



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Estudio de la interacción ambiente-planta y técnicas de cultivo sobre el rendimiento, la composición y sanidad de uvas Tannat (*Vitis vinifera* L.)

Leandro Arrillaga López

Maestría en Ciencias Agrarias
Opción Ciencias Vegetales

Agosto 2021

Tesis aprobada por el tribunal integrado por el Ing.Agr. PhD. Eduardo Abreo, Ing.Agr.(PhD) Gustavo González Neves y Lic.Biol.(PhD). José Manuel Miras Ávalos el 23 de agosto de 2021. Autor: Ing.Agr. Leandro Arrillaga López. Director: Ing.Agr. Dr. Gerardo Echeverría. Co-directora: Lic.Biol. Dra. Sandra Lupo.

AGRADECIMIENTOS

A mis directores de tesis Gerardo Echeverría y Sandra Lupo por la dirección de este trabajo, las correcciones realizadas, las críticas constructivas, las diferentes instancias de intercambio.

Al tribunal conformado por Eduardo Abreo, José Manuel Miras-Ávalos y Gustavo González Neves por acceder a revisar esta tesis, agradezco además las críticas constructivas y sugerencias, las cuales han servido para mejorar el trabajo.

A Milka Ferrer por compartir su conocimiento conmigo durante todos estos años, las críticas constructivas y su capacidad para motivarme constantemente.

A mis compañeros de viticultura Gustavo Pereyra, Julia Salvarrey por su colaboración las instancias de trabajo de campo, análisis de laboratorio y los valiosos consejos ofrecidos a lo largo de estos años.

A la Facultad de Agronomía por la posibilidad de formarme en esta casa de estudios y las facilidades brindadas.

A la comisión académica de posgrado por otorgarme una beca para la finalización de mis estudios de posgrado.

A todo equipo de Enología de Facultad de Agronomía: Gustavo González, Diego Piccardo y Guzmán Favre por las facilidades brindadas para realizar análisis en su laboratorio, las sugerencias realizadas y por la buena disposición para colaborar en todo momento.

A Sandra Lupo y a todo el equipo de micología de Facultad de Ciencias, por permitirme trabajar en su laboratorio, sus invaluable aportes durante mi trabajo, agradecer además su hospitalidad y las facilidades brindadas.

Al todo el personal de la EFFAS en Salto y en particular a Beatriz Vignale por permitirnos trabajar en el laboratorio de citricultura durante los días de trabajo en Salto.

A las empresas vitivinícolas H. Stagnari y Establecimiento Juanicó por permitirnos instalar los ensayos en sus viñedos comerciales. Especialmente agradecer a Santiago Baladao y Darío Porcal por las facilidades brindadas y las distintas colaboraciones realizadas.

A todo el equipo de la UPEP por su buena disposición en todo momento.

A mis padres y a mi hermano por el invaluable apoyo y la contención brindada durante esta etapa.

TABLA DE CONTENIDOS

	página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN	X
SUMMARY	XI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. CONTEXTO DEL MERCADO MUNDIAL DE VINOS.....	6
1.1.1. <u>Cambios en las preferencias del consumidor</u>	8
1.2. CICLO VEGETATIVO-REPRODUCTIVO DE LA VID.....	9
1.2.1. <u>Componentes estructurales y composición físico-química de la baya</u>	13
1.2.1.1. Agua.....	14
1.2.1.2. Sólidos solubles.....	14
1.2.1.3. Ácidos y pH.....	15
1.2.1.4. Nitrógeno fácilmente asimilable (NFA).....	17
1.2.1.5. Compuestos fenólicos.....	18
1.3. FACTORES DEL AMBIENTE Y SU INFLUENCIA SOBRE LA VID.....	21
1.3.1. <u>Macroclima</u>	25
1.3.1.1. Delimitación macroclimática del Uruguay.....	26
1.3.1.2. Antecedentes de estudios de la respuesta agronómica de Tannat según regiones vitícolas del Uruguay.....	30
1.3.2. <u>Efecto año</u>	30
1.3.3. <u>Microclima</u>	31
1.4. GESTION DE LA CANOPIA.....	33
1.4.1. <u>Deshojado</u>	34
1.4.1.1. Deshojados tradicionales.....	35
1.4.1.2. Deshojado en prefloración.....	37
1.4.2. <u>Raleo de racimos</u>	40
1.5. MICROBIOTA DE LA UVA.....	42
1.5.1 <u>Importancia de las podredumbres de racimo</u>	44

1.5.2. <u>Podredumbre gris</u>	45
1.5.2.1. Ciclo de la enfermedad.....	47
1.5.2.2. Condiciones pre disponentes.....	49
1.5.2.3. Impacto sobre la uva y el vino.....	50
1.5.2.4. Estrategias de control.....	52
1.5.3. <u>Podredumbre ácida</u>	55
1.5.3.1 Condiciones pre disponentes.....	56
1.5.3.2. Impacto sobre el mosto y el vino.....	57
1.5.3.3. Estrategias de control.....	58
1.5.4 <u>Otras podredumbres de racimos</u>	58
2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	62
2.1. DISEÑO EXPERIMENTAL Y CARACTERÍSTICAS DE LOS EXPERIMENTOS.....	62
2.2. DATOS METEOROLÓGICOS.....	64
2.3. EVALUACIONES EN PLANTA.....	66
2.3.1. <u>Seguimiento fenológico</u>	66
2.3.2. <u>Estado hídrico</u>	66
2.3.2.1. Potencial hídrico.....	66
2.3.2.2. Discriminación isotópica del carbono.....	66
2.3.3. <u>Caracterización de la canopia</u>	67
2.3.4. <u>Peso de poda y peso del sarmiento</u>	69
2.3.5. <u>Componentes del rendimiento y compacidad de los racimos</u>	69
2.3.6. <u>Indicadores fisiológicos</u>	70
2.3.7. <u>Seguimiento de la maduración</u>	70
2.3.7.1 Composición fenólica.....	71
2.3.7.2. Contenido ácidos orgánicos.....	72
2.3.7.3. Nitrógeno fácilmente asimilable.....	72
2.3.7.4. Componentes estructurales de la baya.....	73
2.4. EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SANITARIA DE LA VENDIMIA.....	73
2.4.1. <u>Análisis de restos vegetales</u>	73

2.4.2. <u>Identificación de hongos en flores y uva asintomática</u>	74
2.4.3. <u>Incidencia y severidad de las podredumbres</u>	75
2.4.4. <u>Análisis de ácido glucónico y glicerol</u>	75
2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	76
3. <u>RESULTADOS</u>	78
3.1. CONDICIONES METEOROLÓGICAS.....	78
3.2. RESPUESTA DE LA PLANTA.....	82
3.2.1. <u>Fenología del cultivo según sitio</u>	82
3.2.2. <u>Estado hídrico</u>	83
3.2.2.1. Efecto sitio y temporada.....	83
3.2.2.1. Efecto de los tratamientos.....	84
3.2.3. <u>Crecimiento vegetativo</u>	86
3.2.3.1. Efecto sitio.....	86
3.2.3.2. Efecto de los tratamientos.....	86
3.2.4. <u>Microclima de la canopia</u>	89
3.2.4.1. Efecto sitio.....	89
3.2.4.2. Efecto de los tratamientos.....	91
3.2.4.3. Intercepción de radiación.....	94
3.2.5. <u>Componentes de rendimiento</u>	95
3.2.5.1 Efecto sitio.....	95
3.2.5.2. Efecto de los tratamientos.....	96
3.2.6. <u>Efecto de los tratamientos sobre los indicadores fisiológicos</u>	97
3.3. COMPOSICIÓN DE LA BAYA.....	99
3.3.1. <u>Evolución del peso de la baya</u>	99
3.3.2. <u>Concentración de sólidos solubles y acumulación por baya</u>	101
3.3.3. <u>Evolución del pH y la acidez</u>	103
3.3.3.1 Composición de la acidez.....	105
3.3.4. <u>Nitrógeno fácilmente asimilable (NFA)</u>	107
3.3.5. <u>Metabolitos secundarios</u>	109
3.3.6. <u>Componentes estructurales de la baya</u>	111
3.4. RELACIÓN ENTRE COMPOSICIÓN Y CLIMA.....	113

3.5. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	114
3.6. ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN SITIO-TRATAMIENTO Y LA CONTRIBUCIÓN RELATIVA DE CADA FACTOR SOBRE LAS VARIABLES AGRONÓMICAS.....	116
3.6.1. <u>Crecimiento vegetativo y estructura de la canopia</u>	116
3.6.2. <u>Componentes del rendimiento</u>	118
3.6.3. <u>Peso de poda e indicadores fisiológicos</u>	122
3.6.4. <u>Composición de la uva</u>	124
3.6.4.1. Metabolismo primario.....	124
3.6.4.2. Metabolismo secundario: antocianos.....	127
3.7. CONDICION SANITARIA DE LA VENDIMIA.....	129
3.7.1. <u>Hongos filamentosos en restos vegetales</u>	129
3.7.2. <u>Géneros de hongos en flores</u>	130
3.7.2.1. Según sitio.....	130
3.7.2.2. Según tratamiento.....	131
3.7.3. <u>Géneros de hongos identificados en uva:</u>	132
3.7.3.1 Según sitio.....	133
3.7.3.2. Según tratamiento.....	133
3.7.4. <u>Análisis de uva en cosecha</u>	134
3.7.5. <u>Incidencia y severidad de las podredumbres según sitio</u>	135
3.7.6. <u>Efecto de los tratamientos sobre la incidencia y severidad de las podredumbres</u>	136
3.7.7. <u>Metabolitos de origen microbiano según sitio</u>	137
3.7.8. <u>Metabolitos de origen microbiano según tratamiento</u>	138
3.7.9. <u>Características de los racimos y su relación con la incidencia de podredumbres</u>	139
4. <u>DISCUSIÓN</u>	141
4.1. CARACTERISTICAS DE CADA REGIÓN Y EFECTO AÑO.....	141
4.2. RESPUESTA DE LAS VARIABLES AGRONÓMICAS A LAS PRÁCTICAS DE MANEJO.....	142
4.2.1. <u>Crecimiento vegetativo y microclima de la canopia</u>	142

4.2.2. <u>Componentes del rendimiento</u>	144
4.2.3. <u>Balance fuente fosa</u>	146
4.2.4. <u>Composición de la uva</u>	147
4.2.4.1. Metabolitos primarios.....	147
4.2.4.2. Metabolitos secundarios: antocianos.....	150
4.2.4.3. Componentes estructurales de la baya.....	152
4.3. <u>CONDICIÓN SANITARIA DE LA VENDIMIA</u>	153
4.4. <u>SINTESIS</u>	156
5. <u>CONCLUSIONES</u>	159
6. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	161
7. <u>ANEXOS</u>	199
7.1. <u>ARTÍCULO PUBLICADO</u>	199
7.2. <u>PRECIPITACIONES ACUMUALDAS EN AMBOS SITIOS DE ESTUDIOS</u> <u>DURANTE EL PERÍODO 1976-2016 (primavera-verano)</u>	215
7.3. <u>TABLAS DE ANÁLISIS FACTORIAL PERTENECIENTES A LA SECCIÓN 3.6.</u>	217
7.4. <u>FOTOGRAFÍAS</u>	222

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la adaptabilidad de las prácticas de manejo según el ambiente vitícola, dos experimentos semejantes fueron instalados en dos regiones agroclimáticamente contrastantes del Uruguay (Salto y Canelones). Durante dos temporadas se evaluó la respuesta de la planta a tres prácticas de manejo en cada ambiente: 1) deshojado pre floración (DPF), 2) deshoje leve entre cuajado y cierre de racimos (TC) y 3) raleo manual de racimos en envero con deshoje entre cuajado y cierre de racimos (RM). Los resultados estuvieron condicionados por el efecto año. La primera temporada fue seca y cálida, en tanto la segunda temporada fue fresca y húmeda. El macroclima de la región impuso diferencias en el ciclo fenológico del cultivo y afectó la composición de la uva. El efecto de los tratamientos sobre el rendimiento fue el esperado. En promedio el RM provocó el mayor descenso del rendimiento (39 %) respecto al TC, seguido DPF (>24 %). La mejora sobre la composición de la uva fue relativa a cada situación de cultivo. Bajo situaciones de altos rendimientos el RM promovió el equilibrio vegetativo/productivo de las plantas lo cual se tradujo en una aceleración de la maduración y/o mejora de algunos atributos enológicos, como la concentración de azúcares y el potencial antociánico. En Canelones, durante la primera temporada el DPF provocó una disminución del potencial antociánico, mientras que en la segunda temporada incrementó la concentración de azúcares y el potencial antociánico del mosto. La presencia de infecciones latentes de *Botrytis cinerea* se dio exclusivamente en Canelones. La aplicación del DPF no fue capaz de modificar la abundancia relativa de los distintos géneros de hongos en relación al TC. La incidencia y severidad de podredumbres fue mayor en Salto respecto a Canelones, en ambos sitios el DPF fue la práctica más eficaz en reducir ambas variables a causa de racimo más laxos y mejor exposición de los mismos. El RM obtuvo los mayores registros de incidencia asociado a racimos más compactos. La respuesta de la planta a las intervenciones fue altamente dependiente de las condiciones de la temporada y el equilibrio fisiológico de las plantas. No es posible la recomendación de una práctica concreta para un sitio u otro. En un año con condiciones predisponentes para la incidencia de podredumbres el DPF se presenta como una herramienta sumamente eficaz para mejorar la sanidad, promoviendo un aumento de algunos atributos vinculados a la composición de la uva independientemente del sitio.

Palabras clave: gestión de la canopia, macroclima, efecto año, podredumbres de racimos

**Study of environment-plant interaction and cultivation techniques on yield,
composition and health of Tannat grapes**

SUMMARY

In order to evaluate the adaptability of canopy management (CM) practices according to the viticultural environment, two similar experiments were set up in two agroclimatic-contrasting regions of Uruguay (Salto and Canelones). During two seasons, plant response to three CM practices was evaluated in each environment: 1) pre-flowering leaf removal (DPF), 2) leaf removal between fruit set and bunch closure (TC), and 3) manual thinning of clusters at veraison with leaf removal between fruit-set and bunch closure (RM). The year effect conditioned the obtained results. The first season was dry and warm, while the second season was cooler and wetter. The macroclimate of the region imposed differences on vine phenological development and affected grape composition. The effect of the treatments on yield was as expected. On average, RM caused the greatest decrease in yield (39 %) compared to TC, followed by DPF (>24 %). The improvement on grape composition was related to each growing situation. Under situations of high yields, RM promoted a vegetative/productive balance that resulted in an acceleration of ripening and/or improvement of some oenological attributes such as sugar concentration and anthocyanin potential. In Canelones, the DPF caused a decrease in anthocyanin potential during first season, while in the second season it increased the sugar concentration and anthocyanin potential of the must. The presence of latent infections of *Botrytis cinerea* occurred exclusively in Canelones. The application of DPF was not able to modify the relative abundance of the different fungal genera in relation to the TC. The incidence and severity of rot was higher in Salto than in Canelones. In both sites, the DPF was the most effective practice in reducing both variables due to less compacted bunches and better sun exposure. Meanwhile, RM obtained the highest incidence records associated by highly compacted bunches. Plant response to the interventions was highly dependent on seasonal conditions and vine physiological balance. It is not possible to recommend a specific practice for one site or another. In a year with predisposing conditions for rot incidence, the DPF is a highly effective tool to improve the sanitary status of grape and promote an increase in some attributes linked to grape composition regardless of the site.

Keywords: canopy management, year effect, macroclimate, bunch rot

1. INTRODUCCIÓN

En Uruguay, la viticultura se desarrolla sobre un total de 6114 hectáreas, lo cual equivale al 0,03 % de la superficie del país. A pesar de ocupar un bajo porcentaje del total de la superficie del país, la actividad vitivinícola representa un rubro de importancia desde el punto de vista socio-económico y cultural. El sector vitivinícola nuclea 837 empresas y 1277 productores según registros de INAVI (2019). El principal destino de la uva es la vinificación (97 %) y un bajo porcentaje (3 %) se comercializa en fresco, casi exclusivamente en el mercado interno. La mayor superficie del área de viñedos se encuentra concentrada en las regiones sur, sur-oeste y sur-este del Uruguay, principalmente en los departamentos de Montevideo, Canelones, San José y Maldonado. No obstante, existen emprendimientos vitivinícolas en 15 de los 19 departamentos que conforman nuestro territorio (INAVI, 2019).

Las uvas tintas son las de mayor contribución al total de la producción (76 %) en comparación con las uvas blancas (24 %). El principal cultivar implantado es Tannat, el cual representa un 27,3 % del total de la superficie vitícola, seguida por Moscatel de Hamburgo (18 %), Merlot (11,6 %), Ugni Blanc (10,4 %) y Cabernet Sauvignon (6,4%). El principal sistema de conducción utilizado es la espaldera, representando el 67,9 % del total de viñedos, le sigue la lira 25,1 %, mientras que otros sistemas como el parral y tresbolillo representan apenas el 7,1 %. El principal porta-injerto utilizado es el SO4, estando el 63,1 % de las vides injertadas sobre él (INAVI, 2019).

La viticultura comercial en Uruguay data de 1870 con la introducción de las variedades Tannat y Folle Noire por los inmigrantes Pascual Harriague y Francisco Videla. Desde ese entonces hasta la actualidad la viticultura en Uruguay ha experimentado diversos cambios estructurales (Bregante, 2003).

En la década del 1990 y atravesando una coyuntura regional de apertura comercial definida por la creación del MERCOSUR en 1991, el gobierno nacional promulga en 1993 el decreto 78/993 en el marco del primer plan de reconversión vitivinícola impulsado y promovido por el Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. El cometido principal de dicho plan era mejorar la calidad de la producción y contribuir a la generación de competitividad del producto nacional en el mercado interno y la región. Durante este período se promueve la sustitución de variedades de bajo potencial enológico por variedades de origen europeo. Debido al escaso

volumen relativo de vino producido por Uruguay a escala regional, la utilización de la estrategia varietal surgía como una alternativa auspiciosa para la diferenciación del producto nacional y mejorar la competitividad sectorial. Desde la academia fue propuesta la utilización de la variedad Tannat (“Harriague”) como un símbolo de la viticultura nacional, por considerarse uno de los cultivares con mejor adaptación a las condiciones productivas del país (Ferrer *et al.*, 1995). Como se adelantó en párrafos previos, en la actualidad Tannat es el cultivar más representativo en cuanto a superficie y contribución a la producción total. Es una variedad de productividad media a alta con un rendimiento promedio de 14.593 kg/ha (INAVI, 2019). En las condiciones edafoclimáticas de Uruguay expresa su potencial enológico, caracterizado por una alta capacidad de acumulación de azúcares, taninos, antocianos y niveles de acidez moderados, aunque presenta baja extractabilidad de antocianos en comparación con otros cultivares tradicionales como Merlot y Cabernet-Sauvignon (González-Neves, 2005). Adicionalmente, presenta alta susceptibilidad a las podredumbres a causa de sus racimos compactos (Ferrer *et al.*, 2011b).

En viticultura, el clima es el factor que más condiciona la respuesta de la planta en términos de rendimiento, vigor y composición de la uva (Deloire *et al.*, 2005). Dentro de las escalas climáticas, el macroclima define la aptitud de una región para el cultivo de la vid. Ferrer (2007) delimitó 6 regiones climáticas en Uruguay en base al sistema de clasificación multicriterio (Tonietto y Carbonneau, 2004). Posteriores trabajos han puesto de manifiesto la respuesta agronómica diferencial del cultivar Tannat en diferentes regiones, lo cual se traduce en diferencias en términos de composición de la uva (Ferrer *et al.*, 2011a, Echeverría, 2010).

Como base de cualquier estrategia de promoción de la competitividad sectorial, la asociación de la uva con su lugar de origen y la trazabilidad del producto constituyen dos factores claves a tener en cuenta. Los cambios en las características de la demanda de vino a nivel internacional obligan a adaptarse a las nuevas exigencias del consumidor, dentro de la cuales resaltan la calidad del producto, la trazabilidad y la valoración por el bajo impacto ambiental de los procesos productivos (Forbes *et al.*, 2009, Gullino y Kuijpers 1994).

Algunos escenarios respecto al cambio climático prevén un incremento de la frecuencia de las precipitaciones primavera-estivales (Giménez *et al.*, 2009), lo cual representa un posible aumento de los problemas fitosanitarios como es el caso del mildiu causado por *Plasmopara viticola* y la incidencia de podredumbres de racimos, en particular la podredumbre gris causada

por *Botrytis cinerea* y la podredumbre ácida (causada por un complejo de microorganismos, Barata *et al.*, 2012b). Estas últimas, representan al día de hoy una limitante mayor en nuestras condiciones productivas. En este sentido, tanto la cantidad como la calidad de la uva pueden verse seriamente afectadas, confiriendo aptitudes enológicas negativas a la materia prima y consecuentemente al producto final derivado, el vino (Ribéreau-Gayon 1982, Steel *et al.*, 2013).

La variabilidad de la micobiota epífita y endófito de la uva puede estar condicionada por distintos factores. Las variaciones en relación a la región son consideradas como uno de los factores más importantes (Arnold y Lutzoni, 2007). Por tanto, el conocimiento de la micobiota de la uva asociada a cada región permitiría racionalizar y optimizar las estrategias de control para mitigar la incidencia de podredumbres. Tradicionalmente el manejo de estas enfermedades se realiza utilizando un combinado de prácticas culturales con aplicaciones preventivas de fungicidas (Gubler *et al.*, 1991, Gubler *et al.*, 1987). Frente al incremento de las restricciones en cuanto al uso de principios activos, el impacto ambiental negativo del uso de plaguicidas en general y a la percepción negativa del consumidor sobre este tema, se hace necesaria la búsqueda de nuevas alternativas de control de bajo impacto ambiental (Forbes *et al.*, 2009).

En regiones vitícolas de clima templado y húmedo, el manejo de la canopia, representa una herramienta de gestión necesaria e indiscutible para asegurar estándares de producción adecuados. La implantación de variedades libres de virus, los cambios tecnológicos introducidos desde la revolución verde como la fertilización nitrogenada, la adopción de sistemas de conducción en planos verticales, son algunos de los factores que han promovido, según la oferta ambiental, situaciones de excesivo vigor, lo cual en algunos casos resulta en situaciones de desequilibrio vegetativo-productivo comprometiendo la calidad de la materia prima y la posibilidad de generar un producto de calidad estable a lo largo del tiempo (Ferrer, 2007).

Las técnicas de cultivo basadas en la regulación de la relación fuente-fosa son tradicionalmente utilizadas por los viticultores de diferentes regiones del mundo, incluido Uruguay, como un mecanismo de adaptación a la oferta ambiental (Fourment *et al.*, 2020, Clingeleffer 2010). Prácticas como la poda, el desbrotado, el desfeminado, el deshoje y el raleo de racimos son herramientas clásicas de manejo vitícola (Carbonneau y Torregrosa, 2020). Estas modifican el equilibrio vegetativo-productivo, alteran el funcionamiento fotosintético de la planta, las relaciones nutricionales e hídricas, la formación y partición de reservas, el microclima

de la canopia y modifican consecuentemente la composición de la uva (Medrano *et al.*, 2007, Hunter 2000, Candolfi-Vasconcelos *et al.*, 1994, Smart y Robinson 1991).

El raleo manual de racimos con deshoje entre cuajado y cierre de racimos (RM) es una práctica ampliamente utilizada con este fin por los viticultores de diversas regiones del mundo, incluido Uruguay. Diversos estudios a nivel internacional y local, demuestran la eficacia de esta práctica de manejo sobre la mejora de algunos atributos de calidad de la uva y el vino (Guidoni *et al.*, 2008, González-Neves y Ferrer 2008, Ferrer y González-Neves 2002). Como desventajas, esta práctica suele ser costosa, con una ventana de aplicación reducida y su ejecución no siempre se traduce en una mejora sustancial de la calidad de la materia prima (Keller *et al.*, 2005, Fanzone *et al.*, 2011, Frioni *et al.*, 2017).

El deshojado pre floración (DPF) ha surgido como una alternativa al raleo manual de racimos (Poni *et al.*, 2006). Esta práctica permite gestionar el rendimiento, reducir la incidencia de podredumbres de racimos en variedades susceptibles y mejorar algunos atributos enológicos (VanderWeide *et al.*, 2021). Estas características posicionan esta práctica como una alternativa interesante para nuestras condiciones de producción.

Es conocido que la ejecución de estas prácticas de manejo es altamente dependiente del clima (Frioni *et al.*, 2017, Clingeleffer 2010). Con base en la regionalización climática realizada por Ferrer (2007) y a los antecedentes respecto a la respuesta agronómica diferencial del cultivar Tannat en dichas regiones, este trabajo se propone evaluar la respuesta de la planta a la ejecución de diferentes prácticas de manejo de la relación fuente-fosa en dos zonas bioclimáticas de Uruguay. El conocimiento de la respuesta de la planta en diferentes ambientes a este tipo de intervenciones permitiría racionalizar el uso de los recursos productivos, implementando las prácticas que mejor se adapten a cada situación.

