (CR-10, KONICA MINOLTA SENSING, INC, Japón) con la finalidad de apoyar la medición subjetiva de la severidad de daño por golpe de sol.

2.8. Vinificación y caracterización del vino

Con las uvas que fueron recolectadas, se realizaron 3 vinos por tratamiento, en el laboratorio de micro-vinificación de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, sede Chillán.

El proceso de vinificación fue realizado sin separar las pieles del mosto, con la finalidad de ver si existía alguna diferencia entre los vinos según la severidad de

daño por golpe de sol, según se describe: se despalilló y molió la fruta, luego se encubó el mosto en estanques de fermentación de 25 L, llenados hasta un 80% de su capacidad (20 L), en el cual se agregó una solución de anhídrido sulfuroso al 5% p/v, en dosis de 12 mL para alcanzar una concentración total de 3 g hL^{-1} de mosto. Un día después se inocularon las levaduras (Fermentis Safoeno VR44 Bayanus) previamente hidratadas, en dosis de 6 g por estanque, además se incorporaron 3 g de nutrientes (Fermoplus Tropical) por estanque. La fermentación alcohólica fue realizada con una temperatura entre 12 y 18 °C (Morgan et al., 2020). Datos de temperatura y densidad fueron tomados dos veces al día hasta que culminó la fermentación alcohólica.

Terminada la fermentación alcohólica el vino fue colocado en botellas de 5 L, llenadas a su máxima capacidad para evitar la presencia de oxígeno. Luego se corrigió el sulfuroso y el vino fue depositado en botellas de 750 cm^3 .

El vino fue caracterizado según el azúcar residual, grado alcohólico, acidez volátil, sulfuroso libre y total, acidez total, pH y concentración de terpenos, según se describe:

Azúcar residual: El azúcar residual fue calculada para determinar si el vino estaba seco, lo cual según la ley de alcoholes N° 18.455 de Chile, sucede cuando el vino tiene una concentración de azúcares menor o igual a 4 g L^{-1} , siendo posible que alcance hasta 9 g L^{-1} si la acidez expresada en ácido tartárico no es inferior en más de 2 g L^{-1} al contenido de azúcar residual (SAG, 2015). La medición se realizó con el método de Fehling. Se situaron 5 mL de

licor de Fehling A y 5 mL de licor de Fehling B en un matraz Erlenmeyer, luego se añadieron 10 mL de agua destilada. Posteriormente se aplicó calor a la disolución hasta la ebullición. En una bureta se situaron 50 mL de solución de glucosa al 5% y se realizó la titulación agregando pequeñas dosis de vino al matraz que se agitó constantemente. La titulación se dio por terminada cuando el licor estaba decolorado (Pszczólkowski y Ceppi, 2011).

Grado alcohólico (% Vol): El grado alcohólico del vino fue obtenido a través del proceso de destilación y posterior aerometría. Para realizar la destilación se situaron 50 mL de vino en un matraz de destilación de fondo redondo, luego el matraz se colocó sobre una fuente de calor y se destiló el alcohol. En el cilindro se recogió el volumen de etanol que fue separado en el proceso. La aerometría se realizó con un aerómetro, el cual fue introducido en una probeta con el volumen de etanol que fue destilado para luego leer el resultado del grado alcohólico (Pszczólkowski y Ceppi, 2011).

Acidez volátil: Fue medida con el método de Blarez, para esto se tomaron 20 mL de vino previa eliminación de CO_2 y se realizó una destilación aplicando una corriente de vapor de agua. Finalmente se recogió el volumen que fue destilado y se realizó una titulación con NaOH 0,1 N para luego expresar la acidez volátil en g L^{-1} de ácido acético (Bordeu y Scarpa, 1998).

Sulfuroso libre y total (mg L^{-1}): Se determinó con el método de Ripper. Se depositó una muestra de 25 mL de vino en un matraz Erlenmeyer con 2 mL de almidón al 1% p/v y 5 mL de ácido sulfúrico 1/3 p/v. Posteriormente se

depositaron 25 mL de líquido de valoración SO_2 GAP en una bureta, la cual se situó sobre el matraz Erlenmeyer para realizar la valoración. El líquido de la bureta fue lentamente depositado en el matraz hasta que la muestra de vino presentara un color azulado. Finalmente, el volumen de líquido de valoración SO_2 GAP que fue utilizado se multiplicó por 10 para obtener el resultado de sulfuroso libre en mg L^{-1} . Para determinar el sulfuroso total nuevamente se utilizó una bureta con 25 mL de líquido de valoración SO_2 GAP, además en un matraz Erlenmeyer se depositaron 25 mL de vino y 10 mL de álcali para luego tapar y dejar reposar por 10 minutos. Transcurridos los 10 minutos se añadieron 2 mL de almidón al 1% p/v y 5 mL de ácido sulfúrico 1/3 p/v. La bureta se situó sobre el matraz para realizar la valoración, la cual culminó cuando el vino presentó un color azulado. El volumen de líquido de valoración SO_2 GAP que fue utilizado se multiplicó por 10 para obtener el resultado de sulfuroso total en mg L^{-1} (Bordeu y Scarpa, 1998).

Acidez total: Se tomaron 50 mL de vino y se realizó una titulación con NaOH 1 N similar a la realizada con el mosto de las bayas, hasta un punto final de pH 8,2 (Pszczólkowski y Ceppi, 2011).

pH: Fue medido por potenciometría a través de un pH-metro, utilizando soluciones tampones cercanas al pH de la muestra (pH 3 a 4). La muestra de vino fue depositada en un vaso de precipitado. El electrodo fue introducido en la muestra de tal manera que la membrana de intercambio del electrodo quedara

completamente en contacto con el vino. Posteriormente se obtuvo el resultado del pH (Pszczółkowski y Ceppi, 2011).

Concentración de terpenos: El análisis de terpenos en el vino se realizó a través de microextracción en fase sólida (HS-SPME) y posterior cromatografía de gases. En un frasco de 20 mL fueron depositados 7,5 mL de vino, 1,5 g de cloruro de sodio y 10 μ L de patrón interno 2-pentanol-4-metil al 0,1% N. Luego las muestras preparadas se situaron en el inyector automático del equipo de cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS) para su posterior análisis (Ubeda et al., 2020). Los cromatogramas obtenidos fueron cuantificados y perfilados mediante el programa computacional “Data Analysis” de Agilent Technologies (USA), junto con la biblioteca digital de NIST (National Institute of Standard and Technology, USA).

Para llevar a cabo una adecuada interpretación y comparación entre los resultados, se utilizó como medida de cuantificación el “Área Relativa”, al igual que en el caso de las bayas.

2.9. Análisis de datos

Todas las variables cuantitativas medidas fueron analizadas estadísticamente por medio de un análisis de varianza (ANDEVA), una vez que los datos cumplieron los supuestos de homogeneidad de varianzas (Test de Levene), normalidad de errores (Test de Shapiro-Wilk) y aditividad de los efectos. Para las variables que no cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas, se les aplicó una transformación a los datos, o

en su defecto se realizó un análisis no paramétrico. Cuando se encontraron diferencias significativas, los datos se sometieron a la prueba de separación de medias de diferencias mínimas significativas (DMS), además se realizó un análisis de regresión entre las variables de relaciones hídricas y capacidad productiva y vegetativa de las vides. Todos los análisis estadísticos y gráficos fueron realizados por medio del software SAS-Studio 9.4 (SAS Institute, North Carolina, EEUU).

3. Resultados

3.1. Evaluación de las condiciones ambientales

Los datos agrometeorológicos de la temporada 2021-2022, indican que entre la etapa de floración hasta cosecha (noviembre a marzo) hubo 55 días con temperaturas superiores o iguales a 30 °C (Figura 2A). Asimismo, los niveles de radiación diurna (entre las 12:00 y 15:00 horas) para la misma temporada superaron los 2,7 MJ m⁻² durante 99 días (Figura 2B).

3.2. Relaciones hídricas del viñedo

Potencial hídrico del tallo: No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos desde la etapa de floración hasta la cosecha. En términos generales, el potencial hídrico inició en -0,38 MPa en la etapa de floración (noviembre), mientras que en la etapa de cosecha (marzo), este parámetro se encontró cercano a -1,0 MPa. Respecto a la relación entre el potencial hídrico del tallo óptimo y el potencial hídrico del tallo obtenido en cada tratamiento,

estos son similares en noviembre y diciembre, mientras que, desde enero a marzo, el óptimo es superior a los potenciales medidos en los distintos tratamientos ($\pm 50\%$ de diferencia) (Tabla 1).

Conductancia estomática de las hojas: No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en las distintas etapas de medición. En términos generales, la conductancia estomática siempre se mantuvo mayor a $250 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Tabla 1).

Eficiencia del fotosistema II (relación Fv/Fm): No existieron diferencias significativas entre los tratamientos en las diferentes etapas de medición. En términos generales, este parámetro en todas las etapas fue inferior a 0,8; incluso alcanzó valores cercanos a 0,4 en el mes de febrero (Tabla 1).

Condiciones microclimáticas: No existieron diferencias significativas en las temperaturas medidas en los racimos y hojas en relación a la exposición en la mañana y en la tarde, por ende, en los resultados las temperaturas medidas en ambas orientaciones se muestran promediadas (Tabla 1), mientras que tampoco existieron diferencias significativas en las temperaturas de hojas y racimos en relación a los tratamientos de poda (Tabla 1). En términos generales, en cada una de las etapas la temperatura de las hojas fue inferior a la temperatura del aire en 2 o 4 °C, a excepción de la última medición, donde la temperatura de la hoja del tratamiento de poda leve fue superior a la temperatura del aire (Figura 3). Por otro lado, la temperatura de los racimos de cada tratamiento fue inferior a la temperatura del aire, excepto en marzo, donde

la temperatura de los racimos de todos los tratamientos fue superior a la temperatura del aire, particularmente la de los racimos del tratamiento de poda leve fue superior a la temperatura de los racimos de los otros tratamientos (Figura 4).

3.3. Capacidad de la vid

Índice de área foliar: No existieron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las fechas de medición. Respecto a las tendencias, existió un incremento del índice de área foliar en todos los tratamientos entre noviembre y diciembre, alcanzando un IAF aproximadamente de 4,5. Mientras que luego este parámetro disminuyó al finalizar la temporada (Tabla 1).

Porcentaje de cobertura: Solo existieron diferencias entre los tratamientos para el porcentaje de cobertura medido en el mes de diciembre, específicamente en el que fue medido a una distancia de 37,5 cm desde el tronco de la planta (Tabla 1). En este caso, los tratamientos 1 y 3 presentaron el mayor porcentaje de cobertura, mientras que el tratamiento 2 fue el que presentó el menor porcentaje de cobertura.

Peso de poda: En relación al peso de poda (Tabla 2), no existieron diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, sí se encontró una clara tendencia, donde el peso de poda inferior fue presentado por el tratamiento de poda leve, mientras que el peso de poda mayor fue presentado por el tratamiento de poda severa. Además, este parámetro se relacionó de forma directa con la concentración de (*E*)-2-Hexenal y hexanal, ya que mientras mayor

fue el peso de poda, mayor fue la concentración de estos compuestos aromáticos en las bayas (Figura 5).

3.4. Crecimiento reproductivo

Parámetros de cosecha: Respecto a los parámetros de cosecha evaluados, solo existieron diferencias significativas en el rendimiento y número de racimos por planta, donde en ambas variables, el tratamiento 3 fue el que presentó los valores más bajos, mientras que el tratamiento 1 y 2 presentaron los valores más altos y fueron estadísticamente iguales (Tabla 3).

Respecto al peso del racimo, peso de 100 bayas, número de bayas por racimo y relación fuente/sumidero, no existieron diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, si existió una clara tendencia, donde el tratamiento de poda severa presentó el mayor peso de racimo, peso de 100 bayas y relación fuente/sumidero (Tabla 3).