La hipótesis que ha servido para guiar esta investigación es que la respuesta de la planta a la aplicación de diferentes técnicas de regulación fuente-fosa varía de acuerdo a las características macroclimáticas de la región, por tanto, alguna de las prácticas de manejo evaluadas será más efectivas en un sitio que en otro.

En virtud de lo expuesto, el objetivo principal del trabajo es conocer la respuesta agronómica de la variedad Tannat (*Vitis vinifera* L.) en dos zonas vitícolas bioclimáticamente contrastantes del Uruguay, sometida a la aplicación de tres prácticas de manejo: deshojado pre floración (DPF), deshoje leve entre cuajado y cierre de racimos (TC), y raleo de racimos con deshoje leve en cuajado (RM). Adicionalmente, la información recabada a partir de este trabajo permitirá integrar información de 4 años de estudio acerca del efecto del deshojado en pre floración sobre la respuesta agronómica del cultivar Tannat en la región sur del Uruguay.

Como objetivos específicos se propone:

- Caracterizar el efecto de las prácticas de cultivo en cada situación ambiental sobre los componentes del rendimiento, el crecimiento vegetativo, el balance fuente-fosa y la composición de la uva.

- Conocer el efecto tratamiento, sitio, temporada y sus interacciones sobre la respuesta agronómica de Tannat en términos de crecimiento vegetativo, rendimiento y composición de la uva.

- Realizar un estudio exploratorio para conocer la influencia del sitio sobre la población de hongos filamentosos presentes en restos vegetales, flores y uvas.

- Conocer el efecto de las prácticas de manejo sobre la micobiota presente en los órganos reproductivos de la vid, así como su efecto sobre la incidencia y severidad de las podredumbres en relación a cada ambiente.

1.1. CONTEXTO DEL MERCADO MUNDIAL DE VINOS

Durante las últimas tres décadas se han producido importantes cambios en la industria y el comercio mundial del vino, entre los cuales destaca el incremento de la competencia internacional. El comercio mundial muestra un fuerte dinamismo a partir de 1980 y el crecimiento de las exportaciones ha sido notorio desde entonces, al dejar de representar una sexta parte de la producción en la primera mitad de dicha década para ser más de la tercera parte en la actualidad, siendo principales protagonistas los países del hemisferio sur (Medina-Albaladejo *et al.*, 2014).

Los cambios ocurridos en la industria vinícola mundial han sido calificados como una verdadera "revolución enológica", la que se manifiesta sobre todo en los países productores más tradicionales, y se ha interpretado como una respuesta a los desafíos de la globalización del vino. Históricamente el mercado era dominado casi por completo por cuatro países: Francia, Italia, España y Portugal. La industria vinícola se ha extendido en todo el mundo y adquiere renombre en Estados Unidos, Australia, Argentina, Nueva Zelanda, Sudáfrica, Chile y recientemente en China. La vitivinicultura del "nuevo mundo" mostró una estructura organizativa muy competitiva, dominada por grandes firmas empresariales que adquirieron protagonismo en la década de 1990. Desde entonces los países tradicionales pierden cuota de mercado frente a los nuevos productores, más adaptados a las condiciones de la demanda, a los mercados más flexibles y con menos rigidez institucional (Medina-Albaladejo *et al.*, 2014).

La producción de vino a escala mundial ha presentado oscilaciones de acuerdo a la producción de uva que se ha dado en cada año. La figura 1 muestra la evolución del comercio internacional de vino (exportaciones e importaciones) en terminos de cantidad y valor monetario a escala mundial desde 1961 hasta 2019. Se puede notar incremento notorio del comercio de vino desde comienzos de la década de los 90.

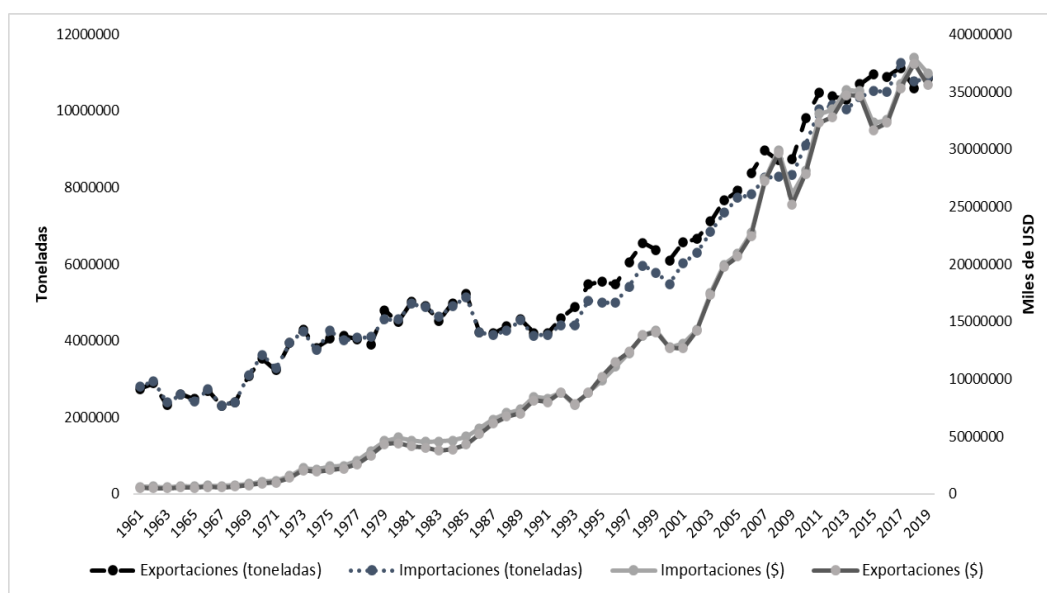


Figura 1. Evolución de la producción mundial de vinos, importaciones y exportaciones en términos de cantidad y valor monetario. Fuente: Elaboración propia en base a datos de FAOstat (2020).

1.1.1. Nuevas exigencias del consumidor

Al día de hoy, uno de los mayores desafíos que afronta la industria vinícola mundial es el cambio registrado en las pautas de consumo de vino (Nowak *et al.*, 2006, Tach y Olsen, 2006). La transición que está ocurriendo entre las generaciones consumidoras de vino representa un desafío para el marketing y la industria vitivinícola. Los diferentes segmentos de consumo tienen una percepción distinta acerca del vino, y la motivación de compra está pautada en base a diferentes atributos del producto. La generación *Millenials*, la cual incluye a los individuos nacidos entre la mitad de la década de los 70 y finales de la década de los 90 representa a día de hoy el segmento más promisorio de consumidores de vinos. La preocupación de los nuevos consumidores de vino y de otros productos agroalimentarios por el impacto de los procesos de producción sobre el ambiente y la salud humana está cobrando una relevancia cada vez mayor y ha sido producto de análisis de distintos trabajos (Teagle *et al.*, 2010, Forbes *et al.*, 2009, Loureiro *et al.*, 2002, McEachern y McClean 2002, Gil *et al.*, 2000).

A medida que aumentan el alcance y la dificultad de abordar el problema medioambiental, también aumentan las oportunidades de innovación de procesos y la generación de productos sostenibles en la búsqueda de una ventaja competitiva (Porter y Van Der Linde, 1995). Estas innovaciones de procesos y productos pueden tener una relación positiva con el rendimiento empresarial (Nguyen y Slater, 2010).

En Uruguay, como plan estratégico del sector vitivinícola, INAVI ha propuesto la integración de dos aspectos clave: sustentabilidad del mercado interno y el impulso a la exportación. En referencia al último punto, la calidad del producto es un requisito fundamental para posicionar al vino uruguayo en los mercados internacionales. Adicionalmente, Uruguay presenta el desafío de adecuar sus sistemas de producción a las exigencias de los mercados internacionales, reduciendo el impacto ambiental de los procesos productivos, en el marco de una sensibilidad cada vez mayor por parte de los consumidores en relación a este tema y a la implementación de políticas públicas que promueven la atención en esta área (Ley 19.717, Uruguay 2019). La demanda de vinos provenientes de sistemas de producción más

sustentables y que tengan trazabilidad, es cada vez mayor, especialmente en los mercados internacionales, y en un futuro no tan lejano lo será a nivel nacional. Con esta tendencia de los mercados, promover un sistema de producción más respetuoso con el medio ambiente se vuelve vital para el sector (Buschiazzo *et al.*, 2020).

1.2. CICLO VEGETATIVO-REPRODUCTIVO DE LA VID

El ciclo de la vid es un proceso complejo, donde se da una superposición de ciclos vegetativos y reproductivos (figura 2). Durante el transcurso del crecimiento vegetativo se evidencia un crecimiento visible de las partes verdes de la planta, mientras que en las yemas axilares de las hojas se dan fenómenos fisiológicos como la inducción, iniciación y diferenciación floral que estarán determinando la producción de la próxima temporada (Fraga *et al.*, 2012, Buttrose 1970, Pouget 1968).

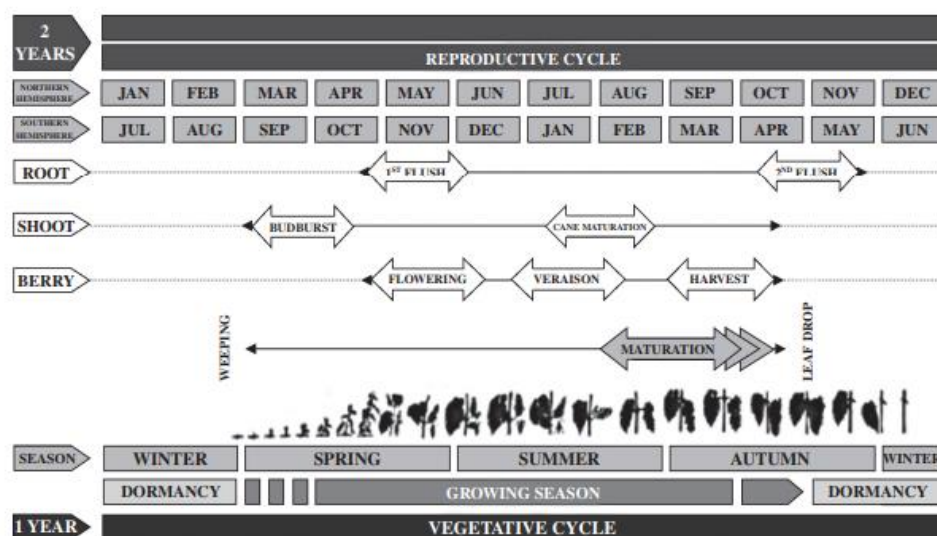


Figura 2. Ciclo anual de la vid. Tomado de Fraga *et al.* (2012).

La actividad radical comienza semanas antes de la brotación, el agua es absorbida por las raíces y transportada vía xilema hacia la parte superior de la planta (Keller, 2015). Desde la brotación hasta la floración se da el periodo de instalación del área foliar, registrándose próximo a floración la tasa máxima de crecimiento de los pámpanos (Champagnol, 1984). El crecimiento vegetativo está fuertemente influenciado por las condiciones ambientales (temperatura, humedad, disponibilidad hídrica), así como también los niveles de reservas de la planta y

disponibilidad de nutrientes (Vaillant-Gaveau *et al.*, 2014, Champagnol 1984. Srinivasan y Mullins 1981).

La floración de la vid es un proceso complejo que se completa en dos ciclos sucesivos de cultivo. Consta de diversas etapas que están fuertemente moduladas por las condiciones ambientales como la luminosidad (Buttrose, 1970), la temperatura (Sánchez y Dokoozlian 2005) y el estatus hídrico (Guilpart *et al.*, 2014). Por otra parte, también influyen los niveles de reservas de las plantas (Vasconcelos *et al.*, 2009, Lebon *et al.*, 2008, Candolfi-Vasconcelos *et al.*, 1994, Srinivasan y Mullins 1981) y la presencia de reguladores del crecimiento como las auxinas, giberelinas y citoquininas (Keller, 2015).

Este complejo proceso se da en las yemas axilares desde la floración, durante la maduración de la uva y hasta que las yemas entran en dormancia (Vasconcelos *et al.*, 2009, May 2004). Cuando las yemas son reactivadas luego del período de dormancia se reinicia la actividad meristemática en las inflorescencias. Durante la brotación del cultivo en el ciclo siguiente se produce la formación del cáliz de las flores, lo que define la iniciación floral (Lebon *et al.*, 2008). Posteriormente, en el período comprendido entre la brotación y la floración se produce la diferenciación floral. El número de flores y su tamaño se definen por el grado de ramificación de la futura inflorescencia, este fenómeno se da desde la inducción y está regulado por contenidos endógenos de auxinas y citoquininas (Keller, 2015).

Las inflorescencias formadas aparecen visibles cuando el pámpano tiene al menos 5 hojas separadas, lo que se corresponde con el estado 12 según Coombe (1995). A partir del estado 15 (Coombe, 1995) la inflorescencia se separa del brote principal y las flores individuales comienzan un proceso de separación en la inflorescencia, el cual se hace completo en el estado 17 (Coombe, 1995). Este último proceso se da en simultáneo con la meiosis ovular, siendo este un período crítico del ciclo fenológico, el cual está caracterizado por alta demanda de carbohidratos (Jean y Lapointe 2001, Caspari y Lang 1996, Coombe 1962). Cualquier tipo de estrés, sea biótico o abiótico durante esta etapa puede influir negativamente sobre el proceso y afectar variables vinculadas al rendimiento, como el número de flores por inflorescencias y la tasa de cuajado (Coombe, 1962). Se ha propuesto que las hojas que se encuentran al lado de la inflorescencia son la principal fuente de carbohidratos para abastecer el desarrollo de la inflorescencia durante esta etapa (Hale y Weaver, 1962).

La floración se caracteriza por la apertura de las flores en cada inflorescencia, aparecen visible los estambres y se da la caída de la caliptra. Temperaturas elevadas ($>30^{\circ}\text{C}$) o deficientes ($<20^{\circ}\text{C}$), y/o baja humedad relativa pueden implicar deficiencias en el proceso de polinización y cuajado, provocando fisiopatías como el corrimiento y el millerandage (Collins y Dry, 2009). Las temperaturas elevadas durante esta etapa afectan el crecimiento del tubo polínico, afectando el número de semillas por baya y su tamaño final (Vasconcelos *et al.*, 2009).

El cuajado del fruto se define como la reactivación del rápido crecimiento del ovario luego de la fertilización de los óvulos (May, 2004). La cantidad de bayas por racimo es función de la cantidad de flores por inflorescencias y la tasa de cuajado. La tasa de cuajado suele presentar un rango variable dependiendo del cultivar de vid y a su vez, es altamente modulado por las condiciones ambientales, el balance de carbono y nutrientes en las plantas (Dry *et al.*, 2010, May 2004, Lebon *et al.*, 2004). Este evento da inicio a la fase I de crecimiento del fruto. Durante esta fase dominan reguladores del crecimiento como las auxinas, las giberelinas y las citoquininas, los cuales favorecen la multiplicación de las células del pericarpio y crecimiento de la semilla (Conde *et al.*, 2007, Kennedy 2002). En este momento la baya es verde (fotosintéticamente activa), firme y con alta concentración de ácidos orgánicos, particularmente ácido málico (Dai *et al.*, 2011). Esta primera etapa culmina cuando las células del hollejo terminan de dividirse y el fruto alcanzado aproximadamente el 50 % de su tamaño (Coombe y McCarthy, 2000). A su vez se acumulan taninos y otros polifenoles como los estilbenos. Esta fase es altamente sensible al déficit hídrico, restricciones severas durante esta etapa afectan la división celular impactando negativamente en el tamaño de la baya (Ojeda *et al.*, 2002).

Luego de la fase I se da la fase II de crecimiento del fruto, caracterizada por una detención temporal del crecimiento, el cual coincide con el crecimiento rápido del embrión y se define el tamaño final de la semilla. Durante esta etapa la concentración de auxinas alcanza su máximo para luego decrecer, otros reguladores del crecimiento como el ácido abscísico (inhibidor de la germinación de la semilla) y el etileno aparecen al final de esta fase (Wheeler *et al.*, 2009, Davies y Bottcher 2009). A su vez, se alcanzan los mayores contenidos de ácidos orgánicos, así como también las mayores concentraciones de taninos en la semilla (Kennedy 2002, Coombe y McCarthy 2000).

La fase III de crecimiento del fruto se caracteriza por: la aparición de color violáceo en las variedades tintas y amarillo en variedades blancas, el ablandamiento de la baya, comienzo de la acumulación de azúcares, biosíntesis de otros polifenoles como los antocianos, degradación de la clorofila, aparición de la pruina y el reinicio del crecimiento de la baya (Dai *et al.*, 2011, Ollat *et al.*, 2002, Coombe y McCarthy 2000). Todos estos fenómenos en conjunto definen el comienzo de la fase de maduración de la baya. Cuando la baya retoma su crecimiento durante la maduración, la mayor parte del crecimiento de la baya se explica por el alargamiento de las células debido al ingreso de agua y solutos vía floema (Conde *et al.*, 2007), por tanto, la disponibilidad hídrica del suelo es un factor determinante del tamaño final de la baya (Dai *et al.*, 2011, Conde *et al.*, 2007, Ojeda *et al.*, 2002, Ojeda *et al.*, 1999). Durante esta fase predominan reguladores del crecimiento como el etileno, el ácido abscísico y los brasinosteroides (Conde *et al.*, 2007).

Las fases de desarrollo de la baya y su regulación hormonal se pueden observar en la figura 3.

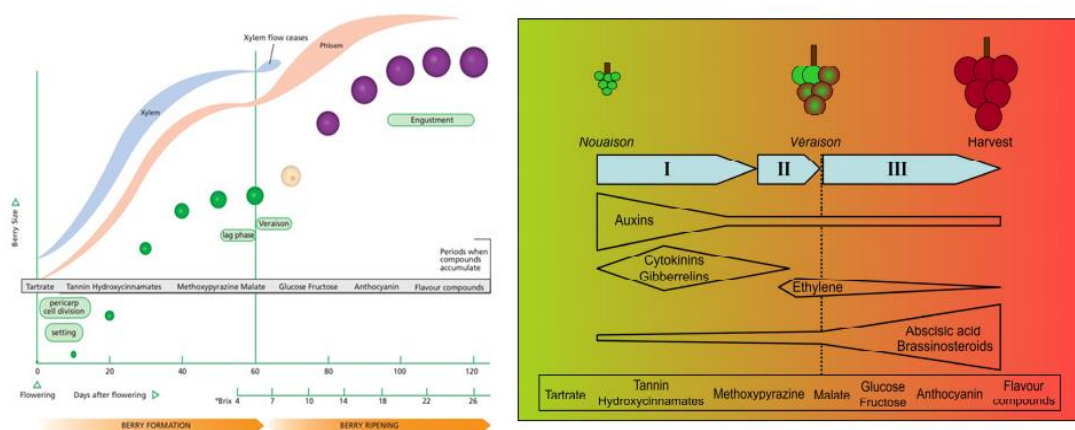


Figura 3. Izquierda: desarrollo y crecimiento de la baya. Tomado de Kennedy (2002). Derecha: regulación hormonal durante el crecimiento del fruto. Tomado de Conde *et al.*, (2007).

Luego de la cosecha, se produce la aclimatación de la planta y la posterior entrada en dormancia. En el hemisferio sur, la dormancia corresponde al período entre los meses de mayo y setiembre (Fraga *et al.*, 2012).

1.2.1. Componentes estructurales y composición físico-química de la baya

Cada baya individual se agrupa en un racimo que está constituido por diferentes secciones. La inflorescencia y el posterior racimo están conectados al brote principal por un tallo conocido como raquis. El raquis se divide en el pedúnculo y sus ramificaciones, finalmente cada baya está unida al raquis a través de un pedicelo (Tello e Ibáñez, 2018).

La composición morfológica de la baya se muestra en la figura 4. La baya está compuesta por un grupo de tejidos que rodea las semillas conocido como pericarpio. A su vez el pericarpio está dividido en tres partes: el exocarpo (hollejo), el mesocarpo (pulpa) y el endocarpo (semillas) (Keller, 2015).

El hollejo representa la piel o cáscara de la uva, está compuesto por una capa externa denominada cutícula, la cual está cubierta con cera epicuticular o pruina. Hacia el interior se encuentran la epidermis y la hipodermis. La primera, está compuesta por 2 capas de células, mientras que la segunda presenta una composición variable en número de células, que a su vez puede ser modificada por cambios en el microclima en la zona del racimo mediante las prácticas de manejo (Verdenal *et al.*, 2017, Elerd 2010). La pulpa es la proporción más significativa de la baya, representa entre el 70-90 % del peso de la baya y determina en mayor medida el peso final de la misma (Miras-Ávalos *et al.*, 2019, Ferrer *et al.*, 2014, Dai *et al.*, 2011). La pulpa está compuesta por capas de 25-30 células grandes poligonales. Las distintas variedades de *Vitis vinifera* (L.) presentan una respuesta diferencial sobre la variación de la proporción de pulpa en relación a los niveles de estrés hídrico (Ferrer *et al.*, 2014). El endocarpo lo conforman las semillas, con un máximo de 4 por baya. Las semillas representan un bajo porcentaje del peso de la baya (4-6%), sin embargo, el peso de las semillas tiene influencia directa sobre el tamaño de la pulpa, debido a que los embriones son productores de reguladores del crecimiento como las auxinas y giberelinas (Coombe, 1987).

1.2.1.1. Agua

El contenido de agua es el componente prioritario de las bayas, representa hasta un 80 % del peso fresco en maduración, mientras que puede ser del 70 % en bayas sobremaduras. Antes del envero el agua ingresa mayoritariamente vía xilema, posteriormente el flujo de agua que llega a la baya lo hace a través del floema en conjunto con sólidos solubles, aminoácidos y cationes como el potasio y el calcio (Keller, 2015).

La mayor pérdida de agua por parte de las bayas durante la maduración, a causa de la transpiración. Si bien la tasa transpiratoria de las bayas es 50 a 70 veces menor a la de las hojas, bajo condiciones cálidas y de alta demanda atmosférica pueden darse pérdidas importantes provocando deshidratación del grano y una consecuente reducción del rendimiento (Greer 2013, Greer y Weedon 2012). A su vez, bajo condiciones de excesivo déficit hídrico el agua de las bayas puede retornar vía xilemática hacia la planta mediante un proceso conocido como “xylem back flow” (Tyerman *et al.*, 2004).

1.2.1.2. Sólidos solubles

Los sólidos solubles son los compuestos del metabolismo primario mayoritariamente presentes en el mosto, más del 90 % de ellos corresponden a la glucosa y a la fructosa. En la uva madura suelen alcanzar concentraciones en el rango de 150 a 300 g/l de mosto (Ribéreau-Gayon *et al.*, 2006b). Ambos monosacáridos se acumulan en una relación 1:1 hacia el final de la maduración (Dai *et al.*, 2011, Conde *et al.*, 2007). Estos azúcares constituyen la principal fuente de carbono utilizada por las levaduras durante el proceso fermentativo.

La composición de azúcares, es decir la relación entre glucosa, fructosa y sacarosa es principalmente determinada por el genotipo de *Vitis vinifera* (L.), pero la concentración en la uva es mayormente modulada por las condiciones ambientales y las prácticas de manejo del viñedo (Kuhn *et al.*, 2013).

Los azúcares se importan vía floema durante la maduración de la uva, siendo la transpiración de la baya la fuerza de fosa que promueve la carga del floema y la descarga en las células del fruto. Las hojas producen sacarosa, la cual es transportada vía floema hasta las bayas, en donde las invertasas la hidrolizan en fructosa y glucosa antes de ingresar a las vacuolas de las células de la pulpa. Estas invertasas presentan un pico de actividad 8 semanas

después de floración, dicha actividad se mantiene constante hasta que la baya ha alcanzado la madurez (Davies y Robinson 1996, Kliewer 1967).

La glucosa y la fructosa son responsables de conferir al vino atributos sensoriales como el dulzor, así como mitigar el efecto sensorial de la acidez y la astringencia. El perfil de azúcares en la uva, es decir las concentraciones relativas de fructosa, glucosa y sacarosa tiene importancia debido a que los distintos azúcares presentan atributos sensoriales diferentes. El grado de dulzor es mayor en la fructosa, seguido por la sacarosa y luego la glucosa (Shiraishi, 1993).