3.5. Caracterización de las bayas

Respecto a la caracterización química de las bayas, no existieron diferencias entre los tratamientos de poda para las variables de sólidos solubles (Brix), acidez total y pH (Tabla 4), mientras que si existieron diferencias entre los tratamientos de poda para el compuesto aromático 2-Hexen-1-ol, (E)-, donde el tratamiento 2 presentó la mayor concentración y el tratamiento 1 y 3 presentaron las concentraciones más bajas, siendo estadísticamente iguales (Tabla 5). Además, como tendencia en el caso de los compuestos aromáticos

volátiles, los aldehídos se encontraron en mayor concentración respecto a los otros compuestos en todos los tratamientos de poda (Tabla 5). Igualmente, es importante mencionar que existió una relación directa entre la concentración total de aromas volátiles en las bayas y la relación fuente/sumidero (Figura 6).

Respecto a la caracterización física de las bayas, no existieron diferencias entre los tratamientos de poda en el parámetro “hue” (Tabla 6). Sin embargo, si existieron diferencias entre los tratamientos de poda para la severidad de daño por golpe de sol, donde el tratamiento 2 tuvo la menor severidad de daño y el tratamiento 1 y 3 tuvieron la mayor severidad de daño, siendo estadísticamente iguales (Tabla 6).

En relación a las severidades de daño por golpe de sol expresadas en porcentaje, según el número de bayas analizadas por cada tratamiento, se puede mencionar que los porcentajes de bayas con daño por golpe de sol desde leve a muy severo fueron superiores al 50% en los 3 tratamientos de poda (Figura 7A, 7B y 7C).

Además, la severidad de daño por golpe de sol tuvo una relación directa con el potencial hídrico del tallo medido en el mes de marzo (Figura 8), y con la concentración de sólidos solubles (Brix) (Figura 9), mientras que tuvo una relación inversa con la concentración de ácido octanoico en el vino (Figura 10).

3.6. Caracterización del vino

Respecto a la caracterización química del vino, no existieron diferencias entre los tratamientos de poda para las variables de grado alcohólico, azúcar residual,

acidez total, pH y acidez volátil (Tabla 7), mientras que si existieron diferencias entre los tratamientos de poda para el compuesto aromático éster etílico del ácido decanoico, donde el tratamiento 2 presentó la menor concentración y los tratamientos 1 y 3 presentaron las concentraciones más altas, siendo estadísticamente iguales (Tabla 8). En este caso, cabe señalar que existió una relación directa entre la concentración total de aromas en los vinos y la relación fuente/sumidero (Figura 11). Además, en el vino se detectaron terpenos, mientras que previamente en la baya no fueron detectados estos compuestos, pudiendo estar ligados a azúcares.

4. Discusión

4.1. Relaciones hídricas del viñedo

La ausencia de diferencias para las variables que determinan el estado hídrico de las plantas entre los tratamientos de poda sugieren que las distintas severidades de poda no provocaron diferencias en el crecimiento vegetativo de las plantas, lo cual se refleja en los resultados de índice de área foliar (IAF), donde tampoco hubo diferencias entre los tratamientos.

Potencial hídrico del tallo (Ψ_{tallo}): La ausencia de diferencias significativas entre tratamientos para el potencial hídrico del tallo respondió, probablemente, a que las plantas con un similar desarrollo vegetativo contaron durante toda la temporada con una misma cantidad de agua de reserva en el subsuelo. Adicionalmente, estos resultados también sugieren que la aplicación de

distintas intensidades de poda no habría generado diferencias en el crecimiento primaveral de raíces, ni en el volumen de suelo explorado por el sistema radical. De esta forma, ningún tratamiento de poda habría inducido una capacidad distinta de escape al estrés hídrico gracias a la estimulación del crecimiento de raíces. Esto les habría permitido a las vides podadas con diferentes intensidades mantener un estado hídrico óptimo (Ψ_{tallo} : -0,6 a -0,4 MPa) en una condición de baja a moderada demanda evaporativa atmosférica (Williams y Baeza, 2007), como la existente al inicio de la temporada (octubre y noviembre). A medida que avanzó la temporada, las reservas de agua se habrían agotado, y frente al aumento de la demanda evaporativa atmosférica, las vides habrían sufrido un aumento de la severidad del estrés hídrico hasta exhibir un valor de Ψ_{tallo} de -1,0 MPa en cosecha (marzo). Aunque vides hídricamente estresadas de manera severa suelen alcanzar un Ψ_{tallo} entre -2,0 y -1,5 MPa (Gambetta et al., 2020), en el presente estudio, un Ψ_{tallo} de -1,0 MPa sería representativo de un estrés hídrico moderado, pues el valor de Ψ_{tallo} óptimo se mantuvo durante toda la temporada cercano a -0,4 MPa. Además, en Moscatel de Alejandría, Buesa et al. (2017) aplicaron un riego deficitario sostenido, en el cual las vides alcanzaron un potencial hídrico del tallo al mediodía de -1,0 MPa, severidad de estrés que no provocó disminuciones en el rendimiento de las plantas respecto al tratamiento bien regado.

Conductancia estomática de las hojas: Respecto a la conductancia estomática de las hojas, los valores sobre $250 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ indicarían que las vides no se

encontraron bajo estrés hídrico severo a lo largo del período de mediciones, puesto que vides severamente estresadas pueden ver reducido este parámetro a valores bajo $50 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Sadras et al., 2012). Sin embargo, las conductancias estomáticas de los meses de febrero y marzo fueron un 40% menores que los valores obtenidos en diciembre, lo cual evidenciaría el impacto del estrés hídrico sobre la conductancia estomática de las hojas.

Eficiencia del fotosistema II (relación Fv/Fm): Respecto a la relación Fv/Fm, los valores obtenidos durante el desarrollo del experimento sugieren una baja eficiencia del fotosistema II, puesto que estos se alejan al menos en 0,2 unidades bajo el óptimo de 0,82 o 0,83 (Baker, 2008). Esta baja eficiencia del fotosistema II se puede atribuir al impacto que la combinación de altos niveles de radiación solar y temperatura del aire ($\geq 30 \text{ }^\circ\text{C}$) (Figura 2) tienen sobre el aparato fotosintético de las hojas (Keller, 2020). Adicionalmente, se puede mencionar que los viñedos del Valle del Itata, en general, suelen estar expuestos a una importante presión por parte de diversas fuentes de estrés biótico o abiótico, lo cual explicaría los bajos valores de Fv/Fm desde el inicio de la temporada. Por ejemplo, la aplicación mínima de agroquímicos (incluso fertilizantes) puede derivar en que los suelos muestren deficiencias de nitrógeno, fósforo, potasio y boro (Claret et al., 2020; Pascual et al., 2017). En este caso, el nitrógeno se vincula directamente con la eficiencia del fotosistema II, puesto que este ión forma parte de la clorofila y de enzimas que participan en la actividad fotosintética. Por consiguiente, una deficiencia de nitrógeno en el

suelo podría generar una deficiencia de este elemento en la planta, con consecuentes efectos negativos en la fotosíntesis (Mao et al., 2022).

Condiciones microclimáticas: En relación a la temperatura de las hojas, los valores de pre-verano, con temperaturas foliares bajo la temperatura del aire sugieren que la superficie foliar se encontraba activamente transpirando y, por ende, regulando su temperatura (Keller, 2020). Por el contrario, la disminución de la diferencia entre temperatura del aire y temperatura de las hojas vista en los meses de febrero y marzo confirmarían el impacto que el estrés hídrico moderado tuvo en la conductancia estomática de las hojas y en el enfriamiento por evaporación resultante del proceso transpiratorio. La mantención de temperaturas de la hoja cercanas a los 30 °C, o más, puede inducir una menor fotosíntesis neta en vid, pues se sabe que el proceso fotorrespiratorio en vides cobra una mayor importancia cuando la temperatura foliar supera los 25 °C (Kriedemann y Smart, 1971). Respecto a la temperatura de los racimos, estos en las primeras etapas estaban transpirando, mientras que posterior a verano la temperatura alcanzada por ellos es superior a la del aire, a causa del cese de la transpiración que ocurre debido a que los estomas de las bayas pierden funcionalidad (Blanke y Leyhe, 1987), pudiendo generarse en esta etapa, la condición óptima para el daño por golpe de sol (Gambetta et al., 2021).

4.2. Capacidad de la vid

La ausencia de diferencias entre los tratamientos de poda para las variables conducentes a determinar la capacidad de la vid se habrían relacionado a que

las distintas severidades de poda no fueron capaces de inducir una variación consistente en el crecimiento de las plantas. Incluso entre los tratamientos 1 y 3, que eran los que presentaban la mayor diferencia en cuanto al número de yemas que se dejaron en la labor de poda ($\pm 40\%$), no se observaron diferencias significativas.

Peso de poda: A pesar de que se observó una tendencia a que las plantas más severamente podadas exhibiesen mayores pesos de poda, las diferencias entre tratamientos no fueron significativas. La falta de diferencias significativas habría respondido a la gran heterogeneidad encontrada en el desarrollo vegetativo de las plantas. Si bien la acumulación de materia seca que determina el crecimiento vegetativo del próximo año ocurre durante toda la temporada, es en las condiciones de post-cosecha cuando los asimilados son repartidos casi en su totalidad a los órganos de reserva. En el presente estudio, las plantas entraron a una condición de estrés hídrico moderado durante la post-cosecha. La mayor sequedad del suelo se ha asociado a un aumento en la variabilidad espacial de las plantas (Taylor et al., 2010), lo cual pudo haber contribuido a la falta de heterogeneidad en los pesos de poda de los distintos tratamientos. En general, el peso de poda promedio de todos los tratamientos (447,31 gramos), es inferior al reportado previamente por Baeza et al. (1999), para un viñedo del cultivar Tempranillo conducido en vaso bajo, el cual correspondió a 582 gramos. Estos resultados confirman que el cultivar Moscatel de Alejandría presenta, por lo general, un bajo vigor, puesto que para otros cultivares que se encuentran en

el Valle del Itata, tales como Merlot, Syrah y Cabernet Sauvignon, se han reportado pesos de poda en un rango de 1000 a 1500 gramos (Hidalgo et al., 2017).

Índice de área foliar: El incremento del IAF ocurrido entre noviembre y diciembre reflejó el activo crecimiento vegetativo que ocurre en esta época, en donde se alcanzan las mayores tasas de crecimiento de hojas y brotes (Williams y Matthews, 1990). La atención de este parámetro después de envero es común de observar en vides bajo condiciones de estrés biótico o abiótico, en donde el crecimiento de sus órganos vegetativos cede lugar al crecimiento y maduración de las bayas (Pearce y Coombe, 2004).

4.3. Crecimiento reproductivo

El menor rendimiento y número de racimos por planta que presentó el tratamiento 3, se relacionó al menor número de yemas que se dejó debido a la mayor severidad de la poda. Mientras que en el tratamiento 1 y 2, al dejar un mayor número de yemas, se obtuvo un rendimiento por planta y un número de racimos superiores al del tratamiento 3.

En términos generales, el rendimiento y número de racimos por planta obtenidos según los distintos tratamientos de poda fueron mayores a los reportados anteriormente para vides Moscatel de Alejandría en condiciones similares, los cuales correspondieron a 3,78 kg y 14,7 racimos por planta, respectivamente (Puentes, 2019). Estos resultados confirman que las vides no se encontraban en una situación de estrés biótico o abiótico cercano a floración,

que es el momento en el cual se inducen las yemas de la vid, definiendo en este estado fenológico el número de racimos por planta (principal componente del rendimiento).

Por otro lado, respecto a la tendencia reportada cuando la poda fue más severa, para las variables de peso del racimo, peso de 100 bayas y número de bayas por racimo, esto se debe a la mejor relación fuente/sumidero que se obtiene cuando se deja una menor carga frutal en la planta (Frioni et al., 2019). Respecto a la relación fuente/sumidero, se plantea que se requieren de 0,8 a 1,2 m² de área foliar para producir 1 kg de fruta (Petrie et al., 2000). En este caso, los valores de área foliar utilizados para producir 1 kg de fruta en cada tratamiento, están cercanos a este estándar y fueron superiores a medida que la poda fue más severa.