Según Deloire (2013) la acumulación de azúcares en el grano se puede dividir en tres perfiles, el primero de ellos, ocurre en el comienzo del envero y está caracterizado por una acumulación rápida ligada a la alta actividad metabólica de las hojas durante este momento del ciclo. El segundo perfil implica una disminución en la tasa de acumulación que puede significar un bloqueo de la asimilación, esta situación suele suceder a causa de desequilibrios fisiológicos, problemas nutricionales, estrés térmico o un estrés hídrico excesivo. Finalmente, el tercer perfil de acumulación se da cuando existe una ralentización importante, llegando a un plateau, que normalmente equivale a valores de concentración entre los 21-23 ° Brix. Según este autor el momento en que se coseche la uva luego de alcanzar el plateau define importantes características de los vinos, como sus cualidades aromáticas.

1.2.1.3. Ácidos de la uva y pH

Los ácidos málico y tartárico representan entre el 70-90 % de ácidos presentes en la baya madura. Existen pequeñas cantidades de otros ácidos orgánicos como el cítrico, el succínico, oxálico, fumárico, láctico y acético (Ruffner, 1982).

En general, ambos ácidos se acumulan en la baya durante la fase de crecimiento herbáceo (Ribéreau-Gayon, 1968). El ácido málico se sintetiza en tejidos verdes jóvenes de la planta como las hojas, los brotes y las bayas. Este ácido es un importante intermediario metabólico durante la maduración de la uva, constituyendo la principal fuente de carbono para el proceso de respiración celular. El ácido málico alcanza su máxima concentración en envero para luego comenzar a descender rápidamente. Este descenso brusco conocido como “*malate breakdown*” es regulado por la temperatura (Rienth *et al.*, 2016, Coombe 1973).

El ácido tartárico es el característico de la uva, siendo la vid una de las plantas en que está presente en cantidades elevadas (Peynaud, 1947). Es un ácido que presenta un pKa (inversa de la constante de disociación) menor que el ácido málico y el cítrico, por tanto, tiene mayor capacidad de disociarse, contribuyendo de manera más importante sobre el pH de los mostos y el vino (Zamboni *et al.*, 1991).

El contenido de ácidos en la uva va disminuyendo en el transcurso de la madurez, principalmente por efecto de la respiración celular, neutralización de ácidos por cationes y la dilución debido al ingreso de agua en la baya. La acidez final de la baya depende de la relación existente entre ácidos orgánicos y el potasio en la baya (Ollat *et al.*, 2002).

La acidez titulable es un indicador de madurez clásico utilizado en viticultura, el mismo se refiere a la concentración de iones hidrógeno que se recuperan de los ácidos cuando una solución ácida se valora con una base fuerte hasta un punto final especificado. Normalmente se utiliza el pH 8.2, el cual equivale al pH en el cual se produce el cambio de color de la fenolftaleína (Flanzy, 2003).

El pH constituye la acidez real de la uva y corresponde a la medición de la actividad de hidrogeniones en el mosto. El pH modifica aspectos importantes del proceso de vinificación como la estabilidad microbiológica de los mostos-vinos y el equilibrio químico del medio, teniendo esto último implicancias desde el punto de vista de los atributos enológicos, como la intensidad colorante de los vinos (González-Neves *et al.*, 2004).

A lo largo de la maduración, el pH del mosto aumenta por una disminución de los ácidos orgánicos de la uva. Junto con la llegada de agua y solutos, existe también una importante migración de cationes, en particular potasio, el cual es el principal agente neutralizante de la acidez tartárica (Etchebarne *et al.*, 2010, Flanzy 2003, Possner y Kliewer 1985).

1.2.1.4. Nitrógeno fácilmente asimilable (NFA)

El nitrógeno juega un rol central en la fisiología de la vid, así como también presenta importancia desde el punto de vista enológico, ya que las levaduras lo utilizan en su metabolismo (Verdenal *et al.*, 2021)

El nitrógeno en las bayas maduras puede encontrarse en formas tanto orgánicas como inorgánicas. Las formas orgánicas incluyen aminoácidos libres, péptidos, proteínas, derivados de ácidos nucleicos. Las formas inorgánicas corresponden en su mayoría al amonio, nitrato y nitrito.

Las levaduras pueden utilizar cierta proporción del nitrógeno disponible, esta proporción es referida usualmente como nitrógeno fácilmente asimilable por levaduras (NFA). Las fuentes nitrógeno asimilable son el amonio y el nitrógeno alfa-amino libre. Las levaduras no son capaces de utilizar proteínas y otros péptidos de alto peso molecular, ya que carecen de la suficiente actividad proteolítica. Del mismo modo, el aminoácido prolina no puede ser utilizado como fuente de nitrógeno por las levaduras (Petrovic *et al.*, 2019).

La concentración de NFA representa un punto crítico sobre la calidad de las uvas, debido a que un adecuado nivel de concentración de nitrógeno asimilable asegura un correcto proceso de fermentación. Detenimientos del proceso fermentativo o fermentaciones excesivamente lentas han sido reportados cuando los mostos presentan concentraciones de nitrógeno asimilable por debajo de los 140 mg/l (Belly *et al.*, 1990).

Las prácticas de manejo del viñedo como el empastado y la utilización de determinado porta-injerto han mostrado tener influencia en los niveles de NFA en el mosto (Lee y Steenwerth, 2011). Asimismo, está reportado en la literatura que las deficiencias de nitrógeno producidas por una fertilización deficiente están correlacionadas con los niveles bajos de NFA en el mosto (Schreiner *et al.*, 2014).

Las características edafoclimáticas de una región tienen un peso importante sobre los contenidos de nitrógeno, estudios realizados por Verdenal *et al.* (2020) indican que los suelos que poseen una mayor capacidad de acumulación de agua y presentan mayor posibilidad de exploración radical están asociados a la expresión del vigor de las plantas, lo cual se correlacionó a mayores valores de NFA en el mosto. Otras variables como el rendimiento no han mostrado una correlación clara con la concentración de NFA (Verdenal *et al.*, 2016).

El nivel de madurez de la uva presenta una correlación con los contenidos de NFA. La acumulación de N orgánico y la formación de metabolitos secundarios dentro de la baya, como es el caso de los compuestos odorantes y sus precursores, que se ven afectados por el nivel de madurez (Robinson *et al.*, 2014, Hilbert *et al.*, 2003). Algunos estudios han observado una correlación importante entre la concentración de sólidos solubles y las concentraciones de NFA (Garde-Cerdán *et al.*, 2018).

1.2.1.5. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos representan un grupo de compuestos heterogéneos que son originados mediante el metabolismo secundario de la uva partir de derivados del metabolismo primario como los aminoácidos fenilalanina y el intermediario malonilCoA. Las principales rutas de biosíntesis de los compuestos fenólicos son la ruta fenilpropanoide, la cual se divide en la ruta del ácido shikímico y la ruta del malonil, siendo la primera la más importante en plantas superiores (Teixeira *et al.*, 2013).

En la uva, los compuestos fenólicos se encuentran en cantidades menores respecto a los metabolitos primarios. Sin embargo, a pesar de su baja abundancia relativa en comparación con estos últimos, son elementos de suma importancia, debido a que definen las características sensoriales de los vinos como el color, el gusto y el aroma. Son los principales sustratos de oxidación en el vino y en el jugo de uva, por esta misma característica es que son considerados importantes antioxidantes (Flanzy, 2003). Distintos trabajos atribuyen a los polifenoles de la uva y el vino importantes propiedades nutraceuticas, por lo que el consumo moderado de vino puede ser beneficioso para la salud (Golan *et al.*, 2019, Guilford y Pezzuto 2011, De Lorimier 2000).

Su principal característica química es poseer un anillo bencénico sustituido con uno o varios grupos hidroxilos y una cadena lateral funcional. Los polifenoles de la uva pueden ser clasificados en dos grandes grupos: flavonoides y no flavonoides (Flanzy, 2003).

Los compuestos no flavonoides tienen un esqueleto de 6 carbonos y en la uva están mayormente representados por los ácidos fenólicos (hidroxibenzóicos e hidroxicinámicos), los estíbenos y algunos alcoholes fenólicos (Flanzy, 2003). Los estíbenos tienen importantes propiedades como mecanismos de respuesta a infecciones fúngicas o diversos eventos de

estrés abiótico como la radiación UV-B, siendo importantes citoprotectores (Biais *et al.*, 2017). Dentro de los estíbenos, el resveratrol puede considerarse como uno de los más importantes; es una fitoalexina que se produce como reacción a los ataques fúngicos. Se ha demostrado que este compuesto modula el metabolismo de los lípidos e inhibe la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad, además puede proveer protección cardiovascular. De todas maneras, su concentración en el vino suele ser muy baja, de 0,1 a 0,15 mg por litro (Fremont, 2000).

Los compuestos flavonoides representan el grupo de polifenoles de mayor importancia, son los que se encuentran en mayor cantidad y contribuyen de mayor manera a definir la calidad de la uva y el vino (Flanzy, 2003). Estos compuestos se caracterizan por presentar una estructura química C6-C3- C6, la cual comprende dos anillos bencénicos polihidroxiados unido a través de un heterociclo central oxigenado. Dentro de este grupo de compuestos se encuentran: los flavonoles, los flavanoles, antocianinas y en menor proporción las dihidroflavonoles y flavonas (Flanzy, 2003).

Los antocianos son pigmentos responsables de las coloraciones roja, violácea y azulada de la uva, a su vez son las principales moléculas responsables del color de los vinos tintos jóvenes (González-Neves *et al.*, 2004). La acumulación de antocianos en los hollejos es característica de las variedades tintas mientras que la acumulación en la pulpa es característica de variedades conocidas como tintoreras. La acumulación de estos compuestos comienza en envero y suele tener un pico máximo de concentración antes de que la uva alcance su madurez tecnológica (González-Neves, 2005).

En *Vitis vinifera* (L.) las antocianinas se encuentran en forma de 3-monoglucósido simples o acilados a diferencia de las especies americanas en las cuales se encuentran en la forma 3-5 monoglucósido (Liang *et al.*, 2008, Ribéreau-Gayon, 1968). Las principales antocianinas encontradas en la uva son: delfinidina, cianidina, petunidina, peonidina y malvidina. Estas difieren entre sí en el número y posición de los sustituyentes hidroxilos y metoxilos.

En medio acuoso, las moléculas de antocianos pueden persistir en 4 estructuras químicas bajo equilibrio, aportando características cromáticas diferentes dependiendo del pH del medio (Glories, 1984).

Los contenidos de antocianos varían considerablemente de acuerdo a las condiciones ambientales, la variedad de vid, el suelo y las prácticas de manejo de del viñedo (van Leeuwen *et al.*, 2018, Echeverría *et al.*, 2017a, Guidoni *et al.*, 2008, González-Neves *et al.*, 2002, Corino *et al.*, 1991, Iacono *et al.*, 1991). Por otra parte, la cantidad relativa de cada antocianidina, representada por su forma y cada antocianina en particular es una característica típica de la variedad (González-Neves 2005, González-San José y Diez 1993).

En Tannat, González-Neves *et al.* (2004) reportan concentraciones de antocianos en mosto que varían de 1458 mg EMG/l¹ a 3631 mg EMG/l.

Los flavonoles se localizan principalmente en los hollejos y en las hojas, siendo importantes en las variedades blancas (Downey *et al.*, 2003). Son compuestos que contribuyen en la coloración amarilla de los vinos y dada su estructura planar participan en los fenómenos de copigmentación durante el proceso de vinificación (Flanzy, 2003). Dentro de los flavonoles más abundantes en el vino se encuentran la quercitina y la miricetina. Se ha demostrado que estos compuestos al igual que otros polifenoles presentan una importante actividad antioxidante neutralizando la acción deletérea de las especies reactivas del oxígeno (Leighton *et al.*, 1997).

Los flavanoles están presentes en diferentes partes de la vid, como: madera, hojas, brotes, el raquis y en las partes sólidas de la uva (semillas y hollejos). En la baya están presentes en forma monomérica y en diferentes formas poliméricas, conocidas generalmente de como proantocianidinas. Estos compuestos son responsables de importantes atributos sensoriales de los vinos como el amargor, la astringencia y participan al igual que otros compuestos en reacciones de estabilización y copigmentación en el vino (Fanzone *et al.*, 2011). Además, tienen importancia enológica debido a que participan de reacciones de pardeamiento oxidativo, tanto químico como enzimático (Terrier *et al.*, 2009, Basaraba 1966).

¹ EMG: equivalente malvidin glucósido

La ubicación de los distintos compuestos polifenólicos en la baya se puede observar en la figura 4.

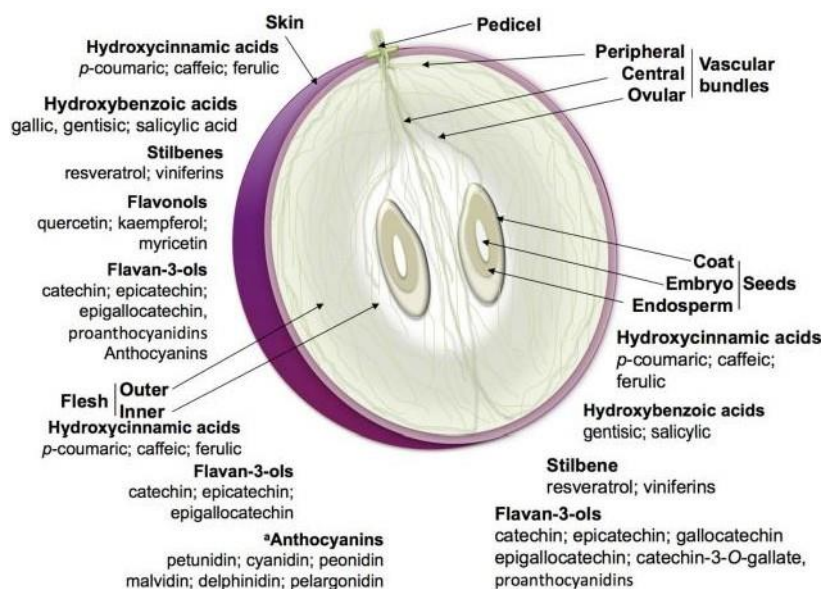


Figura 4. Ubicación de los compuestos fenólicos en los distintos compartimentos de la baya. Tomado de Teixeira *et al.* (2013)

1.3. FACTORES DEL AMBIENTE Y SU INFLUENCIA SOBRE LA VID

El clima constituye el factor más influyente sobre la respuesta de la vid (Deloire *et al.*, 2005). La vid es una especie adaptada a un amplio rango de condiciones ambientales, pero los componentes del ambiente como la temperatura, radiación solar, humedad relativa y disponibilidad hídrica condicionan la fisiología de la planta y afectan su desempeño agronómico (van Leeuwen y Seguin 2006, Seguin 1986).

La radiación solar global de una región determina el potencial de energía lumínica que será posible utilizar por la planta. Las componentes geográficas del clima como la latitud y la altitud determinan las horas de radiación disponible durante el día y la intensidad de dicha radiación. En las zonas ecuatoriales, existe una mayor intensidad luminosa que en zonas de latitudes mayores. En el último caso, la mayor duración el día puede compensar la menor

intensidad luminosa. La exposición de la parcela a su vez, determina diferencias en la captación de energía del sistema (van Leeuwen y Seguin, 2006).

El punto de saturación lumínico de la vid presenta un rango variable entre 500- 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, el cual varía según las condiciones de crecimiento de la planta, la edad y el genotipo (Keller 2015, Palliotti y Cartechini 2001). La distinta respuesta fotosintética de las variedades de *Vitis vinífera* (L.) a la luz, puede ser explicada mayormente por diferencias en el punto de compensación de la luz y punto de saturación de la luz (Zhang *et al.*, 2010). Del mismo modo, diferencias en el rendimiento cuántico, es decir, cantidad de fotones necesarios para la fijación de un mol de CO_2 , explican diferencias entre cultivares (Sánchez de Miguel *et al.*, 2004). A su vez, la capacidad de intercepción de la luz puede ser modificada por la intervención antrópica a través de la elección de la densidad de plantación, la exposición de la parcela y geometría de plantación (Hunter *et al.*, 2020), sistemas de conducción y manejos de la canopia (Smart y Robinson 1991, Hunter y Vissier 1989).

Como se adelantó en párrafos precedentes, está demostrado que la luz y la temperatura son los mayores responsables de afectar el fenómeno de inducción floral, afectando el número de yemas inducidas y tamaño de las inflorescencias (Buttrose 1970, Buttrose 1974). Asimismo, la luz afecta otros procesos de importancia, como la biosíntesis de metabolitos secundarios en la baya (Mori *et al.*, 2007, Spayd *et al.*, 2002), y modula respuestas fototrópicas en el dosel vegetal (Keller 2015, Azcón-Bieto y Talón 2008).

La temperatura del aire, es otro factor de importancia ya que es responsable de modular la actividad a nivel metabólico de las plantas, así como la mayoría de los sistemas biológicos, y reacciones que involucren enzimas como catalizadores (Kader, 1994). La temperatura del aire influye sobre el crecimiento vegetativo y las fases de desarrollo de las plantas. Se pueden establecer rangos óptimos para cada etapa del desarrollo de la vid. Sin embargo, los rangos pueden ser amplios ya que la interacción con otros factores ambientales se vuelve significativa y no son fácilmente separables (Champagnol, 1984).

La temperatura afecta la evolución fenológica de la vid (Cameron *et al.*, 2021, Fourment *et al.*, 2013) y condiciona la maduración de la uva (Sadras *et al.*, 2013a, Sadras *et al.*, 2013b, Winkler *et al.*, 1974).

La temperatura afecta la fotosíntesis, por un lado, incide sobre la temperatura de la hoja, mientras que por otra parte afecta también variables atmosféricas derivadas como el déficit de presión de vapor (DPV), el cual influye sobre las relaciones hídricas del continuo suelo-planta-atmósfera. El rango de temperaturas óptimas a nivel foliar para el proceso de fotosíntesis es de 25 a 30 ° C según Kriedemann (1968). Las fluctuaciones diarias y estacionales de la temperatura determinan, consecuentemente, variaciones en los niveles de asimilación neta de carbono (Correia *et al.*, 1990). La temperatura muestra una estrecha relación con la radiación incidente global, por ende, ambos factores son responsables en gran medida de determinar los cambios en la actividad fisio-metabólica de las plantas. Temperaturas superiores a los 35° C suelen tener un marcado efecto inhibitorio sobre fotosíntesis y procesos como la maduración del fruto (Greer y Weedon, 2012). Altas temperaturas, pueden aumentar la pérdida de agua provocando un desequilibrio entre el contenido de agua de la hoja y el flujo de transpiración, concluyendo en un cierre estomático y consecuente disminución de la fotosíntesis (Carbonneau, 1992). Además, la actividad oxigenasa de la enzima rubisco se ve promovida por las altas temperaturas, impactando negativamente sobre la fotosíntesis neta y la disponibilidad de carbohidratos para abastecer los diferentes procesos metabólicos (Keller, 2015). Altas acumulaciones térmicas durante el período de maduración, provocan una aceleración del proceso, resultando en uvas con alto potencial alcohólico, baja acidez y alto pH (Sadras *et al.*, 2013a, Sadras *et al.*, 2013b, Spayd *et al.*, 2002).

La amplitud térmica afecta la composición de la uva (Mori *et al.*, 2005, Kliewer y Torres 1972). Según Prieri (1977) la temperatura óptima para la síntesis de antocianos se encuentra en el rango de 17-26 °C. Otros autores como Kliewer y Torres (1972) informan que valores temperatura diurna de 20 °C producen más color que una temperatura de 30°C. Mientras que temperaturas nocturnas entre 15 y 20 °C produjeron más color que temperaturas entre 25 y 30°C. Otros autores como Tonietto y Carbonneau (2004) proponen valores de temperatura medias nocturnas de 16 °C y diurnas de 25 °C para alcanzar uva con niveles de acidez aceptable y balance positivo entre la síntesis-degradación de antocianos.

El agua es un tercer factor en importancia, juega un rol preponderante en la actividad metabólica de la planta (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Procesos vinculados a la fotosíntesis como la apertura estomática y la transpiración están estrechamente ligadas al estado hídrico (Escalona *et al.*, 2015). En viñedos sin irrigación, la disponibilidad de agua estará básicamente condicionada por las características climáticas del ambiente, como el régimen pluviométrico, el cual determinará el volumen anual y la partición de dicho volumen. Otro factor de importancia, es la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, la cual estará dada por sus características físico-químicas, particularmente su textura, estructura y profundidad (Molfino y Califra, 2001). A su vez las características del suelo condicionan la actividad radical afectando la capacidad de la planta para abastecerse de agua (Champagnol 1984, van Leeuwen *et al.*, 2004).

El régimen hídrico juega un rol trascendente en la respuesta de la planta sobre variables de interés agronómico como el rendimiento, el crecimiento vegetativo y la composición de la uva. Las diferentes fases fenológicas presentan diferencias en cuanto a la susceptibilidad al estrés hídrico (Champagnol, 1984). Niveles de estrés severo durante la primera fase del cultivo (brotación- cuajado) no son deseables, estando documentados efectos negativos sobre el rendimiento del año en curso, así como el del año siguiente (Ferrer *et al.*, 2017, Guilpart *et al.*, 2014). El crecimiento vegetativo es afectado por el déficit hídrico, siendo la brotación secundaria la primera en resentirse (Gómez del Campo *et al.*, 2002). Esta ampliamente documentado en la bibliografía que niveles de estrés moderado durante la fase maduración del fruto están relacionados con vendimias de mejor calidad, permitiendo una mayor acumulación de azúcares e incremento de metabolitos secundarios en la baya (Ferrer *et al.*, 2014, van Leeuwen *et al.*, 2009, Deloire *et al.* 2006, Ojeda *et al.*, 2002). Por otra parte, con valores de potencial hídrico foliar correspondientes a estrés severo ($<-0,5$ Mpa) se detienen procesos fisiológicos como la fotosíntesis y consecuentemente la acumulación de azúcares en el grano (Carbonneau, 1998).

El estudio del impacto del clima en viticultura se puede dar en tres niveles: macroclimático, mesoclimático y microclimático.

1.3.1. Macroclima

El abordaje macroclimático, implica un estudio a una escala país o gran región, típicamente la escala refiere a decenas de kilómetros dependiendo de la existencia de factores geográficos como cercanía a montañas, lagos, entre otros (Tonietto 1999, Smart y Robinson 1991). Para su análisis es necesario contar con numerosos datos de estaciones meteorológicas. Este abordaje tiene por objetivo delimitar zonas amplias climáticamente homogéneas, considerando los factores anteriormente desarrollados: temperatura y agua.

Variables como la temperatura máxima, media y mínima, diaria o mensual (Huglin, 1978), la radiación solar, la acumulación térmica (Winkler *et al.*, 1974), el régimen de precipitaciones (Jones, 2018), amplitud térmica y los balances hídricos del suelo (Deloire *et al.*, 2005, Riou *et al.*, 1994) son mayormente utilizadas para la construcción índices que permiten inferir acerca de la aptitud vitícola de una región determinada. Los índices se construyen en referencia a un periodo de tiempo, que normalmente presenta coincidencia con el ciclo anual del cultivo en un sitio determinado, o bien acorde a cada evento fenológico registrado en determinada temporada (Winkler *et al.*, 1974).

El sistema de clasificación multicriterio propuesto Tonietto y Carbonneau (2004) se basa en la adaptación de tres índices bioclimáticos. Este sistema permitió categorizar regiones vitícolas de diferentes partes del mundo acorde a su aptitud para el desarrollo de la vid y vincularlos a la calidad esperable de la materia prima. Los índices utilizados por este sistema contemplan directamente 2 de los factores de importancia para el desarrollo de la vid: temperatura y agua. Mientras que la luz es considerada de manera indirecta a través de un factor que tiene en cuenta las horas de luz en una región particular del mundo.

El índice heliotérmico de Huglin (Huglin, 1978) tiene en cuenta las temperaturas máximas, mínimas e indirectamente el efecto de la luz, a través de la duración del día de una región determinada. La maduración de la baya, se ve estrechamente modificada por la oferta térmica y las variaciones diarias de la temperatura (Sadras *et al.*, 2013a, Kliewer y Torres 1972). Valores de 1400 del índice de Huglin han sido reportados como límites inferiores para el cultivo de la vid (Huglin, 1998), no obstante, algunas variedades como Cabernet-Sauvignon reportan

valores cercanos a 1900 HI para alcanzar un tenor de azúcares de 180-200 g/l. Por tanto, resulta un índice esencial al momento de seleccionar variedades para un ambiente determinado. Echeverría *et al.* (2016) analizando el patrón de distribución espacial y temporal de la radiación encontraron una estrecha correlación entre el índice de Huglin, la acumulación térmica expresada en grados días y la radiación solar global acumulada recibida.

Las temperaturas nocturnas tienen influencia sobre diferentes variables inherentes a la composición de la baya. Tonietto (1999) ha propuesto el índice de frescor nocturno, como un indicador del potencial de una región para la síntesis de compuestos fenólicos como los antocianos y aromas, este índice tiene en cuenta la temperatura mínima promedio del mes previo a cosecha.