4.4. Caracterización de las bayas

Las distintas severidades de poda no fueron capaces de inducir crecimientos vegetativos diferentes en las plantas o cambios microclimáticos de importancia para la acumulación de azúcares, y, por ende, la síntesis de los metabolitos primarios no fue afectada. Sin embargo, los metabolitos secundarios y las características físicas de las bayas si fueron afectadas por los tratamientos de poda.

Acidez total: En términos generales, la acidez total de las bayas fue inferior a la reportada anteriormente en vides de secano, la cual correspondió a 6,3 g L⁻¹ (expresada en ácido tartárico) (Zufferey et al., 2017). Esta menor acidez, se

habría generado producto de la degradación del ácido málico, la cual puede ocurrir cuando las temperaturas del aire son superiores a 35 °C (Moran et al., 2018).

Compuestos aromáticos volátiles: En relación al compuesto 2-Hexen-1-ol, (E)-, este pudo encontrarse en mayor concentración en las bayas del tratamiento 2, debido a un estrés radiativo-térmico. El 2-Hexen-1-ol, (E)- es un alcohol alílico primario que puede originarse en el proceso de desintoxicación de carbonilos reactivos en los cloroplastos (Yamauchi et al., 2011). Los carbonilos reactivos pueden formarse debido a la actividad de especies reactivas de oxígeno (ROS), las cuales se producen cuando las plantas están bajo estrés biótico o abiótico (Carvajal, 2019). Según los resultados de porcentaje de cobertura a distintas distancias desde el tronco de la planta, el tratamiento 2 presentó en diciembre (Etapa I de crecimiento de la baya) y también en las otras mediciones, la tendencia a poseer un porcentaje de cobertura menor en comparación con los demás tratamientos, por lo tanto, se podría afirmar que estaba mayormente estresado, puesto que las hojas y racimos estaban más expuestos a altos niveles de temperatura (Figuras 3 y 4, respectivamente) y radiación solar directa. Bajo esta situación, se produjo probablemente una mayor concentración de ROS, provocando una mayor necesidad de activar la vía de desintoxicación de carbonilos reactivos en los cloroplastos, generándose una mayor concentración del compuesto 2-Hexen-1-ol, (E)-.

Con relación a los niveles de exposición de racimos y hojas a la temperatura y radiación solar directa, Pascual et al. (2017) realizaron un estudio en vides Moscatel de Alejandría conducidas en cabeza, en el cual modificaron la exposición del racimo a través de distintas severidades de defoliación en la etapa de envero (enero). En este caso, encontraron un 40% más de compuestos aromáticos (linalol principalmente) en el tratamiento que presentaba los racimos más expuestos, por ende, los niveles de luz y temperatura a las cuales son expuestos los racimos son decisivas en la concentración de aromas de las bayas.

Se observó una relación lineal positiva entre el peso de poda y el área relativa de los aldehídos (*E*)-2-Hexenal y hexanal, a pesar de la falta de diferencias significativas entre tratamientos. Algunos trabajos han mostrado que la síntesis de aldehídos está ligada a las condiciones climáticas del viñedo. Por ejemplo, Ji y Dami (2008) reportaron una mayor concentración de aldehídos en bayas del cultivar Traminette, cuando este se encontraba en un clima frío (Kingsville, Ohio, U.S.A), lo cual dista de las condiciones ambientales del presente estudio. La síntesis de aldehídos en las bayas deriva de la ruta de síntesis de los ácidos grasos, los cuales tienen como origen la ruta del Acetil CoA (obtenido en el proceso de glucólisis). Estos pueden almacenarse en forma de triglicéridos, en donde luego mediante lipasas se liberan como distintos compuestos aromáticos volátiles, tales como: alcoholes, ésteres, aldehídos, cetonas, y ácidos. La liberación puede ocurrir por medio de la alfa-oxidación, beta-oxidación o lipo-

oxigenación, las dos primeras ocurren en plantas intactas y la última ocurre en plantas dañadas o con heridas (Adetunji et al., 2020). Se ha reportado que los aldehídos también pueden tener un rol importante en la defensa frente al ataque de patógenos que provocan heridas (Lucini et al., 2018). Esto explicaría que plantas más severamente podadas y con una mayor exposición al estrés abiótico generado por las condiciones ambientales del viñedo mostrasen mayores concentraciones de algunos aldehídos.

La fuerte correlación obtenida entre el área relativa total de aromas de las bayas y vinos *versus* la relación fuente/sumidero (Figuras 6 y 11, respectivamente) confirman que la modificación de la relación fuente/sumidero puede alterar la concentración de metabolitos secundarios, tal como ha sido previamente reportado por Alem et al. (2021) para los cultivares Syrah y Cabernet Sauvignon. En este caso, para incrementar la relación fuente/sumidero realizaron un aclareo de racimos en la etapa previa a la pinta, en donde el aumento de esta relación incrementó la relación entre metabolitos secundarios y primarios en el cultivar Syrah. Sin embargo, Lu et al. (2022) reportaron una mayor concentración de alcoholes, terpenos y norisoprenoides en bayas cuando la relación fuente/sumidero era menor, lo cual se atribuyó a un menor sombreado de los racimos. Estos resultados ponen en evidencia la importante interacción que juegan tanto las condiciones microclimáticas, como la relación fuente/sumidero en la síntesis de compuestos de importancia enológica.

La menor severidad de daño por golpe de sol encontrada en el tratamiento 2 se habría atribuido a un efecto de aclimatación generado por la mayor exposición de los racimos a la temperatura y radiación solar sobre las bayas en tamaño de arveja (diciembre). La exposición temprana de la fruta a los rayos solares podría aumentar la concentración de fenoles totales en las pieles de las bayas, provocando que estas sean más resistentes a la temperatura y a la radiación solar (López, 2008). En vides Sangiovese, se realizó una defoliación antes de floración y otra en la etapa de envero, reportando que la defoliación temprana provocó un mayor incremento en la expresión de genes relacionados con la síntesis de proteínas de choque térmico y la ruta fenilpropanoide, los cuales están involucrados en la respuesta de la planta frente al estrés (Pastore et al., 2013). Sin embargo, Chorti et al. (2010), reportaron una mayor severidad de daño por golpe de sol, cuando se realizaba una defoliación en la primera etapa de formación de la baya (37,5% de bayas dañadas).

Cabe señalar que, si bien existieron diferencias entre los tratamientos de poda, el porcentaje de daño por golpe de sol en todos los tratamientos es más alto que el reportado previamente en vides del cultivar Chardonnay, en donde se encontró un rango de incidencia entre 5% y 15% (Greer et al., 2006). Esta diferencia puede responder a condiciones climáticas y características que generan que las vides tengan un bajo vigor, y, por lo tanto, racimos más expuestos a la temperatura y radiación solar (Romboli et al., 2017).

Al aproximarse la cosecha de la fruta, plantas estresadas hídricamente de manera severa pueden exhibir un mayor porcentaje de fruta deshidratada debido a una defoliación temprana, especialmente si el viñedo está ubicado en una zona con alta radiación solar y temperatura del aire (Calderón-Orellana et al., 2014). En este contexto, fue sorprendente que el análisis de regresión mostrara que plantas con mayores potenciales hídricos del tallo exhibiesen mayores severidades de daño por golpe de sol. Sin embargo, esto se puede atribuir a una disminución en la tasa de transpiración de las vides defoliadas (Candolfi-Vasconcelos et al., 1994), lo que probablemente generó que los valores de potencial hídrico del tallo fueran mayores en el momento donde las bayas estuvieron más expuestas a la radiación solar y temperatura del aire. Además, una mayor severidad de golpe de sol se asoció con un incremento en la concentración de sólidos solubles, puesto que al degradarse la estructura cristalina de las ceras de la epicutícula de bayas afectadas por golpe de sol, aumenta la permeabilidad de esta, y, por lo tanto, la deshidratación de las mismas (Gambetta et al., 2021), provocando un incremento en la concentración de sólidos solubles. Adicionalmente, este efecto del golpe de sol en las ceras de la epicutícula, puede provocar la degradación de ácidos grasos, tales como el ácido octanoico, lo que explicaría la relación inversa existente entre este compuesto aromático volátil y el daño por golpe de sol.

4.5. Caracterización del vino

La ausencia de diferencias entre los tratamientos de poda para las variables conducentes a determinar las características químicas del vino, al igual que en el caso de las bayas, se deben a que las severidades de poda no fueron capaces de inducir crecimientos vegetativos diferentes en las plantas, y, por ende, la síntesis de los metabolitos primarios no fue afectada. Sin embargo, los metabolitos secundarios de las bayas si fueron afectados, lo que provocó que algunos aromas del vino si tuvieran diferencias. Respecto a esto, los metabolitos secundarios pueden ser más sensibles a leves cambios en el microclima del racimo provocados por la poda invernal, debido a que estos tienen como función principal intervenir en la interacción entre la planta y el ambiente, distinto a los metabolitos primarios, los cuales se involucran directamente en el desarrollo y crecimiento de las plantas (Adetunji et al., 2020). Respecto al análisis químico general del vino (grado alcohólico, azúcar residual, acidez total, pH y acidez volátil), este indica que cada parámetro está dentro de lo exigido en la ley de alcoholes de Chile N° 18.455 (SAG, 2015).

Compuestos aromáticos volátiles: Respecto a la formación de ésteres volátiles en las bayas, estos pueden derivar del metabolismo de los ácidos grasos y/o aminoácidos esenciales, mientras que en el vino los ésteres son producidos a través del metabolismo de las levaduras o como productos de reacciones de condensación (Maoz et al., 2018).

En cuanto al éster etílico del ácido decanoico, la concentración más baja presentada por el tratamiento 2, se puede vincular con el menor porcentaje de

cobertura de las vides en la primera etapa de crecimiento de la baya (diciembre), y también en las otras etapas donde existió la misma tendencia. En este caso, el menor porcentaje de cobertura generó una mayor exposición de los racimos y hojas a la temperatura y radiación solar, provocando que estas estuvieran bajo un estrés radiativo-térmico, con la consecuente formación de ROS, las cuales pueden causar la peroxidación de ácidos grasos (Meitha et al., 2020), afectando negativamente la concentración de ésteres que se pueden formar a través del metabolismo de los ácidos grasos en las bayas.

Respecto a los terpenos que fueron detectados en los vinos y no en las bayas, esto puede ser por la activación de la enzima β -glucosidasa, la cual libera los terpenos que se encuentran glicosilados (unidos), o por la síntesis de terpenos realizada directamente por las levaduras en la etapa de fermentación (Massera et al., 2021).

5. Conclusiones

Para las condiciones experimentales utilizadas en esta investigación, la realización de una poda más severa, aumentó la relación hoja-fruto, pero no modificó de manera consistente el microclima, el estado hídrico de las plantas, ni la fracción terpénica de las bayas o el vino. Sin embargo, sí existieron cambios en la severidad de daño por golpe de sol, pudiendo asociarse las distintas severidades del daño con la concentración de compuestos con descriptores aromáticos herbáceos y frutales.

Lo anterior permite afirmar que, aunque las distintas severidades de poda no provocaron grandes cambios en el microclima del racimo, sí fueron suficientes para inducir cambios en la síntesis de algunos compuestos aromáticos volátiles distintos a los terpenos, lo que igualmente puede ser positivo para la calidad de las bayas y el vino.

Referencias

1. Adetunji, C.O., Palai, S., Ekwuabu, C.P., Egbuna, C., Adetunji, J.B., Ehis-Eriakha, C.B., Kesh, S.S. and Mtewa, A.G. 2020. General principle of primary and secondary plant metabolites: Biogenesis, metabolism, and extraction. pp: 3-23. In: Egbuna, C., Mishra, A.P. and Goyal, M.R. (Eds.). Preparation of phytopharmaceuticals for the management of disorders. Elsevier Science. London, UK.
2. Alem, H., Torregrosa, L., Rigou, P., Schneider, R. and Ojeda, H. 2021. Effect of the plant sink/source balance on the metabolic content of the *Vitis vinifera* L. red grape. *European J. Agron.* 122: 1-11.
3. Baeza, P., Bartolomé, M.C., Sotés, V., Ruiz, C. and Lissarrague, J.R. 1999. Diferencias en la superficie foliar de cuatro sistemas de conducción de la vid y sus consecuencias en el desarrollo y la producción. *Investigación agraria: Producción y protección vegetales.* 14: 174-190.
4. Baker, N.R. 2008. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 89-113.