Por último, el índice de sequía (Tonietto, 1999) es un índice que está basado en el balance hídrico de Riou *et al.* (1994) y refiere a la capacidad del suelo de acumular agua potencialmente disponible para el cultivo. Para su cálculo se toman en cuenta las precipitaciones efectivas, las evaporaciones de agua a partir del suelo y la evapotranspiración del viñedo. Este índice permite conocer el balance hídrico de un suelo en un momento determinado o al final de un período.

1.3.1.1. Delimitación macroclimática en Uruguay

En Uruguay, Ferrer (2007) realizó la delimitación de regiones macroclimáticas utilizando el sistema de clasificación multicriterio (Tonietto y Carbonneau, 2004). En su trabajo realizó la adaptación de los índices antes descriptos para las condiciones nacionales. Las modificaciones tuvieron en cuenta los tipos de suelo en que se desarrolla la viticultura en territorio uruguayo y así como también, el período temporal que involucra el desarrollo de ciclo vegetativo del cultivo en las condiciones del hemisferio sur.

La figura 5 presenta las 6 regiones macroclimáticas para el cultivo de la vid en Uruguay según Ferrer (2007).

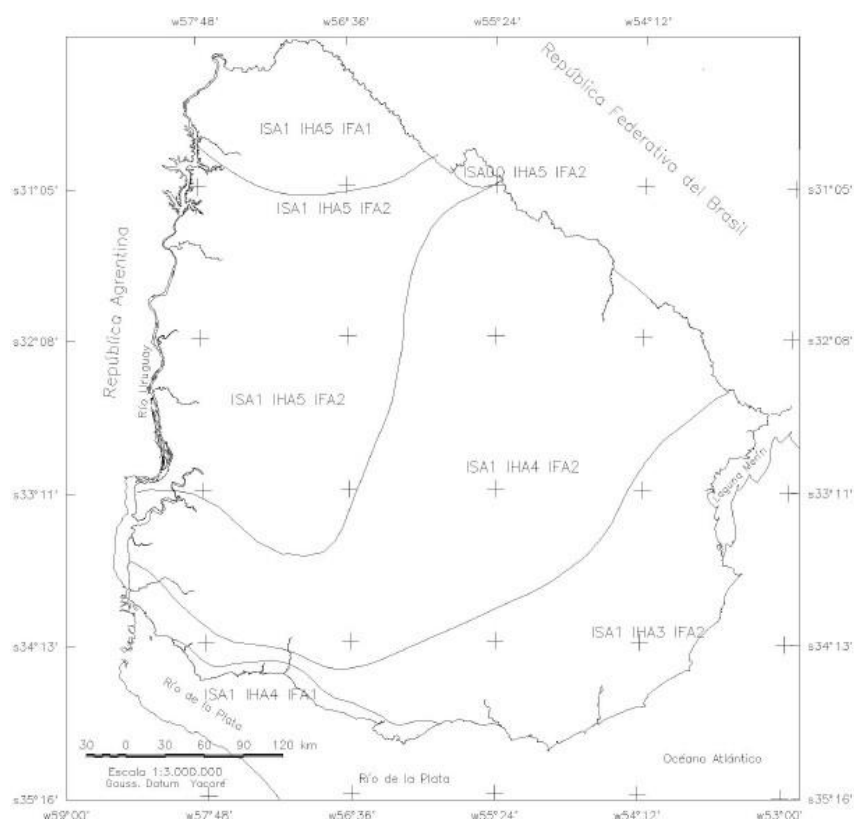


Figura 5. Regiones vitícolas del Uruguay según el sistema de clasificación multicriterio adaptado por Ferrer (2007)

La región sur-este, pertenece a la clase **ISa1, IHa3 IFa2**, con un tipo de clima templado, con sequía moderada y noches frescas. La misma incluye buena parte de los departamentos de Montevideo y San José, mientras que la totalidad de Canelones, Maldonado. Se caracteriza por presentar una fuerte influencia de grandes masas de agua como el estuario del Río de la Plata y el océano Atlántico. Estudios posteriores han demostrado el efecto de la brisa marina sobre la temperatura atemperando los picos térmicos diurnos, dando a ciertas micro regiones características de viticultura oceánica (Echeverría 2017, Fourment *et al.*, 2013).

La segunda región comprende el sud-oeste del territorio nacional, con una fuerte influencia del estuario del Río de la Plata, esta zona tiene un ancho aproximado de 15 km. El tipo climático de esta región es **ISa1, IHa4, IFa1**, caracterizado como templado- cálido, sequía

moderada y noches cálidas. Comprende al departamento de Colonia y parte de los departamentos de San José y Canelones.

Cabe mencionar que la primera y segunda región, agrupan aproximadamente el 81 % de área de viñedos de Uruguay según los registros últimos registros de INAVI (2019).

La tercera región, comprende la región central del territorio, ubicada al sur del Río Negro. El tipo climático de esta región ha sido definido como **ISa1, IHa4, IFa2**, es decir, templado-cálido, noches templadas y sequía moderada. Ha sido caracterizada como una zona homogénea, cuyas principales diferencias radican en diferencias en el índice de sequía. Abarca buena parte de los departamentos de Flores, Durazno, Florida, el noroeste de Lavalleja.

La cuarta región está situada en el litoral oeste del territorio nacional, comprendiendo la totalidad del departamento de Paysandú, casi la totalidad de los departamentos de Salto y Río Negro. El tipo climático de esta región es **ISa1, IHa5, IFa2**, es decir, clima cálido, noches frescas, sequía moderada.

La quinta región comprende la totalidad del departamento de Artigas y una franja del norte del departamento de Salto, el tipo climático es **ISa1, IHa5, IFa1**, caracterizado como clima cálido, sequía moderada y noches templadas.

Por último, la sexta región comprende una pequeña área, próxima a la ciudad de Rivera. El tipo climático de esta región es **ISa00, IHa5, IFa2** correspondiente a clima cálido, húmedo y noches templadas.

El cuadro 1 presenta la descripción climática de cada región y los departamentos que están incluidos en cada región.

Cuadro 1. Descripción de las regiones agroclimáticas y departamentos que se incluyen en cada marco región.

Región	Sigla según SCM²	Descripción	Departamentos
I	ISa1 IHa4 IFa1	Sequía moderada, clima templado cálido y noches cálidas	Colonia, San José, Canelones, Montevideo
II	ISa1 IHa3 IFa2	Sequía moderada, clima templado, noches frescas	Canelones, San José, Colonia, Lavalleja, Maldonado, Treinta y tres, Rocha
III	ISa1 IHa4 IFa2	Sequía moderada, clima templado-cálido, noches frescas	Flores, Florida, Lavalleja, Soriano, Durazno, Río Negro, Rivera, Tacuarembó
IV	ISa1, IHa5, IFa2	Sequía moderada, clima cálido, noches frescas	Salto, Tacuarembó, Río Negro, Paysandú
V	ISa1, IHa5, ISa1	Sequía moderada, clima cálido, noches cálidas	Artigas, Salto
VI	ISa00, IHa5, IFa2	Húmedo, clima cálido y noches frescas	Rivera

² SCM: sistema de clasificación multicriterio

1.3.1.2 Respuesta agronómica de Tannat según regiones vitícolas del Uruguay

Echeverría (2010) estudió durante 3 años diferentes *terroirs* de los departamentos de Salto y de Durazno. En términos de respuesta de la planta se registraron importantes diferencias entre sitios. En este estudio la región norte (Salto) registró siempre la fecha de cosecha más temprana. En términos de composición de la uva, concluyó que los mostos provenientes de la región norte presentaban mayores valores de concentración de sólidos solubles respecto a la región sur y menores concentraciones de ácidos (málico y tartárico) y mayor pH.

Ferrer *et al.* (2011a) analizaron la respuesta agronómica del cultivar Tannat en 3 de las 6 macro regiones. La respuesta de la planta presentó diferencias entre sitios, influenciada por las características macro climáticas de cada región. Los menores rendimientos fueron detectados en la región norte a causa de un menor tamaño de baya y peso del racimo que estuvo correlacionado negativamente con las condiciones de alta demanda atmosférica y estrés hídrico desde floración a cosecha. En su estudio concluyeron que el efecto “sitio” es preponderante sobre el efecto “año o temporada”.

1.3.2. Efecto año

La variabilidad interanual explica parte la variabilidad a la escala meso-climática de una pequeña región. La variabilidad en las condiciones meteorológicas de un año a otro, particularmente, las térmicas y pluviométricas son parte del “efecto año” o “efecto temporada”. En Uruguay, Tiscornia *et al.* (2016) analizaron la importancia relativa de las tendencias a largo plazo, las tendencias en décadas y la variabilidad interanual en el clima de Uruguay. Estos autores concluyeron que variabilidad interanual es el factor de mayor impacto a escala climática en las condiciones de Uruguay. Por tanto, tiene un impacto directo sobre distintas producciones agropecuarias. El fenómeno por excelencia que genera variabilidad y da predictibilidad a anomalías climáticas año a año en nuestra región es el fenómeno de ENOS (El niño oscilación sur). Asimismo, este fenómeno está muchas veces asociado a eventos climáticos extremos (sequías, inundaciones, etc). De esta forma El Niño (y La Niña) es capaz de provocar importantes variaciones en las precipitaciones y la temperatura de nuestro país (Barreiro *et al.*, 2019).

Es conocido la influencia de las variables meteorológicas sobre el rendimiento y la composición de la uva (Ferrer *et al.*, 2020a, Echeverría *et al.*, 2017a, Fourment *et al.*, 2013, Ferrer 2007, van Leeuwen *et al.*, 2004, Tonietto 1999, Jackson y Lombard 1993). Según Ribéreau-Gayon (1975) el efecto de la temporada suele ser determinante de la calidad de la vendimia y tiene un peso relativo mayor que otros factores asociados al ambiente vitícola. van Leeuwen *et al.*, (2004) demostraron que los factores vinculados al “*Terroir*” como el suelo, el cultivar y el efecto año, explican gran parte de la variabilidad vinculadas al desempeño agronómico de las vides en Bordeaux.

En Uruguay, diversos trabajos ponen de manifiesto la importancia del efecto año sobre el desempeño agronómico de la vid, siendo un aspecto característico de nuestras condiciones de producción (Ferrer *et al.*, 2020a, Echeverría *et al.*, 2017a, Fourment *et al.*, 2013, Ferrer *et al.*, 2011b, Ferrer *et al.*, 2008, González-Neves 2005).

1.3.3. Microclima

El estudio del microclima en viticultura se refiere a las condiciones en el interior de la canopia y en el ambiente subyacente (Smart y Robinson, 1991). El microclima de la canopia será resultado de la interacción compleja entre las condiciones ambientales del lugar, la variedad de vid, el porta-injerto, el suelo sobre el cual está implantado el viñedo (particularmente influyen su capacidad de almacenamiento de agua y disponibilidad de nutrientes) e intervenciones del viticultor, como la elección del sistema de conducción, el manejo de canopia, fertilización y riego (Smart, 1985).

Diversos trabajos han puesto de manifiesto la importancia del microclima sobre diferentes factores de importancia agronómica como el rendimiento (Sánchez y Dokoozlian 2005, Smart y Robsinon 1991, Buttrose 1970), la composición de la uva (Smart 1985, Smart *et al.*, 1985, Carbonneau *et al.*, 1978) y la aptitud sanitaria de la vendimia (Sternad Lemut *et al.*, 2015, Molitor *et al.*, 2011, Zoecklein *et al.*, 1992, English *et al.*, 1989).

La temperatura y la humedad relativa son afectados por la estructura de la canopia, las canopia densas con excesiva cantidad de capas de hojas proporcionan condiciones micro climáticas desfavorables para la maduración, caracterizadas por presentar alta humedad relativa, aumentando la probabilidad de incidencia de enfermedades fúngicas como la

podredumbre gris (Zoecklein *et al.*, 1992, English *et al.*, 1989). Por el contrario, canopias con mayor porosidad suelen presentar condiciones de menor humedad relativa y un mejor flujo de aire, lo que permite reducir la cantidad de horas con tejido mojado y mejorar la eficacia del control fitosanitario (Sternad Lemut *et al.*, 2015, Gubler *et al.*, 1991, English *et al.*, 1989).

En términos de composición de la uva, canopias densas dan origen a mostos con baja concentración de sólidos solubles, elevada concentración de malato y altos contenidos de potasio, resultando en mostos de baja calidad enológica (Kliewer y Bledsoe, 1986). El incremento de la exposición de los racimos representa cambios en la maduración del fruto (Downey *et al.*, 2004, Tarara *et al.*, 2008). La exposición de los racimos a la radiación provoca un aumento de la temperatura de la baya. Incrementos en el rango de 2,2 a 10,7 ° C han sido reportados por Kliewer y Lider (1970). Esto impacta directamente en el proceso de transpiración teniendo un efecto significativo sobre las relaciones hidráulicas y el transporte de sólidos solubles (Rebucci *et al.*, 1997).

Está reportado que incidencia de radiación sobre el racimo presenta un efecto positivo sobre la síntesis de metabolitos secundarios (Smart y Robinson 1991, Smart 1985). Dentro de los metabolitos secundarios se destaca el efecto de la exposición a la radiación sobre el grupo de los flavonoides, en particular, los antocianos y flavonoles (Tarara *et al.*, 2008, Spayd *et al.*, 2002). Bergqvist *et al.*, (2001) señalan que la luz no suele ser un factor limitante sobre la biosíntesis de antocianos, en cambio la temperatura suele tener un efecto más preponderante, influyendo sobre la activación de enzimas vinculadas a las rutas de biosíntesis. Adicionalmente, la exposición del racimo a la radiación permite mejorar la concentración de compuestos aromáticos como los norisoprenoides (Lee *et al.*, 2007) y disminuir aromas metoxipiraxinicos (Sivilotti *et al.*, 2016). Por otra parte, una sobre exposición del racimo puede tener efectos negativos como la generación de daños de quemado del sol y la deshidratación prematura del grano en climas cálidos (Rustioni *et al.*, 2014, Greer y Weston 2010, Rogiers *et al.*, 2004). Ambos fenómenos que impactan negativamente sobre la calidad final de la uva.

1.4. GESTIÓN DE LA CANOPIA

El manejo o gestión de la canopia incluye una serie de operaciones que son llevadas a cabo por el viticultor sobre el dosel vegetal, las cuales tienen por objetivo mejorar el posicionamiento de brotes, regular el número de los mismos y determinar un espacio para el crecimiento del fruto (Smart y Robinson, 1991).

Las tareas de manejo en verde tienen por objetivo mejorar la calidad de la uva, mejorar la superficie foliar expuesta, controlar el rendimiento de manera eficaz, promover un equilibrio adecuado entre la producción y el crecimiento vegetativo, mejorar el microclima de en la zona del racimo y facilitar otras tareas vinculadas a las labores vitícolas (Tardáguila, 2009)

La poda es la práctica cultural más importante para definir la productividad, dado que se define el número de yemas por planta que quedarán durante el ciclo vegetativo, ambas variables presentan una correlación estrecha (Zamboni *et al.*, 1991). Los métodos de poda se han desarrollado para equilibrar la productividad de los frutos y el vigor de la planta, definiendo de forma temprana el equilibrio entre la producción y el crecimiento vegetativo (Senthilkumar *et al.*, 2015). La gestión del rendimiento a través de los métodos de poda puede acarrear resultados no deseados como incremento del vigor de los brotes individuales y/o resultar en una compensación del rendimiento al año próximo mediante un aumento de la fertilidad de la yema (Poni *et al.*, 1994).

La aplicación de las diferentes prácticas de gestión de la canopia constituye un elemento de generación de estrés por eliminación de una parte viva a la planta. Por ello, tienen una implicancia notable desde el punto de vista de la respuesta de la planta a nivel fisiológico, pudiendo afectar directa o indirectamente procesos como la fotosíntesis (Poni *et al.*, 2008, Hunter y Vissier 1989), la tasa de crecimiento de raíces (Hunter *et al.*, 1995), la partición de reservas (Zufferey *et al.*, 2015, Vaillant-Gaveau *et al.*, 2014) y las relaciones hídricas (Medrano *et al.*, 2007, Smart y Robinson 1991).

Dentro de las practicas de gestión de la canopia en verde se incluyen: el desyemado, el despampanado, desfeminelado, despunte, el deshojado y el raleo de racimos.

1.4.1. Deshojado

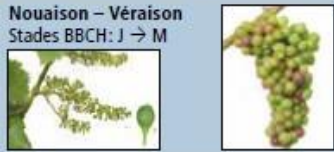
Por definición el deshojado es la práctica que consiste en la eliminación de un número variable de hojas en la zona del racimo (Smart y Robinson 1991). Los objetivos de centrales de esta práctica de manejo son: mejorar el microclima del racimo para favorecer los procesos de maduración (Bergqvist *et al.*, 2001), reducir la incidencia de enfermedades fúngicas como las podredumbres de racimos (Zoecklein *et al.*, 1992, English *et al.*, 1989), mejorar las operaciones de cosecha y otras labores vitícolas (Verdenal *et al.*, 2013), mejorar la eficacia del control fitosanitario (Sternad Lemut *et al.*, 2015, Gubler *et al.*, 1991) y también realizar una regulación de la producción (Verdenal *et al.*, 2018, Verdenal *et al.*, 2017, Diago *et al.*, 2012, , Gatti *et al.*, 2012, Tardáguila *et al.*, 2010, Poni *et al.*, 2006).

En regiones de climas húmedos, subhúmedos y en combinación con materiales genéticos vigorosos (variedad y porta-injerto) esta práctica representa una operación de rutina realizada por los viticultores (Coniberti *et al.*, 2009). El exceso de crecimiento vegetativo, resulta en canopias con excesiva cantidad de capas de hojas, una mayor proporción de racimos en el interior de la canopia siendo un sistema ineficiente para la producción de uva de calidad y regular en el tiempo (Smart y Robinson, 1991).

La realización de esta práctica puede ser realizada de forma manual o mecanizada, existiendo diversos trabajos de investigación que se centran en la comparación entre ambas modalidades (Diago 2010, Tardáguila *et al.*, 2010, Intrieri *et al.*, 2008, Guidoni *et al.*, 2008, Smith *et al.*, 1988).

El deshojado, al igual que otras prácticas de manejo en verde constituye una práctica de regulación de la relación fuente-fosa (Hunter y Vissier 1990, Hunter y Vissier 1989).

La figura 6 presenta los momentos de deshojado y la respuesta esperable en términos de rendimiento, composición, aptitud sanitaria de la vendimia y facilidad para la cosecha.

Période d'effeuillage	Etat sanitaire	Rendement	Gain de temps à la récolte	Qualité des moûts
Boutons séparés – Nouaison Stades BBCH: H → J 	++	--	+	- / ++ Selon le cépage et les conditions climatiques
Nouaison – Véraison Stades BBCH: J → M 	++	- / 0	+	- / + Selon le cépage et les conditions climatiques
Après véraison Stades BBCH: M → N 	+	0	+	- / 0 Le rapport feuille-fruit doit demeurer suffisant
Juste avant la récolte Stade BBCH: N 	0	0	++ Effeillage ciblé sur les grappes	0

Effet très négatif (- -), négatif (-), neutre (0), positif (+), très positif (++).

Figura 6. Momento de deshojado y su consecuencia sobre algunas variables agronómicas de interés. Tomado de Verdenal *et al.* (2013).

1.4.1.1. Deshojados tradicionales

Los deshojados entre cuajado y envero, y en pre cosecha son tradicionalmente utilizados por los viticultores de diversas regiones vitícolas para mejorar las condiciones microclimáticas del racimo y facilitar otras labores vitícolas, constituyendo momentos “clásicos” de aplicación de esta práctica de cultivo (Verdenal *et al.*, 2013).

Numerosos son los trabajos de investigación han estudiado el efecto del deshojado entre estos momentos del ciclo sobre diferentes variables de interés como el rendimiento, la composición de la uva y la incidencia de podredumbres de racimos (Beslic *et al.*, 2013,

Bavaresco *et al.*, 2008, Koblet *et al.*, 1994, Percival *et al.*, 1994, Howell *et al.*, 1994, Zoecklein *et al.*, 1992, English *et al.*, 1989, Bledsoe *et al.*, 1988, Smart 1985).

Cuando el deshojado es realizado en cuajado, y no existen limitantes desde el punto de vista hídrico, nutricional y de reservas de la planta, normalmente se da una recomposición importante del área foliar, promovida por la brotación de las feminelas (Kliwer y Antcliff 1970, Hunter 2000). Por el contrario, cuando se realiza en envero y existe una parada del crecimiento por baja disponibilidad hídrica, así, la capacidad de recomposición del área foliar es mucho menor (Hunter, 2000).

Estudios realizados por Verdenal *et al.* (2018), Tardáguila *et al.* (2008), Zoecklein *et al.* (1992), Bledsoe *et al.* (1988) y Kliwer (1970), sostienen que los deshojados realizados luego de cuajado no modifican componentes del rendimiento. Sin embargo, otros trabajos reportan que los deshojados en envero pueden promover un incremento del peso de la baya, incrementando de esta manera el rendimiento por planta (Percival *et al.*, 1994). Buttrose (1966) señala que cuando se realiza un deshoje en cuajado, se disminuye la partición de materia seca hacia el fruto, impactando negativamente en su tamaño final. Otros trabajos reportan que deshojados severos en cuajado, disminuyen el rendimiento a causa de una reducción del número de bayas por racimo y menor tamaño de las mismas (Kotseridis *et al.*, 2012).

El deshojado suele tener un efecto positivo sobre la composición de la uva. La quita de hojas mejora la interceptación de radiación en la zona del racimo, favoreciendo la transpiración del fruto y aumentando los niveles de precursores primarios y secundarios asociados al metabolismo, lo que en general resulta en una mejora global del proceso de maduración (Hunter, 2000). Bledsoe *et al.* (1988) y Smart *et al.* (1985) reportan un incremento en la concentración de sólidos solubles, una disminución de la acidez titulable, un descenso del pH y descenso del contenido de potasio en la baya. Sin embargo, resultados diferentes se pueden encontrar dependiendo de la variedad y el tipo de clima donde se lleven a cabo (Jackson y Lombard, 1993). Otros trabajos reportan que no existieron cambios sustanciales en la composición de la uva y del vino como el grado alcohólico, la acidez o el pH (Tardáguila *et al.*, 2008). Por el contrario, Bobeica *et al.* (2015) concluyeron que deshojados severos (dejando solo 3 hojas por cada racimo) realizados en una semana antes del envero limitan de manera importante la concentración de azúcares y antocianos, modificando sensiblemente los contenidos de ácido málico y tartárico en el transcurso de la maduración. Otros autores también

han encontrado una respuesta negativa sobre la concentración de sólidos solubles cuando los deshojados se hacen de manera intensa en cuajado (Vasconcelos y Castagloni, 2000).

Deshojados en cuajado y envero sobre el cultivar Tannat, no modificaron los metabolitos primarios, mientras si existió una mejora en el potencial antociánico de la uva y la extractabilidad de antocianos (Piccardo, 2008). Salvarrey (2016) concluyó que el efecto del deshojado en cuajado sobre la concentración de azúcares fue dependiente de las condiciones del año, mientras que no evidenció efectos significativos sobre la acidez, el pH y el potencial antociánico.

Los efectos del deshojado también han sido evaluados en el vino, algunos resultados reportan un incremento de la intensidad colorante de los vinos que provienen de vides deshojadas (Tardáguila *et al.*, 2008), mejora en atributos aromáticos (Poni *et al.*, 2018, Sivilotti *et al.*, 2016, Feng *et al.*, 2015), disminución del pH y del contenido de ácido málico (Coniberti *et al.*, 2012).

1.4.1.2. Deshojado en pre-floración

El deshojado en pre floración es una práctica de cultivo que ha ido ganando popularidad entre los viticultores de diferentes regiones del mundo, y desde los estudios pioneros de Poni *et al.* (2006) ha sido motivo de estudio en diferentes regiones vitivinícolas (Moreno *et al.*, 2019, Verdenal *et al.*, 2018, Verdenal *et al.*, 2017, Sternad Lemut *et al.*, 2015, Risco *et al.*, 2013, Diago *et al.*, 2012, Sabbatini y Howell 2010, Tardáguila *et al.*, 2010, Poni *et al.*, 2009, Poni *et al.*, 2008, Poni *et al.*, 2006).

A diferencia de los deshojados clásicos, el deshojado en pre-floración se realiza en un momento no tradicional. Las premisas fisiológicas que sustentan la aplicación de esta práctica de cultivo han sido puestas de manifiesto por trabajos que datan de varias décadas (Caspari y Lang 1996, Coombe 1962) que luego han sido sustentados por trabajos más recientes (Frioni *et al.*, 2018, Palliotti *et al.*, 2011, Intrieri *et al.*, 2008, Petrie *et al.*, 2003). Estos trabajos demostraron una estrecha relación funcional que entre el rendimiento de la planta y la disponibilidad de carbohidratos al momento de la floración.