5. Black, C.A., Parker, M., Siebert, T.E., Capone, D.L. and Francis, I.L. 2015. Terpenoids and their role in wine flavor: recent advances. *Aust. J. Grape Wine Res.* 21: 582-600.
6. Blanke, M.M. and Leyhe, A. 1987. Stomatal activity of the grape berry cv. Riesling, Müller-Thurgau and Ehrenfelser. *J. Plant Physiol.* 127: 451-460.
7. Bordeu, E., Scarpa, J. 1998. Análisis químico del vino. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile, 253p.
8. Buesa, I., Pérez, D., Castel, J., Intrigliolo, D.S. and Castel, J.R. 2017. Effect of deficit irrigation on vine performance and grape composition of *Vitis vinifera* L.cv. Muscat of Alexandria. *Aust. J. Grape Wine Res.* 23(2): 251-259.
9. Calderón-Orellana, A., Mercenaro, L., Shackel, K.A., Willits, N. and Matthews, M.A. 2014. Responses of fruit uniformity to deficit irrigation and cluster thinning in commercial winegrape production. *Am. J. Enol. Vitic.* 65(3): 354-362.
10. Candolfi-Vasconcelos, M.C., Koblet, W., Howell, G.S. and Zweifel, W. 1994. Influence of defoliation, rootstock, training system, and leaf position on gas exchange of Pinot noir grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 45: 173-180.
11. Carvajal, C. 2019. Reactive oxygen species: Training, function and oxidative stress. *Med. Leg. Costa Rica.* 36(1): 91-100 [en línea].

12. Chorti, E., Guidoni, S., Ferrandino, A. and Novello, V. 2010. Effect of different cluster sunlight exposure levels on ripening and anthocyanin accumulation in Nebbiolo grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 61(1): 23-30.
13. Claret, M., Reyes, M. and Ruiz, C. 2020. Condiciones edafoclimáticas y productos enológicos en el Valle del Itata. Boletín N° 433. INIA Quilamapu. Chillán, Chile, 217p.
14. Freeman, M.R., Tassie, E. and Rebbechi, M.D. 1992. Training and trellising. pp: 42-65. In: Coombe, B. and Dry, P. (Eds.). *Viticulture volume 2: Practices.* Winetitles. Adelaide.
15. Friedel, M., Frotscher, J., Nitsch, M., Hofmann, M., Bogs, J., Stoll, M. and Dietrich, H. 2016. Light promotes expression of monoterpene and flavonol metabolic genes and enhances flavour of winegrape berries (*Vitis vinifera* L. cv. Riesling). *Aust. J. Grape Wine Res.* 22(3): 409-421.
16. Frioni, T., Acimovic, D., VanderWeide, J., Tombesi, S., Pallioti, A., Gatti, M., Poni, S. and Sabbatini, P. 2019. Whole-canopy source-sink balance at bloom dictates fruit set in cv. Pinot noir subjected to early leaf removal. *Am. J. Enol. Vitic.* 70(4): 411-419.
17. Gambetta, G.A., Herrera, J.C., Dayer, S., Feng, Q., Hochberg, U. and Castellarin, S.D. 2020. The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance. *J. Exp. Bot.* 71: 4658-4676.

18. Gambetta, J.M., Holzapfel, B.P., Stoll, M. and Friedel, M. 2021. Sunburn in grapes: A review. *Front. Plant Sci.* 11: 1-21.
19. Greer, D.H., Rogiers, S.Y. and Steel, C.C. 2006. Susceptibility of Chardonnay grapes to sunburn. *Vitis*. 45: 147-148.
20. Hidalgo, M., Henríquez, R., Merino, R., Chandía, A. and Serra, I. 2017. Effect of shoot orientation on vegetative growth, yield parameters and berry composition in grapevine (*Vitis vinifera* L.). In: Pinto, M. (Ed.). IX International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology. F. 21-26 april, 2013. International Society for Horticultural Science. Leuven, Belgium.
21. Ji, T. and Dami, I.E. 2008. Characterization of free flavor compounds in Traminette grape and their relationship to vineyard training system and location. *J. Food Sci.* 73(4): 262-267.
22. Keller, M. 2020. Environmental constraints and stress physiology. pp: 279-356. In: The science of grapevines. (3rd. ed.). Academic Press. London, UK.
23. Kriedemann, P.E. and Smart, R.E. 1971. Effects of irradiance, temperature, and leaf water potential on photosynthesis of vine leaves. *Photosynthetica*. 5: 6-15.
24. López, J.A. 2008. Efecto de distintos niveles de luminosidad sobre la composición fenólica y la expresión génica de enzimas de la ruta fenilpropanoide en bayas de var. Carménère. Tesis Ingeniera Agrónoma. Universidad de Chile. Santiago, Chile, 53p.

25. Lu, H.C., Hu, L., Liu, Y., Cheng, C.F., Chen, W., Li, S.D., He, F., Duan, C.Q. and Wang, J. 2022. Reducing the source/sink ratio of grapevine to face global warming in a semi-arid climate: Effects on volatile composition of Cabernet Sauvignon grapes and wines. *Food Chem.* 15: 1-12.
26. Lucini, L., Baccolo, G., Roupael, Y., Colla, G., Bavaresco, L. and Trevisan, M. 2018. Chitosan treatment elicited defence mechanisms, pentacyclic triterpenoids and stilbene accumulation in grape (*Vitis vinifera* L.) bunches. *Phytochemistry.* 156: 1-8.
27. Mao, Y., Chai, X., Zhong, M., Zhang, L., Zhao, P., Kang, Y., Guo, J. and Yang, X. 2022. Effects of nitrogen and magnesium nutrient on the plant growth, quality, photosynthetic characteristics, antioxidant metabolism, and endogenous hormone of Chinese kale (*Brassica albograda* Bailey). *Sci. Hortic.* 303: 1-8.
28. Maoz, I., Rikanati, R.D., Schlesinger, D., Bar, E., Gonda, I., Levin, E., Kaplunov, T., Sela, N., Lichter, A. and Lewinsohn, E. 2018. Concealed ester formation and amino acid metabolism to volatile compounds in table grape (*Vitis vinifera* L.) berries. *Plant Sci.* 274: 223-230.
29. Martínez-Moreno, A., Sanz, F., Yeves, A., Gil-Muñoz, R., Martínez, V., Intrigliolo, D.S. and Buesa, I. 2019. Forcing bud growth by doble-pruning as a technique to improve grape composition of *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo in a semi-arid Mediterranean climate. *Sci. Hortic.* 256: 1-9.

30. Massera, A., Assof, M., Sari, S., Ciklic, I., Mercado, L., Jofré, V. and Combina, M. 2021. Effect of low temperature fermentation on the yeast-derived volatile aroma composition and sensory profile in Merlot wines. *Food. Sci. Technol.* 142: 1-10.
31. McCutchan, H. and Shackel, K.A. 1992. Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). *J. Am. Soc. Hortic.* 117(4): 607-611.
32. Meitha, K., Pramesti, Y. and Suhandono, S. 2020. Reactive oxygen species and antioxidants in postharvest vegetables and fruits. *Int. J. Food Sci.* 1-11.
33. Moran, M., Petrie, P. and Sadras, V. 2018. Late pruning and elevated temperature impact on phenology, yield components and berry traits in Shiraz. *Am. J. Enol. Vitic.* 70: 9-18.
34. Morgan, S.C., Haggerty, J.J., Jiranek, V. and Durall, D.M. 2020. Competition between *Saccharomyces cerevisiae* and *Saccharomyces uvarum* in controlled Chardonnay wine fermentations. *Am. J. Enol. Vitic.* 71: 198-207.
35. O'Daniel, S.B., Archbold, D.D. and Kurtural, S.K. 2012. Effects of balanced pruning severity on Traminette (*Vitis* spp.) in a warm climate. *Am. J. Enol. Vitic.* 63(2): 284-290.
36. Pascual, G.A., Serra, I., Calderón-Orellana, A., Laurie, V.F. and López, M.D. 2017. Changes in concentration of volatile compounds in response to defoliation of Muscat of Alejandría grapevines grown under a traditional farming system. *Chilean Journal Agricultural Research.* 77(4): 373-381.

37. Pastore, C., Zenoni, S., Fasoli, M., Pezzotti, M., Tornielli, G.B. and Filippetti, I. 2013. Selective defoliation affects plant growth, fruit transcriptional ripening program and flavonoid metabolism in grapevine. *BMC Plant Biol.* 13(30): 1-16.
38. Pearce, I. and Coombe, B.G. 2004. Grapevine phenology. pp: 150-166. In: Dry, P. and Coombe, B.G. (Eds.). *Viticulture volume 1: Resources.* Winetitles. Adelaide.
39. Petrie, P.R., Trought, M.C.T. and Howell, G.S. 2000. Fruit composition and ripening of Pinot Noir (*Vitis vinifera* L.) in relation to leaf area. *Aust. J. Grape Wine Res.* 6(1): 46-51.
40. Pszczółkowski, P. and Ceppi, C. 2011. *Manual de vinificación: Guía práctica para la elaboración de vinos.* Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile, 123p.
41. Puentes, P. 2019. Aptitud del cultivo Moscatel de Alejandría del Valle del Itata para la producción comercial de uva de mesa. Memoria de Título, Ingeniero Agrónomo. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía. Chillán, Chile, 18p.
42. Ramos, M.C., Pérez-Álvarez, E.P., Peregrina, F. and Martínez de Toda, F. 2020. Relationships between grape composition of Tempranillo variety and available soil water and water stress under different weather conditions. *Sci. Hortic.* 262: 1-12.

43. Romboli, Y., Di Gennaro, S.F., Mangani, S., Buscioni, G., Matese, A., Genesio, L. and Vincenzini, M. 2017. Vine vigour modulates bunch microclimate and affects the composition of grape and wine flavonoids: an unmanned aerial vehicle approach in a Sangiovese vineyard in Tuscany. *Aust. J. Grape Wine Res.* 23(3): 368-377.
44. Rosenberg, N.J., Blad, B.L. and Verma, S.B. 1983. Microclimate: The biological environment. (2a. ed.). Jhon Wiley and Sons. USA.
45. Sadras, V.O., Montoro, A., Moran, M.A. and Aphalo, P.J. 2012. Elevated temperature altered the reaction norms of stomatal conductance in field-grown grapevine. *Agric. For. Meteorol.* 165: 35-42.
46. SAG. 2015. Ley N° 18.455 [en línea]. Santiago, Chile. <https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/ley_y_dec_78_dec_464_y_dec_521.pdf>. [Consulta: 09 febrero 2023].
47. SAG. 2021. Catastro vitícola nacional 2020 [en línea]. Santiago, Chile. <<https://hdl.handle.net/20.500.12650/71180>>. [Consulta: 31 enero 2023].
48. Sánchez-Llorente, P., Baeza, P. and Lissarrague, J.R. 2001. Sistemas de conducción del viñedo. *Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera.* 422-426.
49. Scholander, P.F., Hammel, H.T., Bradstreet, E.D. and Hemmingsen, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science.* 148: 339-346.
50. Serra, I., Castillo, P., Hidalgo, M., Fuentealba, O., Cerda, R. and Salazar, F. 2017. Itata Valley: how traditional farming and geomorphological

characteristics can become from a limiting factor to key factor in competitiveness. Fifth International Congress on Mountain and Steep Slope Viticulture. March 31 - April 01, 2017. Centre for Research, Environmental Sustainability and Advancement of Mountain Viticulture. Conegliano, Italy.