El deshojado pre-floración consiste en la eliminación de 6-8 hojas basales en el período comprendido entre los estados 17 y 19 (Coombe, 1995), los cuales corresponden a la

separación de botones florales en la inflorescencia y apertura de las primeras flores. El estado de pre-floración (17 según Coombe 1995) se corresponde a la meiosis del óvulo siendo un momento crítico del ciclo fenológico de la vid. Durante este momento se está produciendo una transición a nivel de la planta en el flujo de carbohidratos. La fuente de carbohidratos para sustentar los procesos del crecimiento está dejando de ser las partes perennes de la planta (tronco y raíces), para pasar a ser las hojas basales que en este momento ya presentan plena la actividad fotosintética para a suplir las necesidades de desarrollo de la inflorescencia (Lebon *et al.*, 2008).

Los primeros trabajos de investigación realizados en el norte de Italia sobre las variedades Sangiovese y Trebbiano, reportan una disminución de la tasa de cuajado (6- 19 %) respecto a un testigo sin deshojar. La disminución de la tasa de cuajado resulta en racimos más pequeños y más laxos a causa de una menor cantidad de bayas por racimo (Poni *et al.*, 2006).

Diversos trabajos son los que sustentan la eficacia de la práctica como una técnica de gestión del rendimiento en diferentes variedades de *Vitis vinifera*. L (Risco *et al.*, 2013, Diago *et al.*, 2012, Gatti *et al.*, 2012, Tardáguila *et al.*, 2010, Sabbatini y Howell 2010). Como efecto colateral, la disminución de la tasa de cuajado tiene efectos sobre la arquitectura del racimo. Distintos trabajos demuestran que la compacidad del racimo se reduce cuando se ejecuta esta práctica de cultivo (Sternad Lemut *et al.*, 2015, Hed *et al.*, 2015, Molitor *et al.*, 2011, Tardáguila *et al.*, 2010, Poni *et al.*, 2006). La obtención de racimos más laxos tiene como ventaja, la disminución de la susceptibilidad a la incidencia de podredumbres, ya que dicho carácter se encuentra estrechamente asociado a la susceptibilidad varietal a este tipo de enfermedades (Pañitur de la Fuente *et al.*, 2018, Vail y Marois 1991, Marois *et al.*, 1986).

El efecto sobre el crecimiento vegetativo parece ser dependiente del tipo de clima donde se ejecute (Risco *et al.*, 2013). Como se abordó en párrafos anteriores, la quita de hojas rompe el efecto de paradormancia ejercido por la hoja en la yema pronta, estimulando el crecimiento de los brotes secundarios. La brotación secundaria es la principal causa de recuperación de área foliar luego del deshojado (Hunter, 2000). Episodios de estrés a causa de aplicaciones continuas de esta práctica puede llevar a una pérdida de capacidad de recuperación del área foliar de las plantas impactando en el desempeño agronómico del cultivo el mediano-largo plazo (Risco *et al.*, 2013).

El deshojado pre floración provoca un cambio en la calidad de la fuente. Al aplicar un deshojado temprano, la brotación secundaria sustituye las hojas principales. Estudios realizados por Hunter y Vissier (1989) demuestran que las hojas que permanecen en la panta luego del deshoje son capaces de estimular su actividad fotosintética. Poni *et al.* (2008) y Palliotti *et al.* (2011) pusieron en evidencia la respuesta fisiológica en el corto-mediano plazo de las vides con deshoje en pre-floración, en su estudio demostraron que la planta disminuye su capaz global de fotosíntesis neta a causa de la eliminación de hojas en el plazo inmediato, pero luego es capaz de incrementar la capacidad de fijación de carbono gracias a la mayor actividad de las hojas remanentes así como una canopia compuesta por hojas más jóvenes proveniente de la brotación secundaria.

La disminución del rendimiento y la recomposición de área foliar resulta normalmente un aumento de la relación hoja fruta (Verdenal *et al.*, 2013, Poni *et al.*, 2006). La mejora en la relación hoja-fruta y en la calidad fuente tiene como consecuencias algunas mejoras en términos de composición de la uva. Estudios en distintas variedades de *Vitis vinifera*. L han demostrado que aplicando deshojados enpre floración es posible incrementar la concentración de sólidos solubles de la uva, incrementar el potencial antociánico de la uva, mejorar el perfil aromático y la valoración general de los vinos (VanderWeide *et al.*, 2021). Los efectos sobre otras variables de interés como la acidez titulable y el pH no son consistentes. Tardáguila *et al.* (2010) y Gatti *et al.* (2012) reportaron un incremento en los contenidos de ácido tartárico en las vides con deshoje en pre floración.

La quita de hojas basales contribuye disminuyendo la migración de potasio desde las hojas hacia las bayas, siendo el potasio el principal catión presente en la uva y principal agente neutralizante de la acidez (Etchebarne *et al.*, 2010, Possner y Kliwer 1985). De este modo, el deshojado, puede contribuir a mantener estables los niveles de pH, tal y como reportan Coniberti *et al.* (2012) estudiando diferentes tipos de deshojado en el cultivar Tannat.

Los componentes de la baya pueden verse modificados por la temprana exposición de la inflorescencia a la radiación. Poni *et al.* (2009) estudiando el efecto del deshojado pre floración en los cultivares Lambrusco y Barbera notifican que esta práctica puede incrementar la proporción relativa de hollejos de la baya. Verdenal *et al.* (2017) demostraron que el deshojado prefloración es capaz de promover un incremento en la cantidad de capas de células

hipodérmicas, siendo éstas una explicación adicional sobre la mejora que tiene esta práctica sobre la concentración de antocianos y la resistencia al quemado del sol.

1.4.2. Raleo de racimos

El raleo de racimos (RM) constituye la práctica más utilizada en viticultura para la regulación del rendimiento. Con esta práctica se promueve un aumento de la relación superficie foliar-rendimiento, existiendo una mayor disponibilidad de fotoasimilados para los racimos restantes. Al igual que el deshojado, el raleo de racimos constituye una técnica de modificación de la relación fuente-fosa (Kliewer y Dokoozlian 2005, lacono *et al.*, 1991, Kliewer y Weaver 1971). Esta práctica puede ser aplicada en distintos momentos del ciclo, aunque los efectos más promisorios se consiguen en enero (Reynier, 2005). A diferencia del deshojado pre floración esta práctica de cultivo no afecta la compacidad del racimo. Sin embargo, algunos trabajos reportan que es efectiva para reducir la incidencia de podredumbres (Pallioti y Cartechini, 1998).

Ferrer y González-Neves (2002) evaluaron distintos momentos de raleo de racimos sobre la variedad Tannat. Entre sus resultados, reportan que el raleo manual en enero tuvo un impacto más marcado sobre la reducción de la producción respecto al raleo manual en cuajado. La realización en cuajado implicó una compensación del rendimiento a través del incremento del peso del racimo. Resultados similares fueron obtenidos por Mota *et al.* (2010) en el sur de Brasil. Sin embargo, otros autores reportan que el momento de raleo tiene poco efecto sobre los componentes del rendimiento como el peso del racimo y el peso de la baya (Dokoozlian y Hirschfeld, 1995).

Es reconocido que las prácticas de manejo que regulan la producción, como el raleo de racimos, suelen tener un efecto positivo sobre la composición de la uva (Howell 2001, Jackson y Lombard 1993). Numerosos trabajos han demostrado que, mediante el raleo de racimos, es posible mejorar atributos asociados a la calidad enológica como ser: la concentración de azúcares y la concentración de polifenoles y aromas (Alem *et al.*, 2019, Wang *et al.*, 2018, Gatti *et al.*, 2012, Guidoni *et al.*, 2008, Reynolds *et al.*, 2007, Keller *et al.*, 2008, González-Neves 2005, Guidoni *et al.*, 2002).

La mejora en los atributos enológicos es atribuida a un incremento de la relación fuente-fosa. La relación entre el área foliar y el rendimiento, constituye un indicador fisiológico utilizado

en viticultura, así como en otros cultivos perennes. Kliewer y Dokoozlian (2005) reportan un rango óptimo de 0,8-1,2 m² de área foliar total por kg de uva para tener un correcto proceso de maduración.

Para las condiciones de Uruguay trabajos realizados por Echeverría *et al.* (2017a), Ferrer *et al.* (2008) y Ferrer *et al.* (1997) estudiando el cultivar Tannat, comunican un rango de equilibrio fisiológico entre 0,60-0,80 m² de superficie foliar expuesta/kg fruto en sistemas de conducción de planos verticales. De acuerdo con Echeverría *et al.* (2017a) por encima de ese rango se produce una superposición del follaje y un desequilibrio vegetativo-productivo que resulta en mostos de menor calidad y aumento de los riesgos fitosanitarios.

Otro indicador de importancia es el índice de Ravaz (Ravaz, 1909) el cual relaciona la producción de uva con la producción de madera del año. Valores entre 5 y 10 son considerados dentro del rango de equilibrio (Bravdo *et al.*, 1985). Para el sur del Uruguay Ferrer *et al.* (1997) determinaron un rango entre 6-8 como valores de equilibrio para el cultivar Tannat.

Existen trabajos que reportan una aceleración del proceso de maduración de la uva a causa del RM, explicado por un incremento de la concentración de sólidos solubles y disminución de la acidez (Bubola *et al.*, 2012, Pastore *et al.*, 2011, Reynolds *et al.*, 2007), mientras que otros trabajos no encontraron cambios significativos en el proceso (Fanzone *et al.*, 2011, Keller *et al.*, 2005). En condiciones de clima frío y con alta variabilidad interanual, Frioni *et al.*, (2017) reportan que los cambios a nivel de la composición de la uva inducidos por el raleo de racimos son altamente dependientes de las condiciones de la temporada, en su estudio concluyeron que durante los años con baja acumulación térmica y con alta pluviometría la práctica producía un efecto significativo sobre la composición de la uva, mientras que en un año con condiciones más favorables para la maduración los efectos no fueron significativos. Similares resultados fueron obtenidos por Keller *et al.* (2005), Corino *et al.*, (1991), Iacono *et al.*, (1991).

El análisis del efecto del raleo de racimos sobre los metabolitos secundarios ha sido abordado por diferentes trabajos (Gil *et al.*, 2015, Gatti *et al.*, 2012, Guidoni *et al.*, 2008, González-Neves 2005, Guidoni *et al.*, 2002). De manera general, estos trabajos reportan un incremento en la concentración de polifenoles como antocianos y taninos, que resultan en vinos con mayor intensidad colorante y mejor valoración sensorial (Gil *et al.*, 2015, González-Neves

y Ferrer, 2008). Además de incrementar la concentración de antocianos, a través del raleo de racimos es posible modificar el perfil antociánico de la uva, modificando los porcentajes de las formas di sustituidas y trisustituídas (Guidoni *et al.*, 2008).

1.5. MICROBIOTA DE LA UVA

La superficie de la baya es rica en microflora. Dentro de los organismos presentes se encuentran hongos filamentosos, levaduras y bacterias. Muchos de estos microorganismos tienen impacto poco significativo sobre la composición físico-química de la uva, mientras que otros pueden suponer importantes modificaciones, comprometiendo la calidad de uva y del vino (Steel *et al.*, 2013).

Estudios recientes reportan que puede existir un patrón de distribución geográfico de la microbiota contribuyendo a la generación de tipicidad de productos agrícolas, lo que se conoce en viticultura como el efecto “*Terroir*” (Liu *et al.*, 2019). Estos patrones biogeográficos se observan en escalas de cientos de miles de kilómetros y están influidos por factores asociados al clima, la topografía y las intervenciones antrópicas (Morrison-Whittle y Goddard 2017, Portillo *et al.*, 2016). A escala macro climática, la microbiota de la uva presenta patrones de distribución regional que están significativamente condicionados por los entornos locales (por ejemplo, las temperaturas y las precipitaciones) y se ven débilmente afectados por la añada, por ejemplo, la temperatura máxima y la temperatura media (Liu *et al.*, 2019). Sin embargo, las poblaciones de microorganismos en la uva pueden variar considerablemente entre viñedos e incluso durante el ciclo de crecimiento de la vid (Liu y Howell 2021, Steel *et al.*, 2013).

Las variaciones de las añadas influyen sustancialmente en las comunidades microbianas en escalas geoespaciales pequeñas (viñedos individuales) más que en las grandes escalas (regiones), observándose patrones fúngicos más estables entre añadas (Bokulich *et al.*, 2014). El efecto año puede afectar significativamente la biodiversidad de las poblaciones de levaduras en la uva y mosto (Vigentini *et al.*, 2015, Sabate *et al.*, 2002).

Algunos de los organismos presentes en la superficie (epífitos) o en el interior (endófitos) de la uva pueden ser transferidos al mosto y tener importantes implicancias desde el punto de vista de la calidad del producto final. Por tanto, estos microorganismos pueden ser benéficos,

neutrales o patogénicos (Morrison-Whittle y Goddard 2017, Steel *et al.*, 2013, Barata *et al.*, 2012b).

El balance del microbioma de la vid es afectado por factores bióticos y abióticos, también por las fluctuaciones espaciales y temporales de las condiciones del ambiente, las características de la uva, la cual va cambiando acorde evoluciona el ciclo fenológico y a través de la acción del hombre mediante la ejecución de prácticas de manejo vitícola (Liu *et al.*, 2019).

Estudios demuestran que a través de las prácticas vitícolas como el deshojado, es posible reducir la abundancia relativa de hongos filamentosos como *Botrytis cinerea* agente causal de la podredumbre gris (Sternad Lemut *et al.*, 2015, Duncan *et al.*, 1995). El deshojado puede modificar a su vez la estructura de la baya y la compacidad del racimo, esta última característica está íntimamente ligada a la incidencia de podredumbres (Pañitur de la Fuente *et al.*, 2018, Verdenal *et al.*, 2017, Vail y Marois 1991). Por otra parte, el deshojado promueve una mejor exposición del racimo lo cual mejora la penetración de los fungicidas, estos últimos constituyen un mecanismo de modificación del microbioma actuando como un mecanismo de selección (Liu *et al.*, 2019, Sternad Lemut *et al.*, 2015). A su vez la mayor exposición del racimo provoca una mayor intercepción de radiación. Distintos autores han puesto de manifiesto el efecto negativo de la radiación UV-B sobre la viabilidad de los conidios de *Botrytis cinerea* y otras especies de hongos (Canessa *et al.*, 2013, Elad *et al.*, 2007)

Los microorganismos de la uva pueden ser divididos en distintos grupos acorde a su implicancia tecnológica en la producción de uva y vino (Barata *et al.*, 2012b). El primer grupo lo constituyen los hongos; la planta de vid es afectada por hongos patógenos, dentro de los más conocidos se encuentran *Plasmopara viticola*, *Erysiphe necator* y *Botrytis cinerea*. También puede verse colonizada por hongos saprofitos como por ejemplo *Cladosporium* spp., *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Alternaria* spp., responsables de podredumbres de racimos y adicionalmente, algunas especies presentan potencial micotoxigénico. El efecto negativo que tienen estos microorganismos es a causa del daño que realizan en la uva y no en el vino, debido a que son organismos aerobios que no pueden crecer en las condiciones de anaerobiosis que se dan durante la vinificación (Steel *et al.*, 2013, Barata *et al.*, 2012a).

El segundo grupo de microorganismos lo conforman un consorcio de microorganismos que puede sobrevivir a las condiciones de anaerobiosis que se dan durante la etapa de vinificación, a este grupo pertenecen levaduras de los Phylum Ascomycota: *Hanseniaspora* spp,

Candida spp., *Lachancea* spp., *Metschnikowia* spp., *Debaryomyces* spp. y Basidiomicota: *Cryptococcus* spp. Estas especies pueden ser responsables del deterioro de atributos del vino, a través de procesos oxidativos resultando, por ejemplo, en la generación de aromas desagradables. Otras especies de levaduras presentan capacidad fermentativa: *Torulaspora* spp., *Zygosaccharomyces* spp., *Saccharomyces* spp., *Schizosaccharomyces* spp. (Barata *et al.*, 2012b).

El último gran grupo de microorganismos está representado por las bacterias, dentro de las cuales se puede distinguir entre aquellas que son aerobias y las aerobias facultativas. Dentro de las primeras se encuentran: *Gluconobacter* spp., *Acetobacter* spp., *Gluconoacetobacter* spp. Dentro de las aerobias facultativas se encuentran aquellas especies responsables de la fermentación maloláctica como: *Oenococcus* spp., *Lactobacillus* spp., *Pediococcus* spp., *Weissella* spp. Un tercer grupo de bacterias son contaminantes inocuos, es decir que no tienen mayor implicancia desde el punto de vista tecnológico. Dentro de estas especies se encuentran: *Acinetobacter* spp., *Curtobacterium* spp., *Pseudomonas* spp., *Serratia* spp., *Enterobacter* spp., *Enterococcus* spp., *Bacillus* spp., *Staphylococcus* spp (Barata *et al.*, 2012b)

1.5.1 Importancia de las podredumbres de racimos

El complejo podredumbre de racimos está causado por una serie de microorganismos, dentro de los cuales se incluyen hongos filamentosos, bacterias y levaduras. Las podredumbres de racimos representan un problema para la producción vitícola en diversas regiones del mundo, siendo una limitante mayor en condiciones de clima templado y húmedo como las de Uruguay (Ferrer *et al.*, 2020a, Ferrer *et al.*, 2020b, Coniberti *et al.*, 2018a, Echeverría *et al.*, 2017a, Ferrer *et al.*, 2009).

Durante los veranos lluviosos y húmedos se dan condiciones predisponentes para la incidencia de estas enfermedades, las cuales tienen un impacto directo sobre la cuantía de la cosecha y sobre la composición de la uva. La incidencia de podredumbres implica una pérdida de producción por procesos de deshidratación de la uva, descarte de racimos y pérdida de jugo. Por otra parte, algunas especies de hongos vinculados al complejo podredumbre de racimos tienen potencial micotoxigénico, lo que puede representar una problemática para la

salud humana e implicar importantes barreras a la comercialización (Nogueira *et al.*, 2020, Ferrer *et al.*, 2009, Rosa *et al.*, 2004).

Cuando ocurren eventos de precipitaciones cercanos a la cosecha las prácticas vitícolas no suelen ser del todo efectivas para reducir la incidencia de estas enfermedades. Bajo estas condiciones, los productores optan por realizar una cosecha prematura de la uva, muchas veces sin llegar a los estándares de composición adecuados para la obtención de un producto de calidad (Coniberti *et al.*, 2018a, Ferrer *et al.*, 2009).

Las previsiones en relación al cambio climático en Uruguay muestran algunos escenarios donde se prevé un aumento de las precipitaciones en el período primavera- estival (Giménez *et al.*, 2009). Bajo esta situación, existe el riesgo del aumento de la presión fitosanitaria sobre los sistemas vitícolas, en particular aquellos escenarios vinculados al incremento de la incidencia de podredumbres de racimos.

Por otra parte, existen numerosos factores que limitan el control de estas enfermedades. El momento de aparición de los síntomas suele responder a los estados avanzados de maduración donde la posibilidad de aplicación de productos fitosanitarios se encuentra restringida por los tiempos de espera de los productos y los límites máximos de residuos permitidos en la uva y el vino. A su vez, el control debe ser aplicado de forma tal de evitar la aparición de genotipos resistentes (Leroux, 2004).

1.5.2. Podredumbre gris

El agente causal de esta enfermedad es *Bortyitis cinerea* Pers. (teleomorfo *Botryotinia fuckeliana*) un hongo necrotrófico, saprofito facultativo y generalista perteneciente al Phylum Ascomycota. Es un hongo ubicuo que afecta a más de 200 especies de vegetales en su mayoría dicotiledóneas que crecen en regiones de clima templado y subtropicales (Elad *et al.*, 2007).

La podredumbre gris es una enfermedad que afecta distintos órganos de la vid: hoja, inflorescencia, sarmiento y racimo, siendo este último el que reviste mayor importancia desde el punto de vista tecnológico (Agrios, 1995). Es la enfermedad más importante, desde el punto de vista económico, que afecta al cultivo en numerosas regiones del mundo. Como ejemplo, el

costo estimado que tiene la incidencia de esta enfermedad sobre la industria de la uva y el vino en Australia asciende a 52 millones de dólares por año (Scholefield y Morison, 2010).

Es una enfermedad particularmente importante en regiones de climas templados y húmedos durante los meses de primavera y verano. La incidencia de la misma provoca pérdidas de producción por deshidratación del grano, descarte de racimos afectados y pérdida de jugo. Es también el principal motivo de pérdidas poscosecha en uva de mesa, durante el almacenamiento y el tránsito hacia los mercados de venta (Latorre *et al.*, 2016).

En Uruguay la incidencia de la enfermedad puede ser muy importante. Echeverría *et al.* (2017a) en el verano más lluvioso de una serie de cuatro años determinaron un promedio de incidencia de podredumbres del 47% para un conjunto de 9 viñedos de Tannat del sur de Uruguay. Los mismos autores, analizaron el efecto de los factores temporada, suelo, relación fuente/fosa y sus interacciones, sobre las podredumbres de racimo. Encontraron que la combinación: temporada*fuentes/fosa explicaban el 43% de la variabilidad, el suelo el 22%, temporada*suelo un 14%, temporada el 11% y suelo*fuentes/fosa el 8%.

De acuerdo a Ferrer *et al.* (2009), las pérdidas pueden ser superiores al 50 % de la cosecha.

Los síntomas de la enfermedad varían considerablemente según el órgano afectado, siendo el síntoma más característico el de una podredumbre blanda, acompañada por el colapso de los tejidos del parénquima y la aparición de una masa gris de conidios (Elad *et al.*, 2007).

Es una enfermedad compleja, de difícil control debido a que el hongo posee múltiples modos de ataque, diversos hospederos que pueden funcionar como fuente de inóculo y múltiples estructuras de supervivencia (micelio, esclerocios, conidios) los cuales pueden permanecer por mucho tiempo en el viñedo (Elad *et al.*, 2007).

Varios factores son claves en el desarrollo de las epidemias, como por ejemplo las condiciones meteorológicas (Molitor *et al.*, 2016, Fermaud *et al.*, 2008), la susceptibilidad de hospedero (Pañitur de la Fuente *et al.*, 2018) así como el nivel de vigor de las plantas (Mundy 2008, Valdés-Gómez *et al.*, 2008). La complejidad de la enfermedad resulta en que los métodos de control no se centran únicamente en una sola estrategia, normalmente se emplean técnicas de gestión de la canopia y prácticas culturales en combinación con aplicaciones preventivas de

fungicidas(Elad *et al.*, 2007). El empleo de fungicidas debe ser realizado de manera racional, ya que es un hongo con alta probabilidad de generar resistencia (Leroux, 2004), por otra parte, el empleo de fungicidas tiene una percepción negativa por parte de los consumidores de vino (Gullino y Kuijpers ,1994).

1.5.2.1. Ciclo de la enfermedad

. *Botrytis cinerea* Pers. puede sobrevivir como micelio o como esclerocios en partes de la planta como: racimos senescentes, sarmientos secos o pecíolos senescentes de las hojas. Además, puede permanecer en numerosas plantas hospederas dentro del viñedo, o en restos vegetales en descomposición. Dependiendo de la temperatura, el micelio de *Botrytis cinerea* puede sobrevivir más de 30 semanas en los restos de poda (Elmer y Michailides, 2004).

Luego del invierno, las estructuras de supervivencia del hongo producen abundantes conidios, constituyendo el inóculo primario de la enfermedad. Aira *et al.* (2009) concluyeron que las esporas del hongo están presentes en el aire durante todo el ciclo de cultivo presentando máximos en el período cercano a la floración y próximos a la cosecha. Otros estudios proponen que la mayor concentración de conidios en el ambiente se da luego de días cálidos y lluviosos (Stepalska y Wolek 2005, Rodríguez-Rajo *et al.*, 2002).

La diseminación de los conidios es preferentemente realizada por el viento y por las gotas de lluvia. Aunque se ha demostrado que también ciertos insectos pueden transportar los conidios dentro del viñedo, tal es el caso de la polilla del racimo *Lobesia botrana* o *Criptomus gnidiella* (Pavan *et al.*, 2014, Gallet 1977). Luego de que ocurren las primeras infecciones los conidios se pueden diseminar por el contacto baya con baya.

Según Latorre *et al.* (2016) la infección puede ocurrir por diversas vías, donde se destacan al menos tres. La primera de ellas, es la infección a través del pedicelo, el hongo ingresa mediante la cicatriz producida luego de la caída de caliptra. Los síntomas comienzan en la unión de la baya con el pedicelo y progresan hacia la zona estilar. Esta vía de infección parece ser la más frecuente durante la floración del cultivo (Holz *et al.*, 2007). La segunda vía, es la infección del extremo del estigma cuando se da la apertura de la flor, los síntomas se comienzan a observar en el extremo estilar de la baya madura. Es una vía de infección que ha sido poco reportada en los principales países productores de uva. La tercera vía es la infección lateral, la

cual se produce por el contacto baya con baya. Esta vía de infección es común luego de un evento de precipitación cercano a cosecha, en estos casos los conidios son depositados entre las bayas por las gotas de lluvia. Las lesiones comienzan como pequeñas manchas necróticas de color marrón- rojizo en la superficie de la baya.

La floración es un momento altamente favorable para las infecciones por *Botrytis cinerea*, lo cual se explica por la abundancia de polen y exudados azucarados que se producen durante este evento fenológico además de la abundante presencia de inóculo del patógeno (Aira *et al.*, 2009). Siendo este, un momento clave en la epidemiología de la enfermedad (Molitor *et al.*, 2016).

Es conocida la capacidad de *B. cinerea* de causar infecciones latentes (Ciliberti *et al.*, 2015, Latorre y Rioja 2002). Durante la floración los conidios son capaces de germinar a través del estigma de la flor permaneciendo latente hasta que las condiciones ambientales y la susceptibilidad de la baya sean propicias para el crecimiento del hongo, normalmente esta situación se da desde comienzos de la maduración (Latorre y Rioja, 2002). El estado de latencia suele coincidir con la fase de crecimiento herbáceo de la baya, momento en el cual, los mecanismos de defensa constitutivos e inducibles de la baya son elevados (Keller *et al.*, 2003). Por ejemplo, la acumulación de fitoalexinas como el resveratrol funcionan como importantes mecanismos de defensa (Keller *et al.*, 1998, Bavaresco *et al.*, 1997).

Por otra parte, *B. cinerea* es capaz de colonizar restos vegetales senescentes durante la floración, como la caliptra, estambres y bayas abortadas en el transcurso del período floración cuajado, permaneciendo en estado de quiescencia. En las variedades que presentan racimos compactos, estos restos pueden quedar adheridos en el interior del racimo en la etapa de cierre de racimo, constituyendo una potencial fuente de inóculo durante la maduración del fruto (Murray *et al.*, 2019, Molitor *et al.*, 2016, Wolf *et al.*, 1997).

Las infecciones secundarias se dan luego de que aparecen los primeros racimos con síntomas, en estos racimos se produce el signo del hongo, constituido por micelio gris donde se producen conidióforos que dan lugar a conidios, estos constituirán el inóculo para los ciclos de infección secundaria.

El ciclo de la enfermedad se presenta en la figura 7.

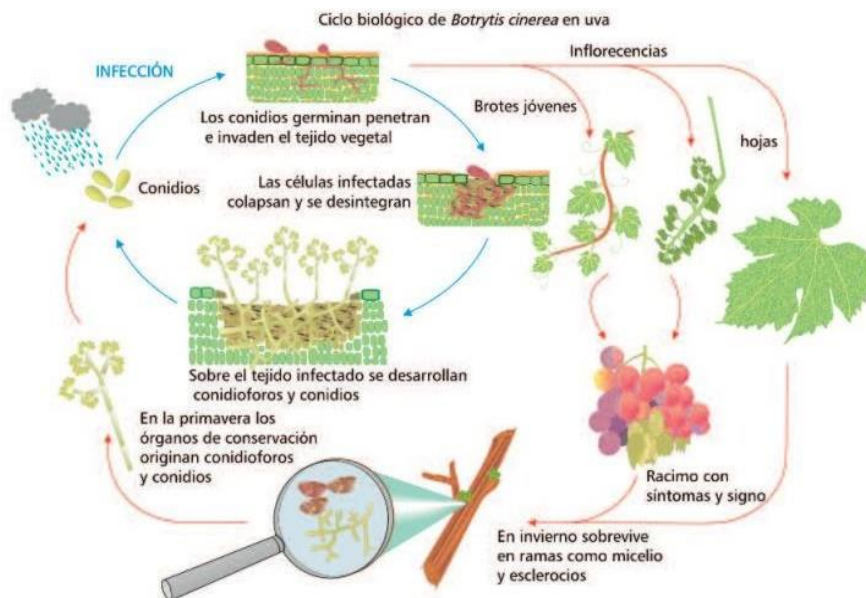


Figura 7. Ciclo biológico de *Botrytis cinerea*. Tomado de Murray *et al.* (2019).

1.5.2.2. Condiciones predisponentes

Para que el desarrollo de la enfermedad sea posible deben cumplirse las siguientes condiciones, un hospedero susceptible, que las condiciones ambientales sean favorables para el desarrollo del patógeno y la presencia de este último (Agrios, 1995)

Los factores genéticos juegan un rol importante en lo que concierne a la susceptibilidad varietal. Es ampliamente reconocido que las variedades de racimos más compactos son más propensas a la incidencia de podredumbres (Pañitur de La Fuente *et al.*, 2018, Vail y Marois 1991). Las variedades de racimos compactos presentan menor contenido de cera epicuticular entre en las bayas, factor que ha sido asociado como un mecanismo pasivo de defensa frente al ataque de patógenos (Marois *et al.*, 1986). A su vez, este tipo de racimos son más propensos a que se produzcan lesiones, las cuales son una vía de entrada importante para el hongo. Otros factores varietales como el grosor de la cutícula, el número de células hipodérmicas, la firmeza de la pulpa y la alta porosidad de las bayas están reportados en la literatura como factores

asociados a la susceptibilidad a la incidencia de *B. cinerea* y otras podredumbres (Mikota Gabler *et al.*, 2003, Comménil *et al.*, 1997, Bisiach *et al.*, 1982).

Las condiciones ambientales propicias para el desarrollo de esta enfermedad incluyen temperaturas frescas, niveles altos de humedad relativa y agua libre (Steel *et al.*, 2011, Broome *et al.*, 1995). La germinación de conidios se produce en un rango entre 0 a 30 ° C, por encima de los 30 ° C los conidios no son producidos y pierden capacidad de germinar (Latorre *et al.*, 2016). El agua libre juega un rol fundamental ya que es un requisito para la germinación de los conidios (Ciliberti *et al.*, 2015). Estudios realizados por Latorre y Rioja (2002) demostraron que la temperatura óptima para la germinación de conidios se encuentra en 20 °C. A esta temperatura se da el menor tiempo de incubación siendo de 24 horas para flores y 48 horas para bayas.

En las condiciones de Uruguay, Ferrer *et al.* (2009) señalan que los años con mayor incidencia de podredumbres corresponden a aquellos que presentan temperatura máxima más baja que la media climática y una alta concentración de precipitaciones durante el período de maduración de la baya.

1.5.2.3. Impacto sobre el mosto y el vino

La incidencia de la enfermedad tiene un impacto negativo sobre los principales atributos ligados a la calidad del vino como: ácidos orgánicos, compuestos fenólicos y aromas varietales (Ribéreau-Gayon 2006a, Ribéreau-Gayon 1982, Ribéreau-Gayon 1980).

B. cinerea altera el metabolismo de los carbohidratos. A través de su maquinaria enzimática produce la degradación de la pared celular de la baya, formando polisacáridos de alto peso molecular como los β 1-3 y β -1-6 glucanos que dificultan el proceso de clarificación de los vinos. El hongo puede metabolizar la glucosa y transformarla en glicerol y ácido glucónico. Estos metabolitos pueden ser utilizados por otros microorganismos presentes en el mosto y transfórmalos en ácido acético o dihidroxiacetona (Steel *et al.*, 2013).

La concentración de ácido glucónico representa un criterio de evaluación de la calidad del mosto, concentraciones por encima de 300 mg/l son reportadas como excesivamente altas y consideradas como un indicador de la presencia de *B. cinerea* (Ribéreau-Gayon *et al.*, 2006a). Si bien la producción de este metabolito está asociada a *B. cinerea*, la misma no es

exclusiva de este hongo, otros hongos filamentosos como especies de *Aspergillus* y bacterias asociadas a la podredumbre ácida pueden producirlo. Los vinos elaborados a partir de uva sana deberían tener concentraciones no mayores a 0,5 g/l. (Ribéreau-Gayon *et al.*, 2006a)

Los mostos que provienen de uva con infección por *B. cinerea*, además de ácido glucónico presentan elevadas concentraciones de glicerol (Brinkmann *et al.*, 2003). Al igual que el ácido glucónico este metabolito es formado como consecuencia del catabolismo de la glucosa. A diferencia del ácido glucónico, el glicerol se forma en etapas tempranas de la infección e incrementa su concentración cuando se da el tipo de podredumbre utilizada para la elaboración de vinos licorosos. Normalmente una relación glicerol/glucónico baja indica un estado avanzado de la podredumbre o la presencia de podredumbre ácida (Zoecklein *et al.*, 2001). La concentración de glicerol reportada en mostos proveniente de uvas botritizadas varían entre 5-7 g/l, mientras que en uva altamente afectada puede alcanzar los 30 g/l (Ribéreau-Gayon *et al.*, 2006a).

La producción de enzimas oxidativas es otra característica de las infecciones producidas por *B. cinerea* y otros hongos filamentosos. Las lacasas son enzimas oxidasas extracelulares producidas por hongos y algunas plantas. Las mismas exhiben una gran diversidad de actividad y acción catalítica. Los sustratos que pueden ser oxidados por estas enzimas se caracterizan por presentar una estructura di fenólica. En el mosto existen una amplia gama de sustratos adecuados para la acción de las lacasas siendo los principales compuestos oxidables los no flavonoides como el ácido cafeico y el ácido *p*-cumárico (Steel *et al.*, 2013). Está documentado que estas enzimas favorecen el proceso de infección por parte del hongo y la cantidad de lacasa presente en el mosto está correlacionada con el nivel de incidencia de la enfermedad (Mayer y Staples, 2002). Los efectos nocivos en el mosto y el vino incluyen la pérdida de color, así como otros problemas vinculados a la oxidación del vino. Los compuestos difenólicos oxidados se transforman en sus correspondientes quinonas las cuales son altamente inestables y reaccionan con otros compuestos formando pigmentos de color marrón (Singleton, 1987).

Otro de los efectos negativos de la incidencia de *B. cinerea* es la generación de gustos y aromas desagradables. En conjunto, estos compuestos generados por el metabolismo del hongo se describen como aroma a tierra. Entre algunos de estos compuestos se encuentran el fenchon, la fenchona, la geosmina, el dos metil soborneol y el 2-heptanol (Steel *et al.*, 2013).

1.5.2.4. Estrategias de control

La estrategia de control de esta enfermedad ha ido presentando modificaciones en la medida de que se conoce más sobre aspectos vinculados a la biología del hongo y a su epidemiología (Latorre *et al.*, 2016).

Es ampliamente aceptado que el manejo de la enfermedad debe estar inmerso en un sistema de manejo integrado de enfermedades. Como se adelantó en párrafos anteriores, no es posible alcanzar niveles de incidencia tolerables utilizando una única estrategia. Según Ky *et al.* (2012) los niveles de tolerancia aceptable para la uva de vinificación son del 5 %, mientras otros autores proponen valores aún más bajos 0,5 % para uva con destino a la vinificación y 0,2 % para la uva de mesa (Latorre *et al.*, 2016).

Para alcanzar estos estándares es necesario la combinación de prácticas culturales en combinación con aplicaciones preventivas de fungicidas en los momentos críticos del cultivo, como lo son: la floración, pre-cierre de racimos y comienzos de maduración (Gubler *et al.*, 1987). Además, otras estrategias promisorias como el control biológico (Zhang *et al.*, 2020, Elad 1994) y la creación de variedades resistentes han ido tomando relevancia (Rubio *et al.*, 2015).

Las prácticas culturales son un eslabón importante en el manejo de la enfermedad, algunas medidas como la remoción de los restos de poda y la quita de racimos han dado resultado en viñedos de Nueva Zelanda (Evans citado por Latorre *et al.*, 2016).

Las prácticas de cultivo que tienden a limitar el crecimiento vegetativo excesivo como el deshojado, el despunte y el roñado permiten un mejor flujo de aire en el interior de la canopia y una mayor eficacia de los tratamientos fitosanitarios (Sternad Lemut *et al.*, 2015, Molitor *et al.*, 2011, Smart y Robinson 1991). Los deshojados basales suelen ser más efectivos en temporadas relativamente secas, mientras que cuando se presentan condiciones húmedas el deshojado por sí solo no es capaz de lograr obtener niveles de incidencia tolerables de la enfermedad (Latorre *et al.*, 2016).

Está reportado que el raleo de racimos tiene un efecto positivo sobre la mejora del estatus sanitario de la vendimia. Cuando se ralean racimos se evita el amontonamiento de racimos en la planta disminuyendo el riesgo de aparición de focos de *Botrytis*, además se permite una mejor maduración de los racimos restantes haciendo que la duración de esta fase no sea demasiado prolongada (Latorre *et al.*, 2016, Palliotti y Cartechini 1998). Otras prácticas

como cortar secciones del racimo han mostrado ser eficaces en disminuir la compacidad del racimo, evitar roturas de bayas, y consecuentemente disminuir la incidencia de la enfermedad (Hed *et al.*, 2009).

El uso de reguladores del crecimiento como las giberelinas y el pro-hexadione cálcico están reportados en la bibliografía como efectivos en disminuir la incidencia de la enfermedad (Molitor *et al.*, 2011, Schildberger *et al.*, 2011). Ambos actúan modificando la arquitectura del racimo, en el caso de las giberelinas (GA3), las mismas producen un alargamiento del raquis y promueven la generación de racimos laxos. Por otra parte, el pro-hexadione cálcico actúa inhibiendo la biosíntesis de giberelinas, inhibiendo el crecimiento de las bayas y obteniendo racimos más pequeños, los cuales presentan menor susceptibilidad a la incidencia de la enfermedad (Molitor *et al.*, 2011).

La fertilización nitrogenada constituye otro tópico importante en el manejo de la enfermedad. Está reportado que las condiciones que favorecen el vigor de la planta tienen una correlación positiva con los niveles de incidencia (Ferrer *et al.*, 2020b, Valdez-Gómez *et al.*, 2008).

Las aplicaciones de calcio tienen un efecto beneficioso y contribuyen a disminuir la incidencia de *Botrytis*. Existen trabajos que reportan que la acción del calcio puede contribuir a disminuir la degradación de la pared celular (Cabrera, 2004). Existe trabajos que han puesto de manifiesto que la aplicación de este mineral contribuye a mejorar la aptitud de almacenamiento en uva de mesa (Figari y Manuel, 1999) y que cuando se lo aplicó en combinación con deshojados en distintos momentos del ciclo redujo la incidencia de *Botrytis* en uva con destino a la vinificación (Elerd, 2010).

La elección del sistema de conducción también constituye un punto relevante, los sistemas de conducción que tienden a promover canopias densas con racimos en el interior de la canopia, como puede ser el caso de la espaldera, normalmente son más propicios a la incidencia de la enfermedad. Por otra parte, sistemas de conducción que promueven la exposición de los racimos tienden a disminuir los riesgos fitosanitarios, como es el caso de la lira (Latorre *et al.*, 2016, Ferrer *et al.*, 2011b).

Coniberti *et al.* (2018b) demostraron que el vigor de las plantas, expresado como peso de poda/m o por planta, tiene una relación directa con los niveles de incidencia y severidad de

la enfermedad. Los mismos autores estudiando el efecto del empastado en la fila concluyeron que la utilización de esta práctica afecta el crecimiento vegetativo permitiendo reducir el nivel de vigor de las plantas, de este modo se generan condiciones menos propicias para la incidencia de podredumbres (Coniberti *et al.*, 2018a).

También el tipo de suelo influye en la incidencia de podredumbres. De acuerdo a Echeverría *et al.* (2017b) la incidencia de *Botrytis* fue superior en viñedos implantados sobre suelos de textura arcillo-limoso, seguido por suelos franco arcilloso y menor en suelos franco arcilloso limoso. Las propiedades físicas del suelo como su textura impactan directamente en su capacidad de almacenamiento de agua. Normalmente los suelos donde están implantados los viñedos en varias regiones del Uruguay, se caracterizan por ser suelos ricos en materia orgánica, arcillas expansivas y textura pesada con una capacidad de almacenamiento de agua media a alta (Silva *et al.*, 2018). Estos factores confieren condiciones propicias para la expresión del vigor (Ferrer *et al.*, 2020b)

El control químico se basa en la aplicación de fungicidas específicos para el control de *Botrytis*, usualmente denominados botrycidas. Existe una amplia gama de productos con posibilidad de uso. Los más comunes son productos que presentan un único sitio de acción, entre ellos se destacan: las anilino pirimidinas, inhibidores de la enzima succinato deshidrogenasa (Boscalid), inhibidores de la dimetilación (tebuconazole), hidroxianilidas (fenexamida), dicarboximidas (iprodione), fenilpirroles (fludioxonil), estrobilurinas (axozystrobin), benzimidazoles (carbendazim). Está reportado que el uso indiscriminado de este último grupo de fungicidas ha generado biotipos resistentes, por lo que algunos autores consideran que su uso debería estar restringido a situaciones particulares (Gepp *et al.*, 2012, Beever *et al.*, 1989). Por otra parte, los fúngicidas multi-sitio como ditiocarbamatos y ftalamidas (mancozeb, captan y folpet) son efectivos contra la podredumbre gris y con pocas excepciones la resistencia rara vez ocurre (Latorre *et al.*, 2016).

. Existen importantes limitaciones en el uso de los productos, referido a los tiempos de espera y a los límites máximos de residuos tolerables en la uva y el vino. Esto último puede resultar en importantes trabas desde el punto de vista comercial. A su vez es conocida la percepción negativa por parte del consumidor frente a uso de plaguicidas en general, estos productos son nocivos para el ambiente, pueden provocar afectaciones en la salud de los

operarios y del consumidor cuando son utilizados de manera incorrecta (Gullino y Kuijpers, 1994).

1.5.3. Podredumbre ácida

La podredumbre ácida de la uva es una enfermedad reportada desde hace muchos años en diversos países, particularmente importante en regiones vitícolas con clima subtropical y húmedo (Barata *et al.*, 2012a, Barata *et al.*, 2012b). Ha sido asociada a variedades de maduración tardía, con racimos compactos y de piel fina (Zoecklein *et al.*, 2001).

La incidencia de esta enfermedad provoca una disminución notoria del rendimiento a causa de la pérdida de jugo de la baya y la posterior desecación del grano. Durante la maduración, la uva toma un aspecto rojo ladrillo en variedades blancas y marrón violáceo en variedades de piel roja. Los racimos tienen un fuerte aroma a vinagre debido a la alta producción de ácido acético, la cual es acompañada por altas concentraciones de etilacetato, ácido glucónico, etanol y ácido galacturónico (Zoecklein *et al.*, 2001). La podredumbre ácida se caracteriza, además, por la presencia de adultos de *Drosophila* spp, estos insectos forman una asociación de tipo mutualista con las levaduras y bacterias, siendo un factor clave en la etiología de la enfermedad (Hall *et al.*, 2018a, Barata *et al.*, 2012b).

Los síntomas de la podredumbre ácida pueden ser extremadamente perjudiciales para la cosecha en viñedos afectados, en general los racimos afectados no se cosechan o se eliminan durante la selección en bodega, representando un costo adicional sobre el proceso de vinificación. Estos racimos son inaceptables debido al riesgo de producir vinos con elevada acidez volátil (Barata *et al.*, 2012a, Barata *et al.* 2011).

A diferencia de la podredumbre gris, esta enfermedad cuenta con numerosos agentes causales dentro de los cuales se incluyen levaduras como *Candida krusei*, *Issatchenkia orientalis*, *Kloeckera apiculata*, *Hanseniaspora uvarum*, *Saccharomycopsis vini*, *Candida steatolytica*, *Torulaspora delbrueckii*, *Issatchenkia terricolay*, *Zygosaccharomyces bailii*, bacterias acéticas como *Acetobacter* spp. y *Gluconobacter* spp. (Barata *et al.*, 2012a, Barata *et al.*, 2008) y hongos filamentosos de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Rizhopus* (Agrios, 1995).

Existen reportes en la literatura que asocian la podredumbre ácida con la podredumbre gris, la primera aparecería en fases avanzadas de la podredumbre gris (Bisiach *et al.*, 1982). Otros autores proponen que los principales agentes etiológicos son las levaduras (Hall *et al.*, 2018a, Guerzoni y Marchetti 1987, Bisiach *et al.*, 1982) en tanto Barata *et al.* (2012a) concluyen que las bacterias acéticas son los principales organismos responsables.

El comienzo de la enfermedad se asocia en mayor medida a rupturas originadas en la baya. Se ha visto que en las bayas con heridas las poblaciones de levaduras suelen incrementarse notoriamente de 10^6 a 10^8 unidades formadoras de colonias, de la misma manera se producen incrementos en las poblaciones de bacterias acéticas presentes, aumentando de 10^5 a 10^6 células/g (Barata *et al.*, 2012a). Durante la etapa inicial de la enfermedad los síntomas no son sencillos de distinguir de la podredumbre causada por *B. cinerea*. Hacia el final los síntomas se hacen más notorios y distinguibles, entre ellos se incluyen: pardeamiento de la pulpa, disgregación de los tejidos internos, desprendimiento de la baya podrida del pedicelo, pérdida de jugo de las bayas superiores en el racimo hacia las inferiores, aroma pungente a vinagre y la presencia de adultos de *Drosophila* spp. (Barata *et al.*, 2012a).

1.5.3.1. Condiciones predisponentes

Las condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la podredumbre ácida son temperaturas elevadas y alta humedad. Bajo estas condiciones las levaduras y bacterias acéticas comienzan a multiplicarse sobre el hollejo comenzando pequeñas fermentaciones alcohólicas que evolucionan a picadura acética. Si las condiciones meteorológicas persisten cálidas y húmedas la enfermedad presenta un crecimiento exponencial debido a la proliferación de las poblaciones de bacterias, levaduras y de adultos de *Drosophila* spp. los cuales constituyen un importante vector de la enfermedad (Barata *et al.*, 2012b).

Como se mencionó anteriormente, las lesiones en la baya promueven la incidencia de la enfermedad, estas lesiones pueden ser ocasionadas por microfisuras en el hollejo en variedades de piel fina (Comménil *et al.*, 1997). A su vez, los daños ocasionados por eventos como el granizo, la alimentación de aves, daño producido por insectos como polillas del racimo,

rajado de la baya producido por desórdenes fisiológicos o por afectaciones patológicas como el oídio, son altamente favorables para la incidencia de esta enfermedad. Al igual que la podredumbre originada por *B. cinerea* las variedades de racimos compactos son más susceptibles a la incidencia de la enfermedad (Vail y Marois, 1991).

1.5.3.2. Impacto sobre el mosto y el vino

Los mostos provenientes de uvas afectadas con la enfermedad se caracterizan por presentar altos contenidos de ácido acético lo que se traduce en vinos con elevada acidez volátil.

La composición de la uva puede cambiar seriamente según los microorganismos predominantes, en general se producen una amplia gama de metabolitos dentro de los cuales se incluyen el ácido acético, etilacetato, ácido glucónico, acetaldehído y ácido galacturónico (Marchetti *et al.*, 1984).

Barata *et al.* (2011) reportan los siguientes impactos de la podredumbre ácida:

- Incremento del alcohol probable en el mosto: a causa un incremento de la concentración de azúcares debido al proceso de deshidratación
- Diminución del rendimiento de la uva en bodega
- Incremento del alcohol en el vino
- Aumento de la acidez total y la acidez volátil
- Diminución del contenido de ácido tartárico
- Aumento de la concentración de fenoles: debido al proceso de deshidratación el cual aumenta la proporción relativa de partes sólidas de la baya
- Aumento de la intensidad colorante del vino
- Mayor pérdida de color durante el almacenamiento

1.5.3.3 Estrategias de control

Las estrategias de control de la enfermedad se basan en la ejecución de prácticas agronómicas que modifiquen las condiciones microclimáticas en la canopia, permitiendo el flujo de aire y evitando condiciones de alta humedad en el interior (Hall *et al.*, 2018b).

Por otra parte, es importante disminuir la ocurrencia de todo tipo de daños en la baya, a través de la utilización de malla antigranizo y la realización cuidadosa de las tareas vitícolas.

Hall *et al.* (2018b) indican que aplicaciones de insecticidas y desinfectantes con diferentes frecuencias antes del inicio de los síntomas redujeron la incidencia de la enfermedad un 70 % respecto a un control sin tratar. Estos autores encontraron que las aplicaciones de insecticida por si solo permitieron reducir la severidad de la enfermedad, mientras que la sola aplicación de desinfectantes no produjo un control aceptable. Los insecticidas actuarían sobre las moscas del vinagre impidiendo la vectorización de la enfermedad en el viñedo. Los mismos resultados fueron obtenidos cuando los racimos se cubrieron con una malla anti-insectos (Barata *et al.*, 2012c).