51. Stolpe, N. 2006. Descripciones de los principales suelos de la VIII región de Chile [en línea]. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía. <<https://hdl.handle.net/20.500.14001/56740>>. [Consulta: 09 febrero 2023].
52. Taylor, J.A., Acevedo-Opazo, C., Ojeda, H. and Tisseyre, B. 2010. Identification and significance of sources of spatial variation in grapevine water status. *Aust. J. Grape Wine Res.* 16: 218-226.
53. Ubeda, C., Gil i Cortiella, M., Villalobos-González, L., Gómez, C., Pastenes, C. and Peña-Neira, A. 2020. Ripening and Storage Time Effects on the Aromatic Profile of New Table Grape Cultivars in Chile. *Molecules.* 25(24): 5790.
54. Williams, L.E. and Baeza, P. 2007. Relationships among ambient temperature and vapor pressure deficit and leaf and stem water potentials of fully irrigated, field-grown grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 58(2): 173-181.
55. Williams, L.E. and Matthews, M.A. 1990. Grapevine. pp: 1019-1055. In: Stewart, B.A. and Nielsen, D.R. (Eds.). Irrigation of agricultural crops. American Society of Agronomy. USA.

56. Yamauchi, Y., Hasegawa, A., Taninaka, A., Mizutani, M. and Sugimoto, Y. 2011. NADPH-dependent reductases involved in the detoxification of reactive carbonyls in plants. *J. Biol. Chem.* 286(9): 6999-7009.
57. Zufferey, V., Spring, J.L., Verdenal, T., Dienes, A., Belcher, S., Lorenzini, F., Koestel, C., Rösti, J., Gindro, K., Spangenberg, J. and Viret, O. 2017. The influence of water stress on plant hydraulics, gas exchange, berry composition and quality of Pinot noir wines in Switzerland. *Vine and Wine.* 51(1): 37-57.

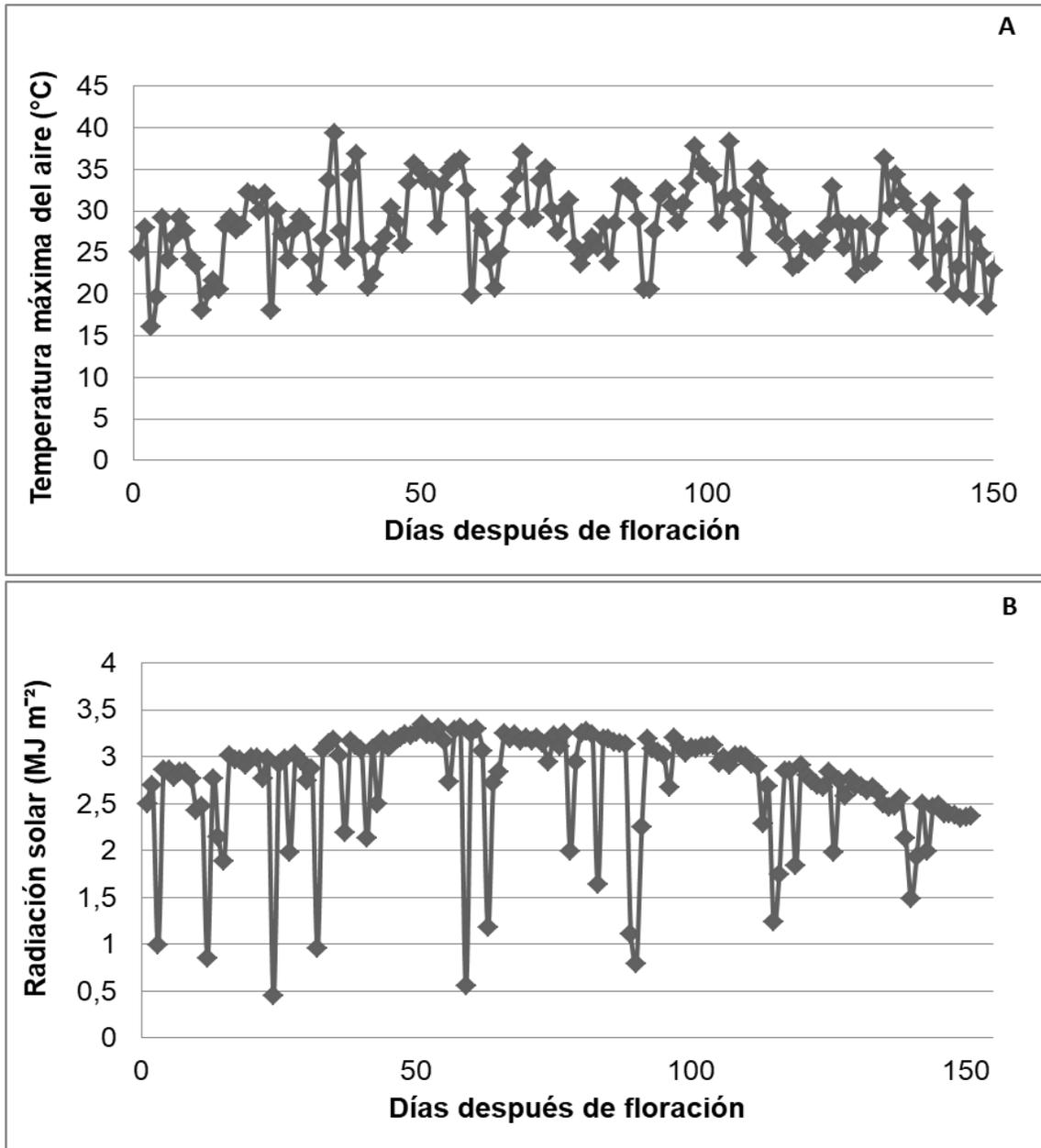
Figuras

Figura 1. Diseño de bloques completos aleatorizados empleados en el estudio (P₂₁: poda leve, P₁₆: poda media y P₁₂: poda severa).

Bloque 1				Bloque 2				Bloque 3			
P ₂₁	P ₂₁	P ₂₁	P ₂₁	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₆	P ₁₆	P ₁₆	P ₁₆
P ₂₁	P ₂₁	P ₂₁	P ₂₁	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₆	P ₁₆	P ₁₆	P ₁₆
P ₂₁	P ₂₁	P ₂₁	P ₂₁	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₆	P ₁₆	P ₁₆	P ₁₆
P ₁₆	P ₁₆	P ₁₆	P ₁₆	P ₂₁	P ₂₁	P ₂₁	P ₂₁	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₂
P ₁₆	P ₁₆	P ₁₆	P ₁₆	P ₂₁	P ₂₁	P ₂₁	P ₂₁	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₂
P ₁₆	P ₁₆	P ₁₆	P ₁₆	P ₂₁	P ₂₁	P ₂₁	P ₂₁	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₂
P ₁₂	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₆	P ₁₆	P ₁₆	P ₁₆	P ₂₁	P ₂₁	P ₂₁	P ₂₁
P ₁₂	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₆	P ₁₆	P ₁₆	P ₁₆	P ₂₁	P ₂₁	P ₂₁	P ₂₁
P ₁₂	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₂	P ₁₆	P ₁₆	P ₁₆	P ₁₆	P ₂₁	P ₂₁	P ₂₁	P ₂₁
H1	H2	H3	H4	H1	H2	H3	H4	H1	H2	H3	H4

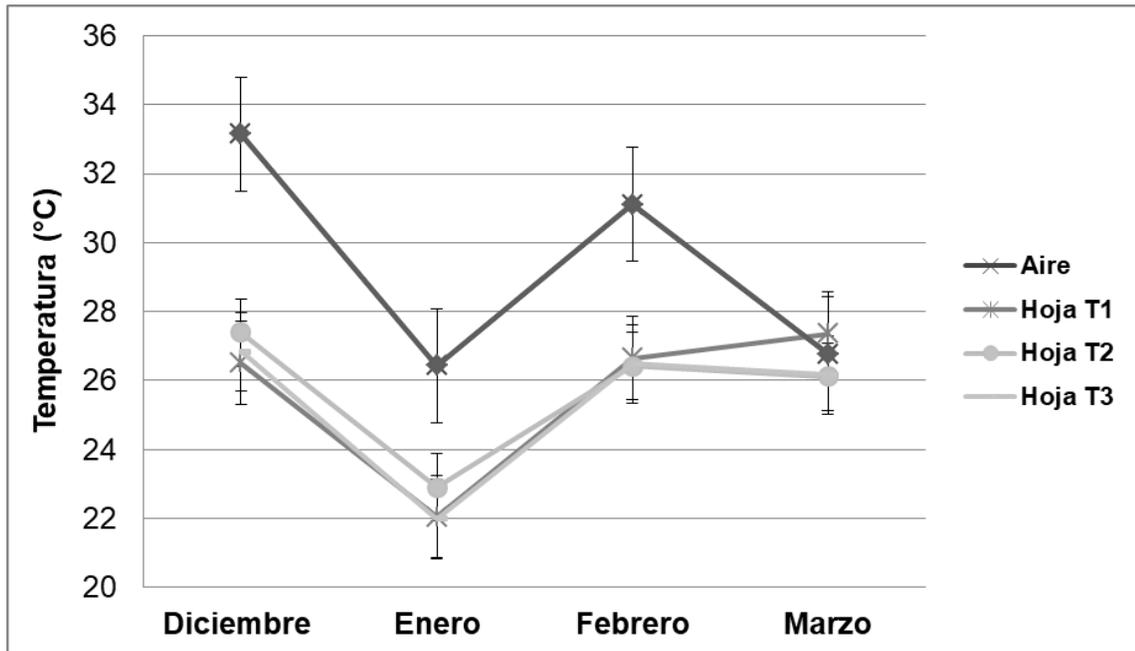
Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Temperatura máxima del aire (A) y radiación solar (B) registrada al mediodía (12:00-15:00 h) entre el 1 de noviembre de 2021 y el 31 de marzo de 2022 en la estación agrometeorológica Nueva Aldea, Región de Ñuble.



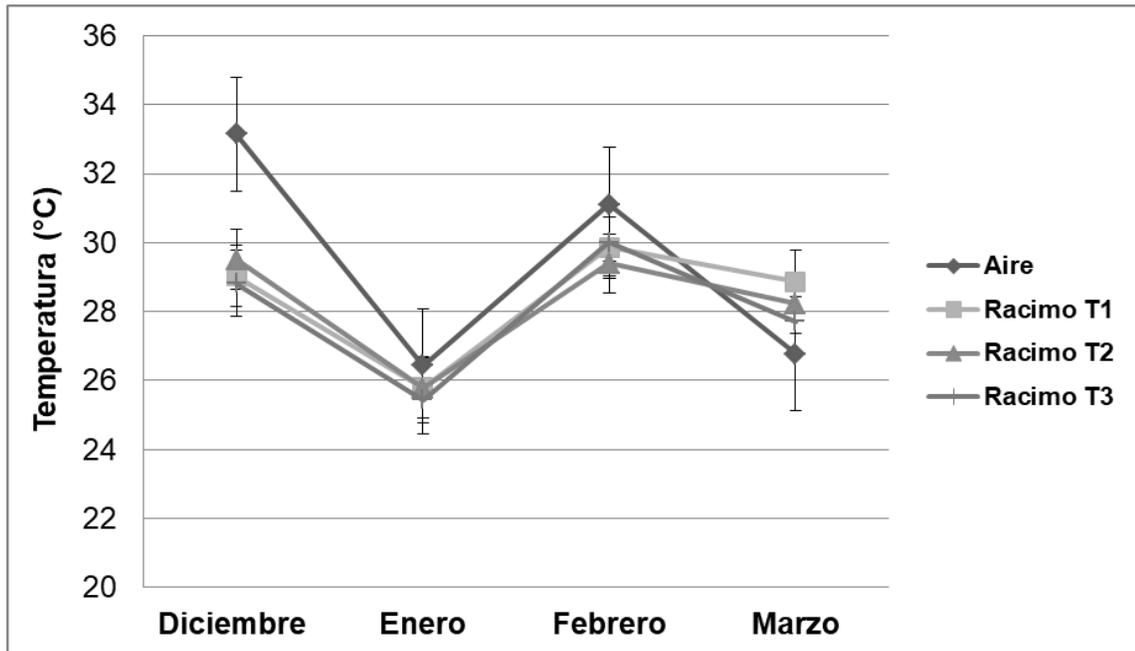
Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Temperatura del aire y de la hoja de cada tratamiento (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa) en cada etapa de medición.



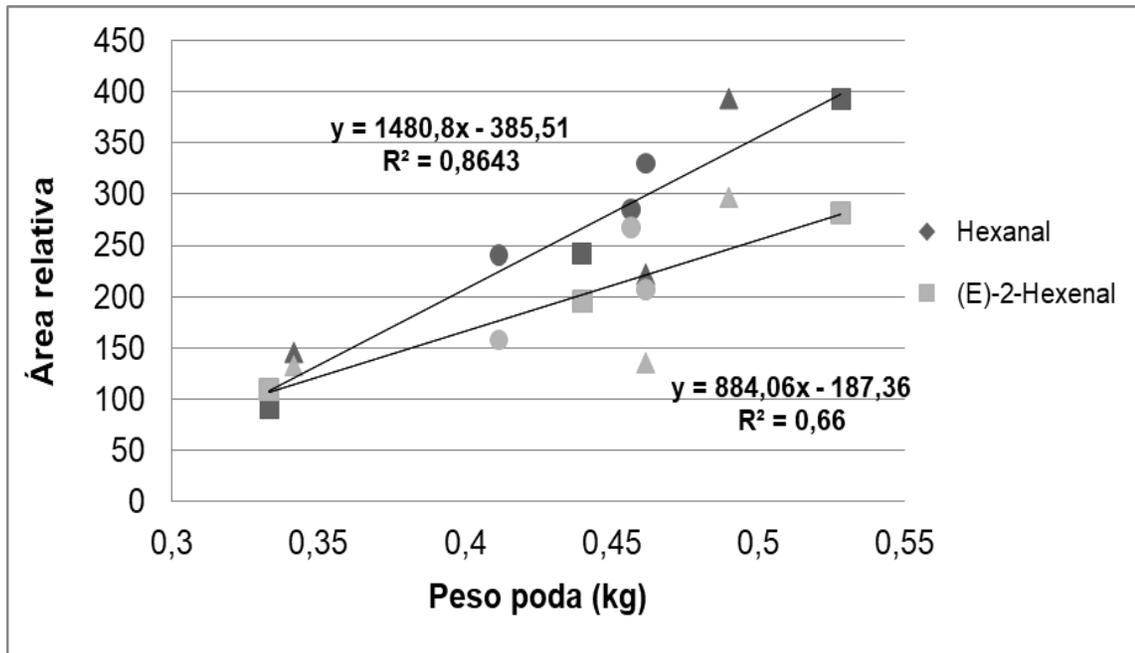
Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Temperatura del aire y del racimo de cada tratamiento (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa) en cada etapa de medición.



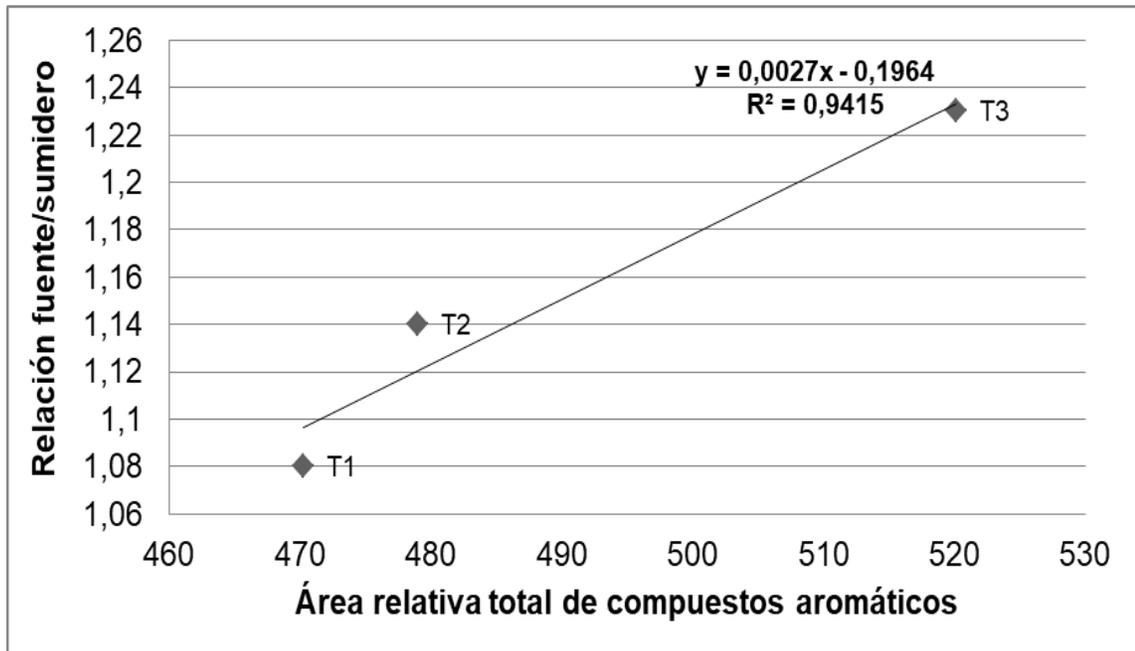
Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Correlación entre el peso de poda y la concentración de hexanal y (E)-2-Hexenal estimada a través del área relativa en relación al patrón interno (T1: poda leve ▲, T2: poda media ■ y T3: poda severa ●).



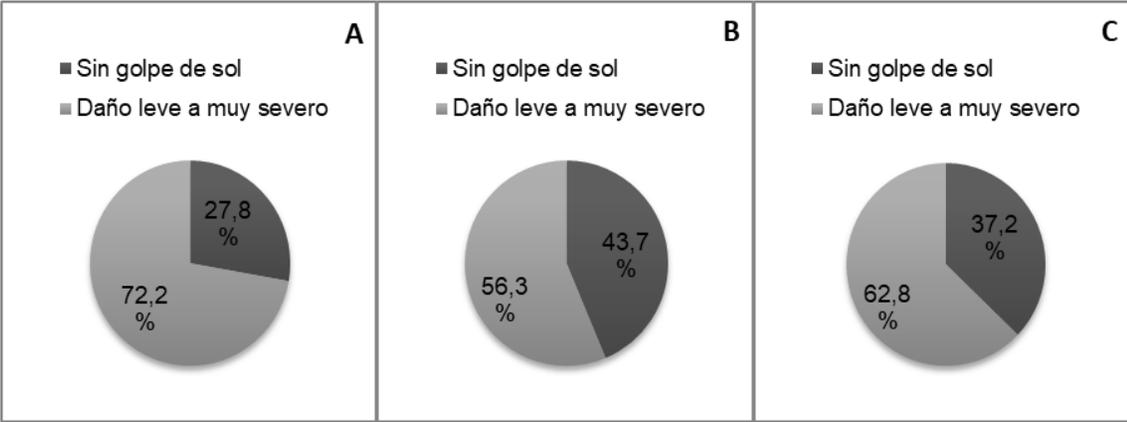
Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Correlación entre la concentración total de aromas en las bayas estimada a través del área relativa total obtenida en cada tratamiento y la relación fuente/sumidero (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa).



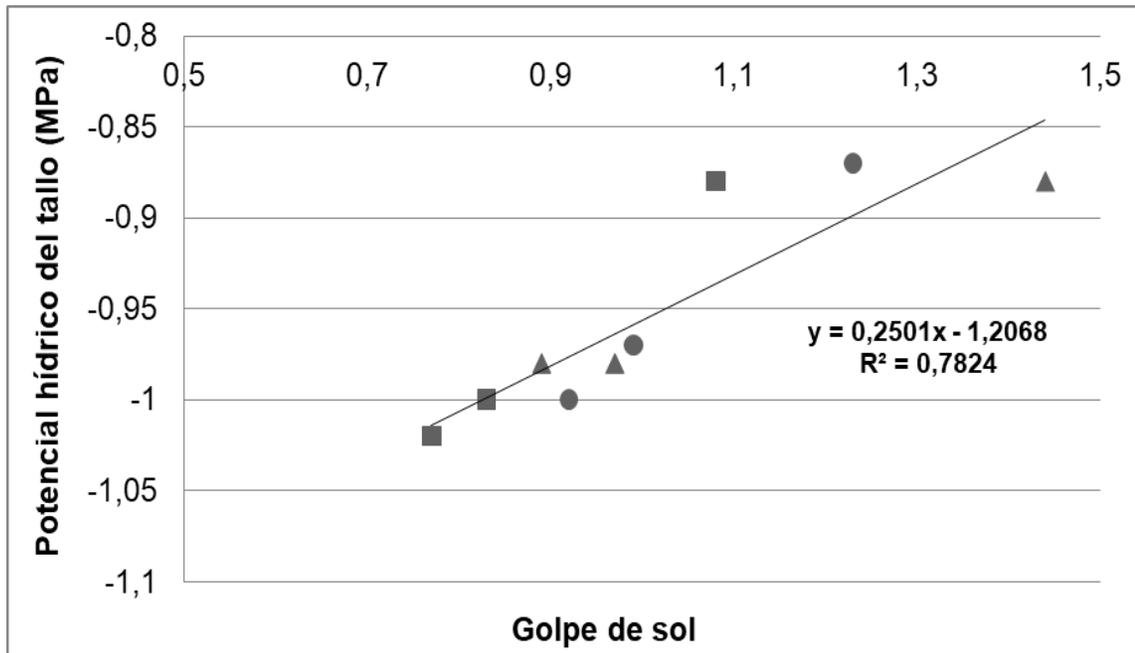
Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Porcentaje de bayas sanas y con daño por golpe de sol desde leve a muy severo, según los tratamientos de poda 1 (A), 2 (B) y 3 (C).



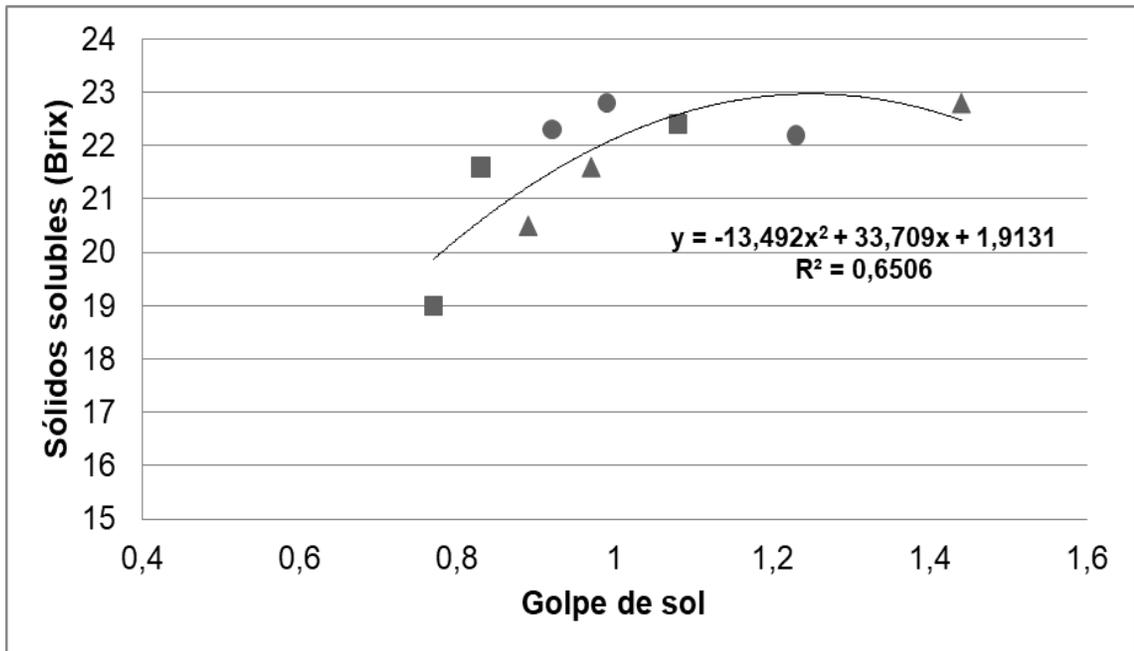
Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Correlación entre la severidad de daño por golpe de sol y el potencial hídrico del tallo obtenido en el mes de marzo (T1: poda leve ▲, T2: poda media ■ y T3: poda severa ●).