En Uruguay no se realizan aplicaciones de insecticidas para el control de *Drosophila* spp. debido a que es un insecto muy polífago y además presenta alta capacidad de generar resistencia (Daborn *et al.*, 2002).

1.5.4. Otras podredumbres de racimos

Además de las enfermedades anteriormente desarrolladas, otros microorganismos pueden crecer sobre la baya. En su gran mayoría se tratan de hongos filamentosos oportunistas que crecen una vez que el racimo es afectado por otra enfermedad. Dentro de las especies de hongos se encuentran las pertenecientes a los géneros: *Alternaria*, *Penicillium*, *Aspergillus*, y *Rizhopus* (Steel *et al.*, 2013).

Alternaria es un género ampliamente distribuido y es frecuentemente aislado de la superficie de las bayas, es abundante dentro de la micoflora epifita y también endofítica (Duncan *et al.*, 1995). Diversos estudios demuestran que es el género más abundante en la uva al momento de la cosecha (Serra *et al.*, 2005, Prendes *et al.*, 2015, Steel *et al.*, 2011, Garmendia y Vero 2016). Es un género que reviste importancia debido a que algunas especies y cepas

presentan la capacidad de producir micotoxinas, las cuales han sido reportadas en commodities alimenticios, incluido el vino (Prendes *et al.*, 2015).

Aspergillus niger y *Aspergillus carbonarius* suelen estar asociados a condiciones de clima cálido y seco, como la zona mediterránea. Son hongos frecuentemente asociados a la podredumbre ácida (Rooney-Latham *et al.*, 2008). Revisten importancia dado que algunas especies como *Aspergillus carbonarius* son importantes productores de ocratoxina A (OTA), una micotoxina nefrotóxica clasificada como un potencial agente cancerígeno (IARC, 1993). Algunos reportes lo señalan como la principal fuente de la OTA encontrada en el vino (Cabañes *et al.*, 2002).

En Uruguay estudios realizados por Garmendia y Vero (2016) durante 2 años no identificaron la presencia de *Aspergillus carbonarius* en uvas Tannat de distintas regiones, mientras que identificaron otras especies del género: *Aspergillus uvarum*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus luchuensis* y *Aspergillus brasiliensis*.

Penicillium spp. y *Cladosporium* spp. son dos colonizadores oportunistas, el primero de ellos produce una podredumbre verde-azulada mientras que el segundo una podredumbre aterciopelada, normalmente aparecen luego de que la uva ha sido previamente dañada. Varias especies de *Penicillium* han sido encontradas como endófitas en la uva (González y Tello, 2011). Algunas especies del complejo *Cladosporium* como *Cladosporium herbarum* y *Cladosporium cladosporioides* están reportados como agentes causales de podredumbres en viñedos de Chile, normalmente esta podredumbre está asociada a variedades de maduración tardía como Cabernet Sauvignon donde es necesario atrasar la cosecha para obtener una adecuada maduración fenólica de la uva (Briceño y Latorre, 2008).

La podredumbre negra causada por *Guignardia bidwelli* es una enfermedad importante en distintas regiones vitícolas como el este de los Estados Unidos (McGrew y Still, 1972). Esta enfermedad puede ser extremadamente destructiva pudiendo causar pérdidas de hasta el 100 % según el viñedo y la temporada (Steel *et al.*, 2013). Esta enfermedad no está reportada en las condiciones de Uruguay.

Greneeria uvicola es el agente causal de la podredumbre amarga y está asociado a regiones vitícolas de clima subtropical como Australia, Brasil, India, Taiwan y los Estados Unidos. Las condiciones húmedas y cálidas próximas a la cosecha son beneficiosas para el desarrollo de esta enfermedad. Las vides americanas del género *Muscadina* sp. y la vid

europaea *Vitis vinifera* son susceptibles a la incidencia de la enfermedad (Farr *et al.*, 2001, Steel *et al.*, 2013). Estudios realizados por Navarrete *et al.* (2009) han reportado la presencia del patógeno en viñedos nacionales asociados a la enfermedad de madera conocida como brazo muerto. Aún no hay reportes en nuestro país de incidencia de podredumbres de racimos causadas por este patógeno.

La podredumbre madura está asociada a climas subtropicales y suele suceder en conjunto con la podredumbre amarga causada por *Greeneria uvicola*, es causada por especies del género *Colletotrichum* como *Colletotrichum acutatum* y *Colletotrichum gloesporoides*. Ambas especies son generalistas y causan podredumbres en otros cultivos como cultivos de manzana, pera, citrus, olivos, palta, y mango (Steel *et al.*, 2013).

Las uvas afectadas con esta enfermedad exudan una masa de esporas naranjas marchitándose y se acumulan compuestos que aportan sabores desagradables a la uva y al vino (Steel *et al.*, 2013, Steel *et al.*, 2007).

En zonas vitícolas de clima cálido como el este de Australia las temperaturas diarias pueden variar en el rango de 35-42°C con humedades relativas altas. Bajo estas condiciones el desarrollo de estas enfermedades es relativamente común (Steel *et al.*, 2007). A diferencia de otros patógenos como *B. cinerea*, estos hongos son favorecidos por las temperaturas elevadas. Steel *et al.* (2011) demostraron que las condiciones de temperatura que favorecen el desarrollo de la podredumbre madura son distintas a las condiciones que permiten el óptimo desarrollo de *B. cinerea*. Estos autores encontraron que a 20 °C se produjo mayor porcentaje de infección de las bayas por *B. cinerea* (92 %) mientras que a 27 °C se produjo un mayor porcentaje de infección por *Greeneria uvicola* y *Colletotrichum* spp. Las condiciones de alta irradiancia incrementan la temperatura de la baya y pueden provocar daños de quemado del sol, por tanto, las medidas de gestión de la canopia como el deshojado pueden ser contraproducentes modificando el microclima de tal manera de promover un aumento de este tipo de podredumbres (Steel *et al.*, 2011).

Yan *et al.* (2015) reportan la incidencia de la enfermedad en China, con condiciones de producción caracterizadas por las altas precipitaciones y veranos cálidos. En este país esta enfermedad constituye uno de los problemas fitosanitarios más serios, ya que produce importantes mermas de la producción y reduce el valor de la misma (Whitelaw-Weckert *et al.*, 2007). Las especies asociadas a la podredumbre madura en estas condiciones son *Colletotrichum aenigma*, *Colletotrichum viniferum* y *Colletotrichum hebiense*. La figura 8 muestra los principales síntomas y signos originados por estos patógenos.



Figura 8. Síntoma y signo de podredumbre por *Cladosporium* spp (A y B).

Síntomas y signo de podredumbre madura (C y D). Síntoma de podredumbre negra causada por *Guignardia bidwellii* (E). Imágenes tomadas de Latorre *et al.* (2011) y Yan *et al.* (2015).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. DISEÑO EXPERIMENTAL Y CARACTERÍSTICAS DE LOS EXPERIMENTOS

Dos experimentos similares fueron instalados en dos sitios de Uruguay, contrastantes desde el punto de vista macroclimático según Ferrer (2007) (figura 9). El diseño experimental utilizado en cada sitio fue en bloques completos al azar (DBCA) con tres tratamientos y tres repeticiones. Cada unidad experimental se conformó de 7 plantas, sumando un total de 21 plantas por tratamiento.

El experimento número I se instaló en un viñedo comercial situado en el departamento de Salto, localidad de Nueva Hespérides (31° 26'47.29" S, 58°.00'40.67"O). El experimento II fue instalado en el sur del país, en el departamento de Canelones, localidad de Juanico (Lat: 34° 35'30 S, 56° 15'23 O). Ambos viñedos se encontraban en etapa de plena producción. Se utilizaron viñedos de la variedad Tannat (clon 398) injertados sobre SO4, conducidos en espaldera. Esta es la combinación más representativa de la viticultura nacional (INAVI, 2019). Las características más relevantes de ambos viñedos se presentan en el cuadro 2.

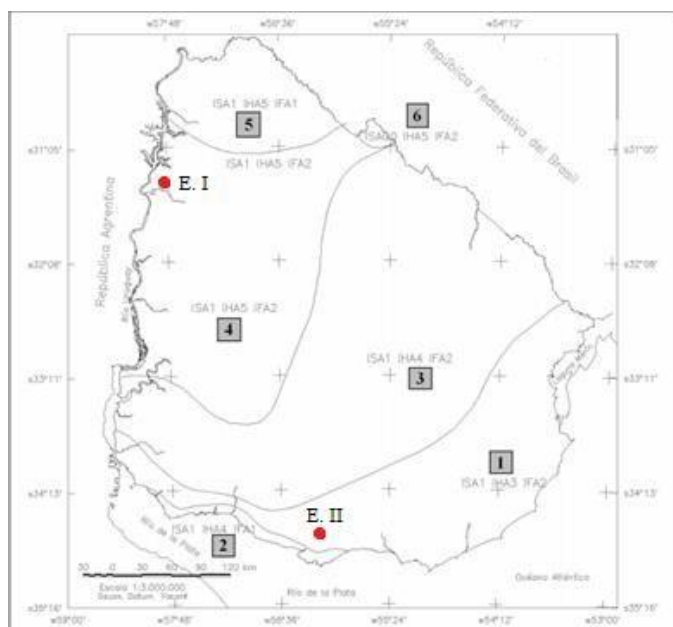


Figura 9. Ubicación aproximada de los sitios experimentales acorde a la regionalización macroclimática de Ferrer (2007).

Los tratamientos aplicados fueron: 1) Deshojado en pre floración, removiendo las 8 primeras hojas desde la base del pámpano, incluida la brotación secundaria si ya estaba presente (DPF, estado 17, Coombe 1995); 2) Deshoje leve entre cuajado y cierre de racimos (TC); 3) Deshojado leve en cuajado más raleo manual de racimos (RM) en comienzos de envero estado 34 según (Coombe, 1995) dejando un racimo por pámpano. Los tratamientos DPF y RM fueron aplicados de forma manual. El manejo de los viñedos fue realizado por el viticultor responsable de cada viñedo, incluyendo fertilización, manejo fitosanitario y manejo en verde, además incluyó el deshojado realizado entre cuajado y cierre de racimos en los tratamientos TC y RM.

Cuadro 2. Características de las dos fincas experimentales.

	Experimento I (Salto)	Experimento II (Juanico)
Unidad de suelos	Salto	Tala-Rodríguez
Tipo de suelo	Brunosol subeutrico	Brunosol subeutrico
Origen geológico	Rocas sedimentarias	Rocas Sedimentarias
Agua disponible potencial (Molfino y Califra, 2001)	115 mm	110 mm
Edad del viñedo (años)	11	18
Altitud sobre nivel del mar (m)	43	38
Pendiente (%)	< 3	< 3
Sistema de conducción	Espaldera	Espaldera
Densidad de plantación/ha	3333	3200
Distancia entre plantas (m)	1	1,25
Distancia entre filas (m)	3	2,5
Orientación de filas	E-O	NO-SE
Variedad (Clon)	Tannat (398)	Tannat (398)
Portainjerto (Clon)	SO4 (713)	SO4 (713)

2.2. DATOS METEOROLÓGICOS

La información meso-climática fue obtenida a partir de la estación meteorológica más cercana a cada experimento. En el caso del experimento I, los datos de precipitaciones fueron obtenidos de la Estación Meteorológica del Aeropuerto internacional de Nueva Hespérides (Altitud: 40 m, Latitud: 31°26'S, Longitud: 57° 58'57"O), el cual se encuentra a una distancia de 3 kilómetros del ensayo. Los datos de temperatura (media, máxima, mínima), ETP y humedad relativa obtenidos de la Estación Meteorológica de INIA Salto Grande la cual se encuentra a una distancia de 20 km del ensayo (Altitud: 47 m, Latitud: 36° 16' S, Longitud: 57°53' O). En el caso del experimento II (Canelones), los datos meteorológicos fueron recabados de la Estación Meteorológica de INIA Las Brujas situada a unos 10 km del ensayo (Altitud 32m; Latitud 34°40' S; Longitud 56°20' O). Las estaciones cumplen las normas exigidas por la OMM (Organización Meteorológica Mundial). Para realizar la comparación de las condiciones meteorológicas de cada zafra se utilizaron los datos de la serie (1986-2016) de cada estación meteorológica. En base a la información recabada se calculó el índice de Winkler *et al.* (1974) y los índices bioclimáticos adaptados por Ferrer (2007) para nuestras condiciones:

- Grados Día Winkler (GDD): basado en el cálculo de la suma de temperaturas medias diarias por encima de 10°C (cero fisiológico de la vid). Calculado a partir de la fecha de brotación y hasta cosecha en nuestras condiciones (Winkler *et al.*, 1974). Se calculó la acumulación diaria durante la maduración, dividiendo el total de grados días acumulados sobre los días que duró dicha fase.
- Índice Heliotérmico adaptado (IHa): se calcula en base a las temperaturas máximas y medias superiores a 10°C de cada día y toma como período de referencia el ciclo vegetativo de la vid en el hemisferio sur, desde el 1 de setiembre al 28 de febrero.
- Índice de Frescor de Noches adaptado (IFa): Calculado como la temperatura media nocturna del mes anterior de maduración, para nuestras condiciones febrero. En el caso de cada temporada. Se tomó la temperatura media de los 30 días previos a la cosecha.

- Índice de sequía o índice de balance hídrico potencial (ISa): resultado de los aportes y pérdidas de agua, para determinado suelo en un período de tiempo. Su cálculo se basa en la siguiente ecuación (Riou *et al.*, 1994):

$$IS = W = W_o + P - Tv - Es$$

Siendo:

Wo: reserva hídrica útil del suelo explorable por las raíces;

P: pluviometría;

Tv: transpiración potencial del viñedo;

Es: evaporación directa a partir del suelo.

Evaluación del microclima: en cada tratamiento se colocaron sensores de temperatura (Ibutton thermochron USA, DS-1921g, 0.5), humedad (Hobo PRO V2, U23-002 USA; ±0.2) y luminosidad (Hobo Pendant Temperature/Light 8K UA-002-08, U23-002USA; ± 0,2) dentro de la canopia sobre el alambre de poda. La evaluación de luminosidad se realizó la evaluación en los tratamientos TC, RM y DPF en el ensayo de Salto durante la segunda temporada. A partir de los registros de luminosidad se procedió a calcular la integral de luz diaria considerando el período diurno (Pearcy, 1991):

$$ILD \text{ (mol/día): } \mu\text{mol/m}^2/\text{s}^{-1} \times 3600 \text{ s}^{-1} \times 24$$

3600: segundos en una hora

24: horas en un día

2.3. EVALUACIONES EN PLANTA

2.3.1. Fenología

La fenología del cultivo se evaluó a través del sistema de Eichhorn y Lorenz modificado por Coombe (1995). Se realizaron observaciones semanales del viñedo determinando las frecuencias relativas de los diferentes estados fenológicos. Para determinar los estadios fenológicos luego del estado 34, se utilizó el porcentaje de envero, calculado a partir de las muestras aleatorias obtenidas para el seguimiento de maduración.

2.3.2. Estado hídrico de las plantas

2.3.2.1. Potencial hídrico foliar de base

Se realizó antes del amanecer según la metodología propuesta por Scholander *et al.* (1965). Se evaluó en 4 momentos del ciclo fenológico del cultivo. Dependiendo de la temporada los mismos fueron: entre floración y cuajado, cierre de racimo, envero, y en cosecha. Para ello, se tomaron 4 hojas al azar de 4 plantas distintas por bloque experimental. La evaluación no se realizó en el tratamiento RM durante la primera temporada en Canelones. Se utilizó una cámara de presión modelo 1505D (PMS Instrument Company, Albany Or. USA). Para cada temporada y tratamiento se calculó la integral de estrés hídrico según la fórmula de Myers (1988).

2.3.2.2 Ratio isotópico del carbono

La determinación de la composición isotópica del carbono se realizó en la Universidad de Lausanne (Suiza) en el Institute of Earth Surface Dynamic (IDYST). Los análisis fueron realizados a partir del mosto de una muestra aleatoria de 50 bayas por unidad experimental para los tratamientos TC durante la primera temporada mientras que para la segunda temporada se incluyó al tratamiento DPF en el análisis por considerar que era el tratamiento que afectaba de manera más importante la fisiología de la planta. El mosto obtenido se secó mediante el uso de un desecante Chromosrob ®W/AW (Suiza).

Las composiciones de isótopos de carbono se determinaron mediante análisis elemental /espectrometría de masas de relación de isótopos (EA / IRMS), utilizando un analizador elemental Carlo Erba 1108 (Fisons Instruments, Milán, Italia) conectado a un espectrómetro de masas de relación de isótopos Delta V Plus mediante una Interfaz dividida ConFlo III (ambos de Thermo Fisher Scientific, Bremen, Alemania). La composición de isótopos estables se refirió como valores de ^{13}C por mil (‰), con desviaciones de la relación isotópica respecto a los estándares conocidos de la siguiente manera:

$$\delta = [(R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}) / R_{\text{standard}}] \times 1000$$

R: es la relación entre los isótopos pesados y los ligeros ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$).

R_{standard} para el ^{13}C en la caliza Vienna Pee Dee Belemnite es 0,0112372

2.3.3. Caracterización de la canopia

Superficie foliar expuesta potencial (SFEp): La superficie foliar expuesta potencial se determinó en enero para todos los tratamientos en ambos sitios, según la metodología propuesta por Carbonneau (1995), la cual se presenta en la figura 11. Se escogieron aleatoriamente 4 plantas por unidad experimental y se procedió a tomar una foto por planta. Se midió el espesor de la canopia y el largo de la misma, utilizando una cinta métrica. Luego de tomadas las fotos, se procedió al cálculo de la porosidad de la canopia utilizando el software libre CobCal ®. Posteriormente, los datos obtenidos se ingresaron en una planilla de cálculo para obtener el dato de superficie foliar expuesta por hectárea según la siguiente fórmula:

$$\text{SFEp} = ((2 \times H + W) \times (1 - P)) / R$$

H: altura del follaje (m)

W: ancho de follaje (m)

P: porosidad de la canopia (%)

R: distancia entre filas (m)

En la planilla de cálculo se encuentran predefinidos coeficientes que hacen referencia a los ángulos de intercepción de la radiación en el sistema de planos verticales (figura 10)

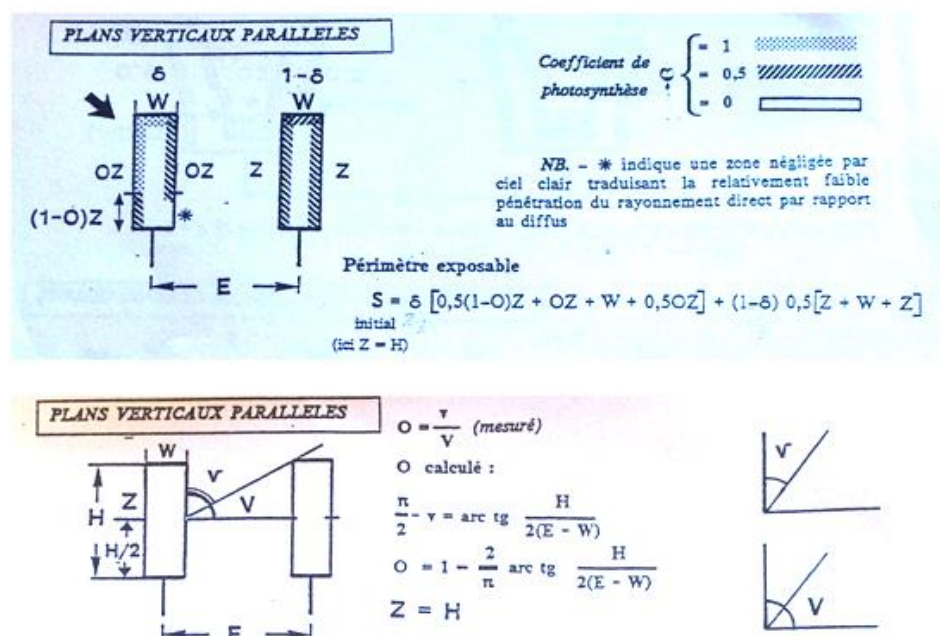


Figura 10. Cálculo de la SFEp según Carbonneau (1995). Tomado de Salvarrey (2016).

Análisis de pámpanos y tamaño de hoja: En la floración del año 2018 se marcaron 2 pámpanos con racimos por repetición en cada experimento. Los pámpanos marcados correspondieron a los ubicados en el centro de dos plantas de la unidad experimental (1 por planta). Los pámpanos se colectaron al momento de la cosecha. Se procedió a contar el número de nudos, el número hojas, el número de feminelas presentes, el número de hojas de la feminela y el número de racimos, se determinó el área total de las hojas principales y el área aportada por las hojas de las feminelas y se midió el largo del pámpano. Adicionalmente se evaluó el área de la hoja principal a partir una muestra aleatoria de 10 hojas expuestas y 10 no expuestas del tercio medio de la canopia en el estado 35 (Coombe, 1995) por unidad experimental y en cada sitio. Las hojas se colectaron considerando distintas plantas. Las determinaciones del área de las hojas se realizaron mediante la aplicación Easy leaf area® (Easlon y Bloom, 2014).

Exposición de racimos y número de capas de hojas: se determinó en enero a través de la metodología de Point Quadrat (Smart y Robinson, 1991). En un total de 4 puntos por bloque. Posteriormente se procedió a calcular el porcentaje de racimos expuestos, el porcentaje de racimos internos, el número de capas de hojas promedio.

2.3.4. Peso de poda y peso del sarmiento

El peso de poda se determinó durante el receso invernal posterior a la cosecha. Se contabilizaron los sarmientos de todas las plantas en cada unidad experimental. Posteriormente, se procedió a ejecutar la poda individual de cada planta y se registró el peso de la madera del año por planta. Se utilizó una balanza de precisión Ohaus Scout, Ohaus Corp., USA OAHUS. El peso del sarmiento se estimó dividiendo el peso de poda entre el número de sarmientos por planta.

2.3.5 Componentes del rendimiento y compacidad del racimo

En madurez tecnológica (38 según Coombe 1995) se procedió a realizar la cosecha. Se cosecharon manualmente todas las plantas por tratamiento en cada sitio. La cosecha se realizó el mismo día para todos los tratamientos dentro de un mismo sitio. Se contabilizó el número total de racimos por planta, discriminando entre el número de racimos enfermos por planta y los racimos sin síntoma ni signo de podredumbres. Se pesaron por separado los racimos sanos y los enfermos, para luego sumar ambos valores y obtener el rendimiento por planta. Para el pesaje se utilizó una balanza de precisión (Ohaus Scout, Ohaus Corp., USA). El peso de la baya se obtuvo a partir de los análisis realizados para determinar la composición de la baya al momento de cosecha (ver 2.3.8). Se estimó el peso medio del racimo y el número de bayas por racimos según las siguientes fórmulas:

Peso medio del racimo (g): Cosecha por planta (g)/ No. de racimos por planta

Número de bayas por racimo: Peso medio del racimo (g)/ Peso de baya (g)

La compacidad del racimo se analizó mediante dos métodos. Método 1: en precosecha se evaluó *in situ* una muestra de 4 racimos por planta en cada unidad experimental (84 por tratamiento). Los racimos se categorizaron según la escala de densidad de Ipach *et al.* (2005). Método 2: en todos los racimos colectados en el análisis de pámpanos se contabilizó: el número

de bayas por racimo, el número de bayas con signo o síntoma de podredumbre, el número de ramificaciones, el largo del raquis (cm), el número de bayas chicas, el peso de bayas y el peso del raquis. Posteriormente, se procedió al cálculo del número de bayas por largo de raquis y número de bayas por ramificación, dichos índices están asociados a la agregación de las bayas en el racimo (Hed *et al.*, 2009, Tello e Ibañez 2018).

2.3.6. Indicadores fisiológicos

A partir de los datos de peso de poda, superficie foliar expuesta y rendimientos se procedió a calcular los siguientes indicadores fisiológicos:

-Índice de Ravaz: Cosecha por planta(g)/ Peso de madera del año (g) (Ravaz, 1909).

-Relación fuente-fosa: SFEp (m²/planta) / Cosecha (kg/planta).

2.3.7. Seguimiento de la maduración

A partir del estadio 34 (Coombe 1995) se realizaron muestreos de uva en cada sitio. Se muestrearon 150 bayas por unidad experimental cada 7-10 días. Las muestras fueron guardadas en conservadoras y trasladadas al laboratorio para análisis de rutina. Adicionalmente, se colectaron dos muestras de 250 bayas al momento de cosecha siguiendo el protocolo propuesto por Carbonneau *et al.* (1991). Una de ellas fue conservada en el freezer a -20 ° C hasta el mes de mayo para realizar la determinación de la composición fenólica de la uva. La otra muestra fue utilizada para realizar análisis de rutina.