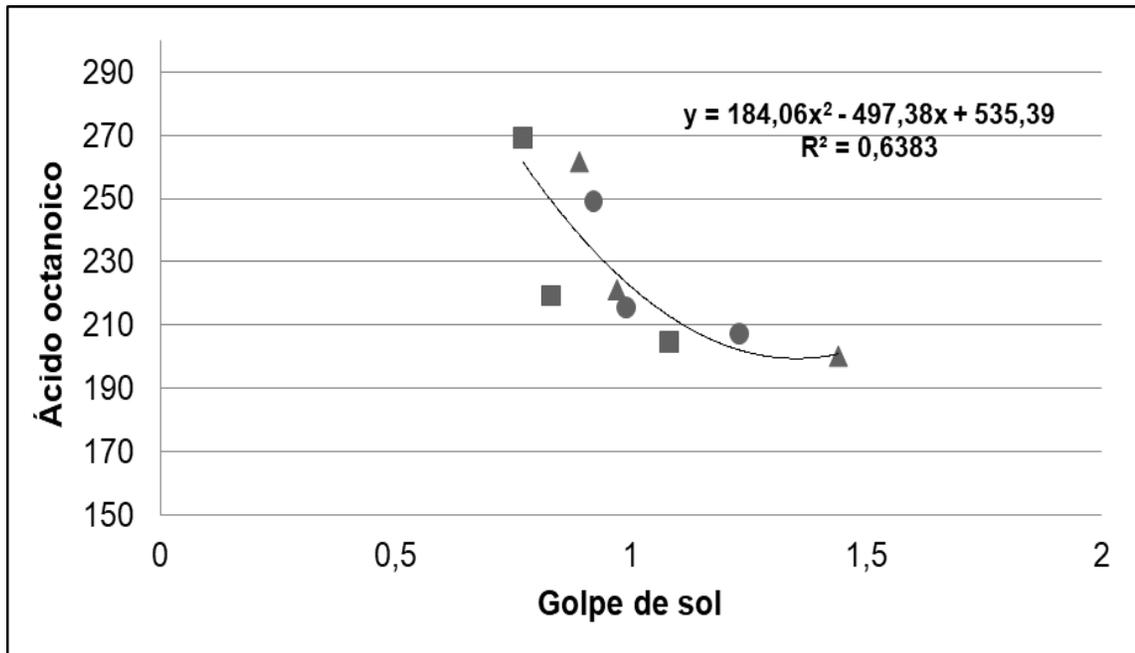
Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Correlación entre la severidad de daño por golpe de sol y la concentración de sólidos solubles (Brix) de las bayas (T1: poda leve ▲, T2: poda media ■ y T3: poda severa ●).



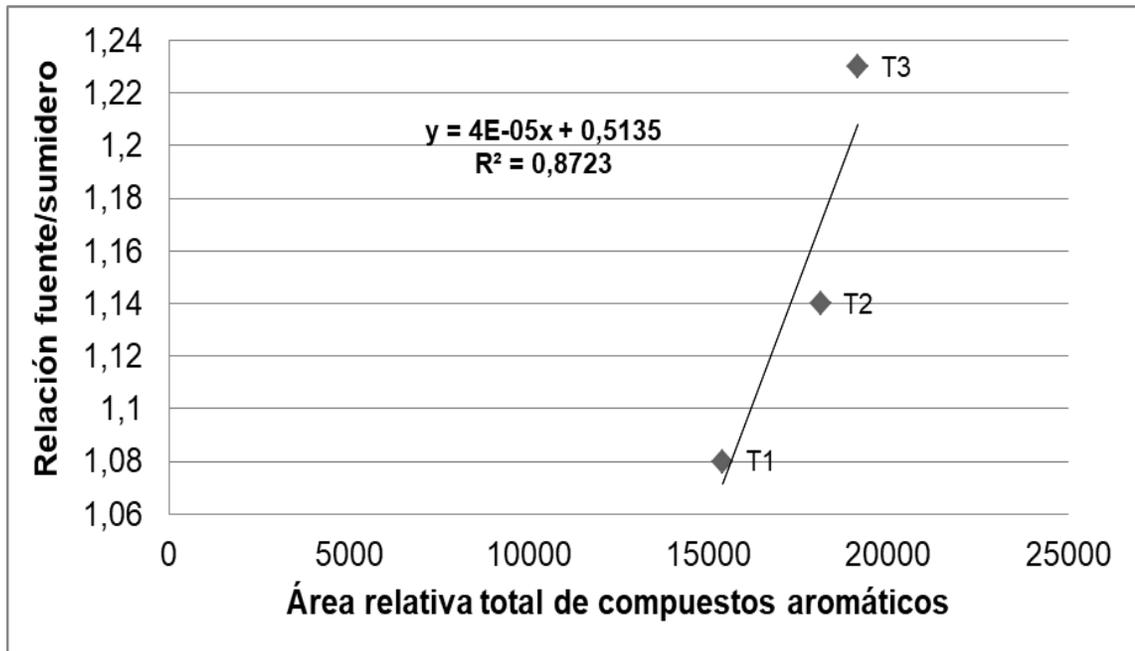
Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Correlación entre la severidad de daño por golpe de sol y la concentración de ácido octanoico estimada a través del área relativa en relación al patrón interno (T1: poda leve ▲, T2: poda media ■ y T3: poda severa ●).



Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Correlación entre la concentración total de aromas en los vinos estimada a través del área relativa total obtenida en cada tratamiento y la relación fuente/sumidero (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa).



Fuente: Elaboración propia

Tablas

Tabla 1. Datos de cada variable fisiológica y microclimática para cada tratamiento en las etapas de medición (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa).

Variable	Noviembre			Diciembre			Enero			Febrero			Marzo		
	Tratamiento														
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Potencial hídrico del tallo (MPa)	-0,40 a	-0,36 a	-0,39 a	-0,51 a	-0,53 a	-0,52 a	-0,58 a	-0,53 a	-0,59 a	-0,93 a	-0,93 a	-0,94 a	-0,95 a	-0,97 a	-0,94 a
Potencial hídrico del tallo óptimo (MPa)		-0,38			-0,49			-0,40			-0,45			-0,37	
Conductancia estomática de las hojas ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	-	-	-	557,86 a	530,28 a	529,42 a	-	-	-	319,33 a	278,48 a	266,84 a	345,71 a	351,41 a	329,78 a
Eficiencia del fotosistema II (relación Fv/Fm)	0,63 a	0,60 a	0,62 a	0,68 a	0,63 a	0,63 a	0,60 a	0,59 a	0,60 a	0,50 a	0,43 a	0,44 a	0,67 a	0,53 a	0,50 a
Índice de área foliar (IAF)	2,49 a	2,66 a	2,05 a	4,52 a	3,92 a	4,58 a	4,49 a	4,75 a	4,36 a	3,88 a	3,79 a	4,34 a	4,07 a	4,35 a	3,84 a
Temperatura del aire (°C)	27,27 a	26,53 a	24,53 a	33,73 a	32,70 a	33,03 a	26,50 a	27,43 a	25,37 a	31 a	31,17 a	31,17 a	26,87 a	27,17 a	26,27 a
Humedad relativa del aire (%)	33,83 a	33,30 a	37,23 a	23,87 a	26,70 a	24,90 a	25,70 a	26,47 a	29,80 a	27,77 a	28,83 a	27,80 a	33,27 a	34,40 a	34,03 a
Temperatura de la hoja (°C)	-	-	-	26,51 a	27,4 a	26,84 a	22,05 a	22,9 a	22 a	26,65 a	26,42 a	26,49 a	27,35 a	26,12 a	26,165 a
Temperatura del racimo (°C)	-	-	-	29,02 a	29,51 a	28,82 a	25,8 a	25,77 a	25,43 a	29,86 a	29,39 a	30 a	28,88 a	28,23 a	27,715 a
Cobertura 0 cm (%)	-	-	-	80,01 a	83,76 a	84,99 a	88,56 a	80,54 a	87,01 a	71,88 a	68,36 a	79,80 a	85,25 a	85,41 a	81,68 a
Cobertura 37,5 cm (%)	-	-	-	63,04 a	48,04 b	56,41 ab	65,71 a	59,31 a	70,01 a	70,34 a	55,98 a	71,56 a	72 a	79,19 a	85,05 a
Cobertura 75 cm (%)	-	-	-	33,41 a	28,35 a	29,36 a	38,39 a	34,17 a	52,85 a	32,90 a	25,90 a	37,21 a	34,06 a	46,03 a	42,91 a

Letras diferentes indican diferencias significativas entre columnas al 95% de nivel de confianza (LSD).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Pesos de poda de los tratamientos empleados en el estudio (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa).

Variable	Tratamiento		
	T1	T2	T3
Peso de poda (gr)	421,39 a	448,06 a	472,50 a

Letras diferentes indican diferencias significativas entre columnas al 95% de nivel de confianza (LSD).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Datos obtenidos en la cosecha para cada tratamiento empleado en el estudio (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa).

Variable	Tratamiento		
	T1	T2	T3
Rendimiento planta (kg)	5,80 a	5,83 a	4,69 b
Número de racimos por planta	48,72 a	46,22 a	37,44 b
Número de bayas por racimo	62,83 a	64,21 a	65,52 a
Peso del racimo (gr)	156,67 a	147,67 a	165,67 a
Peso de 100 bayas (gr)	248,33 a	233,33 a	253,33 a
Relación fuente/sumidero (m ² hoja kg ⁻¹)	1,08 a	1,14 a	1,23 a

Letras diferentes indican diferencias significativas entre columnas al 95% de nivel de confianza (LSD).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Datos obtenidos del análisis químico de las bayas para cada tratamiento (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa).

Variable	Tratamiento		
	T1	T2	T3
Sólidos solubles (Brix)	21,63 a	21 a	22,43 a
Acidez (gr L ⁻¹)	1,63 a	1,81 a	1,73 a
pH	3,66 a	3,61 a	3,67 a

Letras diferentes indican diferencias significativas entre columnas al 95% de nivel de confianza (LSD).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Compuestos aromáticos volátiles identificados en bayas del cultivar Moscatel de Alejandría, expresados en área relativa al patrón interno (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa).

Compuestos volátiles	Descriptor	Tratamiento		
		T1	T2	T3
<i>Alcoholes</i>				
2-Hexen-1-ol, (E)-	Verde / Hoja / Nuez	6,43 b	14,51 a	5,48 b
<i>Aldehídos</i>				
(E)-2-Hexenal	Verde / Hoja	188,50 a	195,35 a	210,73 a
Hexanal	Césped / Sebo / Grasa	253,72 a	241,87 a	285,28 a
<i>Compuesto organosilícico</i>				
Octametil ciclotetrasiloxano		16,75 a	21,72 a	14,13 a
<i>Hidrocarburos</i>				
Bis(trimetilsiloxi)etano, p-(Trimetilsiloxifenil)		4,88 a	5,55 a	4,20 a

Letras diferentes indican diferencias significativas entre columnas al 95% de nivel de confianza (LSD).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Datos de la caracterización física de las bayas para cada tratamiento (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa).

Variable	Tratamiento		
	T1	T2	T3
Golpe de sol	1,10 a	0,89 b	1,05 a
Hue	74,85 a	77,09 a	76,81 a

Letras diferentes indican diferencias significativas entre columnas, según análisis de varianza no paramétrico de Friedman.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Datos obtenidos del análisis químico del vino para cada tratamiento (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa).

Variable	Tratamiento		
	T1	T2	T3
Grado alcohólico	13,9 a	13,8 a	13,9 a
Azúcar residual (gr L ⁻¹)	1,87 a	1,84 a	1,86 a
Acidez (gr L ⁻¹)	3,73 a	3,72 a	3,69 a
pH	3,35 a	3,34 a	3,42 a
Acidez volátil (gr L ⁻¹)	0,35 a	0,34 a	0,33 a

Letras diferentes indican diferencias significativas entre columnas al 95% de nivel de confianza (LSD).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Compuestos aromáticos volátiles identificados en vinos del cultivar Moscatel de Alejandría, expresados en área relativa al patrón interno (T1: poda leve, T2: poda media y T3: poda severa).

Compuestos volátiles	Descriptor	Tratamiento		
		T1	T2	T3
<i>Acidez volátil</i>				
Ácido acético	Ácido / Picante	63,24 a	54,71 a	72,22 a
<i>Ácidos grasos</i>				
Ácido hexanoico	Queso / Graso	71,13 a	839,18 a	69,32 a
Ácido octanoico	Graso / Rancio	227,67 a	231,09 a	224,04 a
<i>Alcoholes (fusel)</i>				
3-metil, 1-butanol	Medicina / Brandy	2844,88 a	2728,83 a	2509,50 a
Acetato, 3-metilo, 1-butanol	Afrutado / Plátano	473,62 a	441,02 a	500,47 a
1-heptanol	Mohoso / Picante / Verde / Afrutado / Manzana	18,91 a	15,68 a	16,16 a
3-metil, 1-pentanol	Afrutado / Verde	14,05 a	12,06 a	14,79 a
2,3-butanodiol	Afrutado / Mantequilla	26,65 a	19,17 a	28,24 a
<i>Aldehídos</i>				
4-O-metil manosa		40,15 a	35,50 a	45,93 a
<i>Cetonas</i>				
2,6-dimetil, 4-heptanona	Dulce / Afrutado	19,80 a	8,43 a	9,36 a
<i>Compuesto organosilícico</i>				
Octametil ciclotetrasiloxano		10,18 a	10,84 a	10,58 a
<i>Ésteres</i>				
Éster de hexilo del ácido acético	Verde / afrutado / dulce / graso / fresco / manzana / pera	37,55 a	35,78 a	37,19 a
Éster etílico del ácido butanoico	Dulce / Afrutado	76,92 a	67,27 a	78,23 a
Éster etílico del ácido 3-metil butanoico	Dulce / afrutado / ananá / verde	5,22 a	5,46 a	5,52 a
Éster etílico del ácido decanoico	Afrutado / graso	1745,03 a	1403,90 b	1759,42 a
Éster etílico del ácido dodecanoico	Dulce / Floral / Jabonoso	86,08 a	96,28 a	101,76 a
Acetato de etilo	Afrutado	1385,36 a	1425,24 a	1529,29 a
Éster etílico del ácido heptanoico	Afrutado / Ananá / Plátano / Coñac / Verde	29,35 a	25,23 a	31,01 a
Éster etílico del ácido hexanoico	Dulce / Afrutado / Ananá / Ceroso / Graso / Verde /	770,43 a	1047,57 a	1201,72 a
8-metil-nonanonato de metilo		5,44 a	4,57 a	5,83 a
Éster etílico del ácido nonanoico	Afrutado / Rosas / Tropical	26,87 a	22,85 a	27,03 a
Éter monododecílico del octaetilenglicol		106,60 a	28,34 a	30,77 a
Éster etílico del ácido octanoico	Afrutado / Ceroso / Dulce / Mohoso / Ananá / Lácteo	1127,07 a	2791,31 a	3246,20 a
Éster dietil bis(trimetilsilil) del ácido silícico		3,55 a	12,17 a	93,69 a
<i>Hidrocarburos</i>				
Hexano, 1-(metoximetoxi)-7,7,9,9,11,11-Hexametil-		37,18 a	14,26 a	35,98 a
3,6,8,10,12,15-hexaoxa-7,9,11-trisilaheptadecano		14,54 a	20,61 a	13,62 a
<i>Terpenos</i>				
3,7-dimetil-1,6-octadien-3-ol (linalol)	Floral / Frutal / Cítrico	16,75 a	22,98 a	22,84 a
3,7-dimetil-2-octen-1-ol (geraniol)	Verde / Hoja	19,59 a	20,35 a	20,98 a

Letras diferentes indican diferencias significativas entre columnas al 95% de nivel de confianza (LSD).

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN GENERAL

El daño por golpe de sol informado en la identificación del problema (~ 40%) y luego en los diferentes tratamientos de poda invernal (> 50%), son superiores al reportado previamente en Australia (5-15%), para bayas del cultivar Chardonnay por Greer et al. (2006). Esta alta severidad de daño por golpe de sol identificada en bayas de vides Moscatel de Alejandría en el Valle del Itata, pueden ser consecuencia de la combinación de condiciones climáticas y características de las vides (sistema de conducción, condición de secano, edad de las plantas, manejo cultural, entre otros). Respecto a las condiciones climáticas, altos niveles de temperatura (≥ 30 °C) y radiación solar ($> 2,7 \text{ MJ m}^{-2}\text{h}^{-1}$) inducen el daño por golpe de sol en las bayas (Rustioni et al., 2014), por lo tanto, la alta severidad de daño por golpe de sol encontrada en ambos trabajos, responde a las condiciones climáticas presentadas en los sitios donde se efectuó el estudio, puesto que en ambos casos existieron periodos con la temperatura y nivel de radiación solar mencionada. Adicionalmente, las vides utilizadas en ambos estudios, debido a sus características, poseen un bajo vigor, lo que se refleja en el peso de poda obtenido en los tratamientos de poda, el cual es inferior (~ 70% menor) al reportado para otros cultivares del Valle del Itata (Hidalgo et al., 2017). Este bajo vigor, puede inducir que los racimos estén más expuestos a la temperatura y radiación solar (Romboli et al., 2017). Generando que la condición sea aún más óptima para que los racimos presenten este tipo de daño.

Respecto a la relación entre la severidad de daño por golpe de sol y la concentración de sólidos solubles (Brix) de las bayas, según los diferentes tratamientos de poda, nuevamente se mostró como tendencia, que mientras mayor era la severidad de daño por golpe de sol, mayor fue la concentración de sólidos solubles en las bayas. En este caso, se ha sugerido que bayas con daño por golpe de sol presentan pérdida de la estructura cristalina de las ceras de la epicutícula, lo que también aumenta la permeabilidad y deshidratación de estas (Bondada y Keller, 2012), provocando un incremento en la concentración de sólidos solubles. Sin embargo, cabe señalar que este incremento es solo hasta cierta concentración de sólidos solubles, puesto que el análisis de regresión realizado previamente, donde se incluye el parámetro “hue”, muestra que luego de que la tonalidad disminuye por debajo de 70 (es decir, daño más severo), no existe un incremento en sólidos solubles.

Respecto a los aromas, en ambos trabajos estos fueron afectados por la severidad de daño por golpe de sol, puesto que en la identificación del problema, las bayas mayormente dañadas por golpe de sol tenían una mayor concentración de linalol, mientras que luego, según los diferentes tratamientos de poda, los vinos elaborados con bayas mayormente dañadas tenían una mayor concentración de éster etílico del ácido decanoico. Esta diferencia en los compuestos aromáticos, se origina en respuesta a las condiciones ambientales que ocasionan el daño por golpe de sol. El monoterpeno linalol posee función termoprotectora y antioxidante (Jourbet et al., 2016), por lo que se ha reportado

en mayor concentración cuando el microclima del racimo se modifica, dejando las bayas más expuestas a la temperatura y radiación solar (Pascual et al., 2017). Respecto al éster etílico del ácido decanoico, el estrés radiativo-térmico bajo el cual se genera el daño por golpe de sol, pudo haber provocado alguna modificación en el metabolismo de ácidos grasos y/o aminoácidos en las bayas, que luego se reflejaron en la mayor concentración de este compuesto aromático en los vinos. El estrés abiótico, también genera una señal sobre el ácido abscísico, el cual está involucrado en la síntesis de algunos aminoácidos (Ferrandino y Lovisolo, 2014), lo cual pudo influir en la mayor concentración del éster etílico del ácido decanoico.

En relación al rendimiento, este en ambos trabajos fue superior al reportado previamente para vides conducidas en cabeza (Baeza et al. 1999), lo cual permite indicar que las plantas, en ambos casos, no estaban bajo un estrés abiótico severo. Consecuentemente, esto se puede evidenciar con los resultados de potencial hídrico del tallo de los distintos tratamientos de poda, donde las vides solo alcanzaron un nivel de estrés hídrico moderado al finalizar la temporada (Ψ_{tallo} : -1,0 MPa).

CONCLUSIONES GENERALES

El alto porcentaje de bayas con presencia de daño por golpe de sol identificado en vides Moscatel de Alejandría del Valle del Itata, resaltan su vulnerabilidad frente a este tipo de daño, y la necesidad de un manejo técnico que permita

disminuir el porcentaje de bayas gravemente dañadas. Esto es aún más relevante, si se consideran las proyecciones de cambio climático, que por lo general, indican un incremento en la temperatura del aire y presencia de eventos climáticos extremos como la sequía. En este contexto, la poda invernal fue capaz de inducir diferentes severidades de daño por golpe de sol en las bayas, afectando también la composición aromática de estas, lo que permite afirmar que dependiendo de la severidad de daño por golpe de sol que sea evaluada, pueden existir también efectos positivos en el perfil aromático de las bayas y posteriormente en la calidad del vino.

REFERENCIAS

1. Baeza, P., Bartolomé, M.C., Sotés, V., Ruiz, C. and Lissarrague, J.R. 1999. Diferencias en la superficie foliar de cuatro sistemas de conducción de la vid y sus consecuencias en el desarrollo y la producción. *Investigación agraria: Producción y protección vegetales*. 14: 174-190.
2. Bondada, B.R. and Keller, M. 2012. Not all shrivels are created equal- morpho-anatomical and compositional characteristics differ among different shrivel types that develop during ripening of grape (*Vitis vinifera* L.) berries. *Am. J. Enol. Vitic.* 3: 879-898.
3. Ferrandino, A. and Lovisolo, C. 2014. Abiotic stress effects on grapevine (*Vitis vinifera* L.): Focus on abscisic acid-mediated consequences on secondary metabolism and berry quality. *Environ. Exp. Bot.* 103: 138-147.

4. Greer, D.H., Rogiers, S.Y. and Steel, C.C. 2006. Susceptibility of Chardonnay grapes to sunburn. *Vitis*. 45(3): 147-148.
5. Hidalgo, M., Henríquez, R., Merino, R., Chandía, A. and Serra, I. 2017. Effect of shoot orientation on vegetative growth, yield parameters and berry composition in grapevine (*Vitis vinifera* L.). In Proceedings for the IX International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology. Pinto M. (ed.), pp. 11-16. La Serena, Chile.
6. Joubert, C., Young, P.R., Eyéghé-Bickong, H.A. and Vivier, M.A. 2016. Field-grown grapevine berries use carotenoids and the associated xanthophyll cycles to acclimate to UV exposure differentially in high and low light (shade) conditions. *Front. Plant Sci.* 7: 1-17.
7. Pascual, G.A., Serra, I., Calderón-Orellana, A., Laurie, V.F. and López, M.D. 2017. Changes in concentration of volatile compounds in response to defoliation of Muscat of Alexandria grapevines grown under a traditional farming system. *Chil. J. Agric. Res.* 77(4): 373-381.
8. Romboli, Y., Di Gennaro, S.F., Mangani, S., Buscioni, G., Matese, A., Genesio, L. and Vincenzini, M. 2017. Vine vigour modulates bunch microclimate and affects the composition of grape and wine flavonoids: an unmanned aerial vehicle approach in a Sangiovese vineyard in Tuscany. *Aust. J. Grape Wine Res.* 23(3): 368-377.

9. Rustioni, L., Rocchi, L., Guffanti, E., Cola, G. and Failla, O. 2014. Characterization of grape (*Vitis vinifera* L.) berry sunburn symptoms by reflectance. *J. Agric. Food Chem.* 62(14): 3043-3046.