En el laboratorio, se contaron las bayas y se clasificaron por coloración para determinar el porcentaje de envero. Posteriormente, se pesaron las bayas conjuntamente utilizando una balanza de precisión Ohaus-Scout (USA). El mosto fue obtenido con una juguera Philips modelo HR290 (Netherlands). Los análisis de rutina fueron realizados por duplicado acorde a los protocolos pautados por O.I.V (2014). El peso medio de la baya se calculó dividiendo el peso total entre el número de bayas.

Sólidos solubles totales: se determinó mediante refractometría, utilizando un refractómetro marca ATAGO® Japón con el mosto a una temperatura de 20°C.

Sólidos solubles por baya: se calcularon a partir de la fórmula propuesta por Vila *et al.* (2010):

$$\text{Solidos solubles (g/l)} \times \text{peso de la baya (g)} / (0.0046 \times \text{Brix} + 0.9927) / 1000$$

Acidez: se determinó mediante el uso de un equipo Atago Pal Easy Acid 2®, se utilizó una solución compuesta por agua y mosto en una relación (55:1). Luego de efectuada la medida, se procedió a calcular el contenido de ácido tartárico por litro de solución y posteriormente se calculó la equivalencia en ácido sulfúrico.

pH: El pH fue medido con un pHmetro portátil con el mosto a una temperatura de 20 ° C (Hanna Instruments, modelo HI8521 Villafranca Padovana, Italy).

2.3.7.1. Composición fenólica

Para su análisis se partió de uva congelada, a la cual se la descongeló naturalmente. Cada muestra se molió en una licuadora Philip para luego proceder a realizar la maceración de la molienda acorde a lo establecido por Glories y Agustin (1993). La composición fenólica de la uva se determinó por espectrofotometría de absorción según Ribéreau-Gayon y Stonestreet (1965). Los antocianos se midieron en un espectrofotómetro Unico, S-2150 (New Jersey, USA) a 520 nm. El índice de polifenoles se midió a 280 nm en las muestras del año 2018. En 2019 el equipo utilizado presentó un problema en la lámpara de deuterio por lo que las medidas de ese año fueron realizadas, pero no fueron consideradas en el análisis. Los cálculos para determinar el potencial antociánico, el potencial de antocianos extraíbles y el índice de polifenoles totales se realizaron teniendo en cuenta las modificaciones propuestas por González-Neves *et al.* (2004).

2.3.7.2. Ácidos orgánicos

Se cuantificaron los ácidos orgánicos tartárico y málico mediante cromatografía líquida de alta resolución. Durante la vendimia 2018, solo se evaluaron los tratamientos TC y DPF de Canelones y el TC de Salto debido a la pérdida de muestras a causa de la rotura de la heladera. En la vendimia 2019 se analizaron todos los tratamientos de ambos sitios. En todos los casos, se utilizó una submuestra de mosto, el cual fue obtenido a partir del mosto obtenido para los análisis de rutina al momento de cosecha.

Las muestras se filtraron a través de una malla de 0,45 µm y se inyectaron en elequipo de HPLC (Shimadzu LC-10ADvp bomba y unido a un detector de fotodiodos (DAD, Kyoto, Japan). La elución y separación de los ácidos orgánicos se llevó a cabo utilizando una columna de CP18. La fase móvil consistió en agua ultrapura y el pH se ajustó a 2,3 utilizando H₃PO₄. Las absorbancias de los ácidos orgánicos se detectaron a 210 nm utilizando un detector de arreglo de fotodiodos (DAD). Los picos de los diferentes ácidos orgánicos se identificaron por comparación con los tiempos de elución de cada ácido inyectado individualmente y, a continuación, se inyectaron en muestras mixtas con otros ácidos orgánicos de acuerdo con el protocolo oficial (OIV, 2014). Los contenidos de ácidos orgánicos se expresaron en miliequivalentes por litro de mosto.

2.3.8.3. Nitrógeno fácilmente asimilable (NFA)

Se determinó utilizando el método de Sorensen (Zoecklein *et al.*, 1999) el cual está basado en el bloqueo de la función del grupo amida por adición de un exceso de formaldehído. Para ello, se partió de una muestra de 25 ml de mosto, a la cual se le ajustó el pH a 8,0 mediante la adición de NaOH (0,1 N y 0,01 N) para neutralizar los ácidos del mosto y evitar interferencias. Luego se procedió al agregado de 6,5 ml de formaldehído pH 8. Posteriormente, se procedió a titular la solución con NaOH 0,01N hasta pH 8. El gasto de NaOH 0,1 se multiplicó por 56 para la obtención de los miligramos de nitrógeno fácilmente asimilable por litro de mosto.

2.3.7.4. Componentes estructurales de la baya

En cosecha se obtuvo una muestra aleatoria de 50 bayas por unidad experimental. Utilizando un escalpelo, se procedió a separar el hollejo y las semillas de la pulpa. Los hollejos fueron enjuagados con agua y posteriormente secados suavemente con papel de filtro procurando no romper células hipodérmicas. Una vez secos ambos, se contabilizaron las semillas, se pesaron los hollejos y las semillas. El peso de pulpa fue estimado a partir de la diferencia entre el peso de la baya menos la sumatoria del peso de semillas y hollejos. A posteriori, se calculó la proporción relativa de cada componente.

2.4. EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SANITARIA

2.4.1. Análisis de restos vegetales

Durante la jornada de poda del año 2018 se colectaron restos vegetales con el objetivo de evaluar la presencia de inóculo de hongos vinculados a las podredumbres de racimos. Para ello se obtuvieron muestras al azar de sarmientos, de hojas y restos de uvas (grapillones) adheridos en la estructura de conducción. Las muestras se colocaron en bolsas plásticas. En el laboratorio, las muestras se fragmentaron utilizando material previamente esterilizado. De cada órgano vegetal se prepararon 4 cámaras húmedas (12 por viñedo), las cuales consistieron en placas de Petri de vidrio con papel Wattman humedecido. Las placas fueron mantenidas durante 7 días a temperatura ambiente. Luego de dicho período se procedió a identificar las zonas donde se observó crecimiento fúngico. De cada zona con crecimiento fúngico distinto se procedió a realizar un preparado y observar las características microscópicas. El esquema del proceso se detalla en la figura 11.



Figura 11. Representación esquemática del proceso de análisis de restos vegetales

2.4.2. Identificación de hongos presentes en flores y uva asintomática

Durante la segunda temporada se realizó una colecta de flores y uvas asintomáticas. En el caso de los muestreos en flores, se colectaron 100 flores al azar por bloque experimental durante el estado 23 según Coombe (1995). Fueron considerados únicamente los tratamientos TC y DPF, debido a que el tratamiento RM no había sido ejecutado en ese momento del ciclo. La colecta de flores se realizó previo a las aplicaciones de fungicidas para el control de *B. cinerea*. Las flores fueron transportadas al laboratorio en bolsas de papel previamente esterilizadas. De cada muestra se obtuvo una submuestra aleatoria de 40 flores, las cuales fueron colocadas en placas de Petri con medio de crecimiento PDA (agar papa dextrosa). Se colocaron 10 flores por placa. Posteriormente fueron colocadas en una estufa de cultivo con condiciones controladas de temperatura y humedad (25 ° C y 90 % de humedad) durante 1 semana.

En el caso de las bayas, se muestrearon 200 bayas por repetición según el protocolo de Carbonneau *et al.*, (1991). Las bayas fueron muestreadas en envero y en cosecha. En envero se consideraron los tratamientos TC y DPF, mientras que en cosecha se incluyó el tratamiento RM. Luego del muestreo, las muestras fueron transportadas en conservadoras hasta el laboratorio donde se separó cada muestra en dos submuestras de 40 bayas al seleccionadas al azar. Este procedimiento se realizó bajo la cámara de flujo laminar. Una submuestra fue sembrada directamente en medio PDA, mientras que a la segunda submuestra se le realizó un proceso de desinfección superficial. El mismo consistió en sumergir las bayas en alcohol 70 % y agitar suave y constantemente durante 1 minuto, posteriormente las bayas se colaron y se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio al 0,4 % durante 2 minutos con agitación. Luego del proceso antes descrito, las bayas fueron enjuagadas con agua destilada estéril y secadas con papel absorbente previamente esterilizado en autoclave. Se colocaron 10 bayas por placa de Petri, conformando un total de 8 placas por repetición (4 placas sin desinfección y 4 placas con desinfección superficial), el procedimiento se realizó para cada sitio (144 placas en total). Al igual que en el caso de las flores, las placas con uvas fueron colocadas en estufas de cultivo durante 1 semana. Transcurrido ese tiempo se procedió a observar el crecimiento fúngico de cada placa, mediante la observación de las características macro morfológicas de las colonias y micro

morfológicas se procedió a a identificación a nive de género. Para ello utilizaron lupas y microscopios estereoscópicos marca Nikon.

2.4.3. Incidencia y severidad de las podredumbres

En cosecha se cuantificó el número de racimos con síntoma y/o signo de podredumbres de racimos. La incidencia se calculó por planta en relación al número de racimos total cosechados. La severidad de las podredumbres se realizó mediante inspección visual, categorizando cada racimo con un valor de una escala categórica de 5 valores (Steel, 2004). La evaluación se hizo en cada bloque experimental en cada sitio respectivo. Cada racimo fue catalogado con un valor de la escala. Para calcular la severidad promedio se utilizó la fórmula de Townsend y Heuberger (1943).

2.4.4. Análisis de ácido glucónico y glicerol:

Los análisis se realizaron sobre una submuestra de 50 bayas sin síntomas ni signo de podredumbre por unidad experimental y por sitio. La submuestra se tomó al azar de un muestreo de 250 bayas realizado según el protocolo propuesto por Carbonneau *et al.* (1991). En el laboratorio se procedió a la molienda conjunta de cada submuestra, posteriormente fueron congeladas en nitrógeno líquido y conservadas a -20°C hasta el momento de su análisis. Al momento del análisis las muestras fueron descongeladas a baño maría a una temperatura de 40°C . Posteriormente, fueron tratadas con polivinilpolipirrolidona al 1 % (PVPP) para evitar que la coloración interfiera con las medidas espectrofotométricas, se utilizó con una cantidad de $0,2\text{ }\mu\text{g}$ por muestra. Las muestras fueron centrifugadas a 4000 rpm durante 5 minutos. En el caso del ácido glucónico se utilizó el test D-Glucononate Assay Kit (Sigma-Aldrich®). Se utilizaron $50\text{ }\mu\text{L}$ de muestra con $50\text{ }\mu\text{L}$ del mix de reacción. El mix de reacción estaba compuesto por $40\text{ }\mu\text{L}$ de buffer, $2\text{ }\mu\text{L}$ de sonda de gluconato, convertidor de gluconato $2\text{ }\mu\text{L}$, ATP $2\text{ }\mu\text{L}$ y mix enzimático de gluconato $2\text{ }\mu\text{L}$. Una vez preparadas las muestras, se procedió a la lectura de la absorbancia a 450 nm. Para el análisis de glicerol se utilizaron de $10\text{ }\mu\text{L}$ de la muestra más $100\text{ }\mu\text{L}$ de la solución Mix master el cual estaba compuesto por $100\text{ }\mu\text{L}$ del buffer del test, $2\text{ }\mu\text{L}$ de mix enzimático, $1\text{ }\mu\text{L}$ de ATP y $1\text{ }\mu\text{L}$ de reactivo colorante. Las muestras se agitaron horizontalmente y se incubaron 20 minutos a temperatura ambiente. La absorbancia se

midió a 570 nm. Los valores de concentración fueron calculados a partir de las rectas de calibración realizadas a partir de muestras con los estándares de cada compuesto. Para las mediciones se utilizó en un detector de microplacas BMG Labtech spectroststar nano.

2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el tratamiento estadístico de los datos se realizaron diferentes abordajes según el objetivo de análisis:

1) En el primero se consideró el efecto de los tratamientos dentro de cada sitio experimental (análisis intra- sitio) en cada temporada y considerando el promedio de ambas temporadas. Se ajustó un modelo lineal acorde el diseño experimental utilizado. Se realizó un análisis de varianza de una vía para evaluar el efecto de los tratamientos dentro de la temporada. Posteriormente se utilizó un análisis de varianza de dos vías considerando la temporada, los tratamientos y la interacción temporada-tratamiento (T x T). El efecto temporada y la interaccion se consideraron significativas a un nivel confianza del 95 %. La comparación de medias entre tratamientos fue realizada cuando existieron diferencias significativas al 95 % de confianza. Se utilizó el test de comparación múltiple de medias HSD Tukey.

2) El efecto sitio se analizó considerando el promedio general de cada experimento, a excepción que aquellas variables para los cuales no se contaba con los datos completos de todo el experimento. En esos casos se utilizó como referencia el tratamiento TC de cada sitio. Para analizar las diferencias entre sitios dentro de la temporada se realizó análisis de la varianza de una vía. Las comparaciones entre sitio se realizaron de acuerdo al test de LSD Fisher (α 0,05). Para analizar el efecto promedio y la interacción sitio-temporada se realizó un análisis de la varianza de dos vías. El efecto temporada y las interacciones se consideraron significativas a un nivel de 95 % de confianza.

3) Para el análisis de la interacción sitio por tratamiento, se procedió al ajuste de un modelo factorial. Para este análisis se consideraron ambas temporadas en conjunto y los factores considerados fueron: sitio, tratamiento, bloque, temporada y las interacciones. No se consideró la interacción bloque con los demás factores. Cuando la interacción sitio tratamiento fue significativa al 95 % de confianza se realizaron contrastes ortogonales entre los pares de tratamientos aplicados en cada sitio. El grado de ajuste del modelo se valoró para cada variable

mediante el coeficiente de determinación (R^2). Para analizar la contribución relativa de cada factor sobre la varianza explicada por el modelo se calculó el porcentaje aportado por cada factor a la suma de cuadrados del modelo. La significancia de cada factor se presenta en tres niveles p-valor: (*) $\leq 0,1$; (**) p-valor: $\leq 0,05$; (***) p-valor: $\leq 0,01$. Se realizaron análisis de componentes principales con las variables originales y las variables estandarizadas por el efecto año acorde a la metodología descrita por Echeverría *et al.* (2017b). Estos análisis se realizaron considerando el promedio de cada bloque. Se realizaron análisis de correlaciones lineales de Pearson y análisis de regresión lineal a un nivel de confianza de 95 % para la inclusión de los parámetros al modelo.

4) La incidencia de podredumbres, la abundancia relativa de hongos, el número de hojas, feminelas y de bayas enfermas por racimo fueron analizados mediante modelo lineal generalizado (McCullagh y Nelder, 1989). Se asumió distribución Poisson y utilizó una función de enlace logarítmica ("Log"). Los componentes de la varianza fueron estimados mediante el método de máxima verosimilitud. Se utilizó un nivel de significancia del 5 % para la prueba Chi-cuadrado de efectos fijos. La comparación de medias se realizó mediante el test DGC (Di Rienzo *et al.*, 2002). Las variables que incluyeron clasificación por categorías como el índice de compacidad de los racimos y la severidad fueron analizadas mediante análisis no paramétrico empleando la prueba de Kruskal-Wallis a un nivel de significancia del 5 %. Se utilizaron los softwares estadísticos InfoStat Profesional 2020 y Origin Pro-Lab 2019b.

3. RESULTADOS

3.1. CONDICIONES METEOROLÓGICAS

La figura 12 muestra el climograma para los dos sitios durante ambas temporadas de estudio. En Salto, durante la primera temporada, los meses de agosto y setiembre se caracterizaron por ser excepcionalmente cálidos. Agosto registró una temperatura media mensual 1,82 °C superior a la media histórica, mientras que setiembre registró una temperatura media mensual 2,42 °C superior a la serie climática (1986-2016). La temperatura media de los meses estivales fue superior a los registros históricos. El mes de diciembre fue en promedio 1,83 °C más cálido, 0,99 °C el mes de enero y 1,28 °C el mes febrero. La misma tendencia se observó en las temperaturas medias máximas, los registros de diciembre (33,09 °C) enero (33,2 °C), febrero (32,2 °C) fueron también superiores a las medias climáticas del período considerado (30,0, 31,9 y 30,2 °C, diciembre, enero y febrero, respectivamente). La segunda temporada presentó condiciones meteorológicas contrastantes respecto a la precedente. La temperatura media del aire durante el mes de agosto del 2018 fue menor a los promedios históricos (-1.1 °C), contrariamente, setiembre presentó temperaturas más elevadas (>3,52 °C) respecto a las medias climáticas. Durante los meses estivales la temperatura media fue similar a los promedios históricos, el mes de diciembre fue levemente más cálido (24,6 vs 24 °C), mientras enero presentó registros similares (25,4 vs 25,6 °C). Febrero presentó registros levemente superiores a la media climática (24,6 vs 24,3 °C). Durante la primera temporada las precipitaciones mensuales estuvieron por debajo de los registros históricos durante los meses noviembre (-63,9 mm), diciembre (-87,69 mm), enero (-45,71 mm) y febrero (-60.62 mm). La segunda temporada registró un volumen de precipitaciones similares a los históricos en los meses de agosto y setiembre. En el mes de noviembre se registraron menos precipitaciones, mientras que, los meses de enero y febrero registraron mayores precipitaciones, siendo el mes de enero excepcionalmente lluvioso.

En Canelones, al igual que en Salto, la primera temporada se caracterizó por ser cálida y seca. La temperatura media de los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre fue similar a los promedios históricos (1986-2016). La temperatura media del aire de los meses de enero y febrero fue sensiblemente superior al promedio histórico, no superando el grado de

diferencia. Las temperaturas medias máximas fueron inferiores a las históricas durante los meses estivales. El mes de enero presentó valores de ETP inferiores al promedio histórico (-6,99 mm), mientras que los meses de febrero y marzo se caracterizaron por presentar una demanda atmosférica superior a los promedios históricos (+ 7,94, + 8,4 mm, febrero y marzo respectivamente). La segunda temporada de evaluación presentó temperaturas medias inferiores durante los meses estivales, con excepción del mes de enero (+0,91 °C). Las temperaturas medias máximas de los meses estivales fueron inferiores a los promedios históricos. La ETP durante el período diciembre-marzo fue 86 mm menor al promedio histórico. En la primera temporada, las precipitaciones presentaron valores inferiores a los promedios históricos desde el mes de noviembre hasta febrero, registrándose una diferencia de -164 mm en el promedio acumulado respecto a la media climática. Las precipitaciones durante los meses estivales fueron superiores en la segunda temporada, siendo el acumulado de los meses de diciembre y enero superiores a la media histórica, en tanto el mes de febrero registró precipitaciones por debajo de la media.

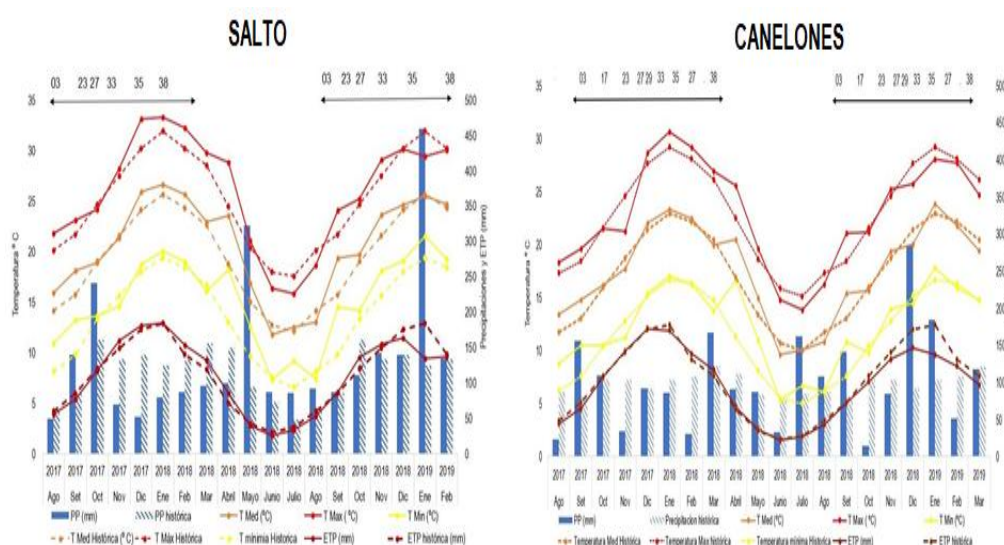


Figura 12. Climograma para los dos ciclos de cultivo en cada sitio. Línea roja: temperatura media máxima, Línea naranja: temperatura media, línea amarilla: temperatura mínima media, Línea bordó: evapotranspiración potencial. Barras celestes: precipitaciones. Líneas punteadas y barras discontinuas indican valores históricos de la serie (1986-2016). Línea negra representa el desarrollo fenológico del cultivo según Coombe (1995).

El cuadro 3 resume las condiciones ambientales durante la maduración de la uva en cada sitio según temporada. Salto presentó la mayor temperatura media, máxima y mínima durante la etapa de maduración de la uva. Durante la primera temporada la amplitud térmica fue similar entre ambas regiones, en tanto que en la segunda temporada fue superior en Canelones. La evapotranspiración potencial durante la maduración de la uva fue mayor en Salto independientemente de la temporada, así como la acumulación térmica diaria expresada como grados días base 10 (GDd10). Las precipitaciones durante el período de maduración presentaron mayor variabilidad interanual en la región Norte. Canelones presentó condiciones más frescas durante la maduración, con precipitaciones acumuladas relativamente estables entre años.

Cuadro 3. Características meteorológicas según sitio y temporada durante la etapa de maduración de la uva (estadios 34 a 38 según Coombe, 1995).

Sitio	Temporada	Tmed (° C)	Tmax (° C)	Tmin (°C)	ETP (mm)	PP (mm)	GDd10	AT °C	No. días > 30° C
Salto	1 ^{era}	27,1	33,8	19,8	188	30,2	17,0	13,7	27
	2 ^{da}	24,9	29,1	20,7	193	481	14,8	9,06	9
Canelones	1 ^{era}	22,4	29,1	16,4	127	55	11,5	13,0	17
	2 ^{da}	21,6	27,5	15,8	154	66	11,3	12,0	16

Tmed: temperatura media promedio. Tmax: temperatura máxima promedio. Tmin: Temperatura mínima promedio. ETP: evapotranspiración potencial. PP: precipitaciones acumuladas. AT: amplitud térmica, GDd10: grados días base 10.

Los valores de los índices bioclimáticos adaptados presentaron importantes diferencias interanuales (cuadro 4). El índice de sequía fue similar a los valores históricos durante 2018 para ambos sitios. En tanto la segunda temporada registró valores por encima a los históricos categorizando la temporada como húmeda (Salto) y subhúmeda (Canelones). El índice de Huglin fue mayor en Salto respecto a Canelones en ambas temporadas. Canelones se clasificó en ambas temporadas como un tipo de clima templado-cálido (IHa4), diferente a la clasificación histórica (IHa3). El volumen de precipitaciones durante el total del ciclo del cultivo fue mayor en Salto respecto a Canelones en ambas temporadas. En Canelones la mayor concentración de precipitaciones se dio en la primera fase del cultivo, es decir desde brotación a envero, esto se repitió en las dos temporadas de estudio. En tanto en Salto, durante la segunda temporada se registró una mayor concentración de precipitaciones durante la etapa de maduración de la uva repercutiendo en un balance hídrico altamente positivo al momento de cosecha, clasificando el año como húmedo.

Cuadro 4. Índices bioclimáticos. IHa: índice de Huglin adaptado, ISa: índice de sequía adaptado, IFa: índice de frescor nocturno adaptado. Serie histórica (Ferrer, 2007).

Temporada	Sitio	IHa	ISa	IFa	Clase climática
2017-2018	Salto	2870	-76	18,1	IHa ₅ IFa ₂ ISa ₁
	Canelones	2253	38	15,3	IHa ₄ IFa ₂ ISa ₂
	Salto	2793	169	18,7	IHa ₅ IFa ₂ ISa ₀₀
2018-2019	Canelones	2165	74	15,7	IHa ₄ IFa ₂ ISa ₀
Serie histórica	Canelones	2121	18	16,1	IHa ₃ IFa ₂ ISa ₁
Serie histórica	Salto	2602	31	17,3	IHa ₅ IFa ₂ ISa ₁

3.2. RESPUESTA DE LA PLANTA

3.2.1. Fenología del cultivo según sitio

La fenología del cultivo presentó diferencias entre sitios. La fecha de brotación fue siempre anterior en Salto respecto a Canelones. En la primera temporada, la brotación se dio 34 días antes en Salto respecto a la región sur. El comienzo más temprano del ciclo vegetativo implicó que la fecha de cosecha sea anterior en el norte respecto al sur en ambas temporadas (figura 13). Considerando ambos años, no se registraron diferencias en la duración en días del ciclo de cultivo entre regiones. En el norte se registró una importante diferencia interanual en el desarrollo fenológico del cultivo (figura 13).

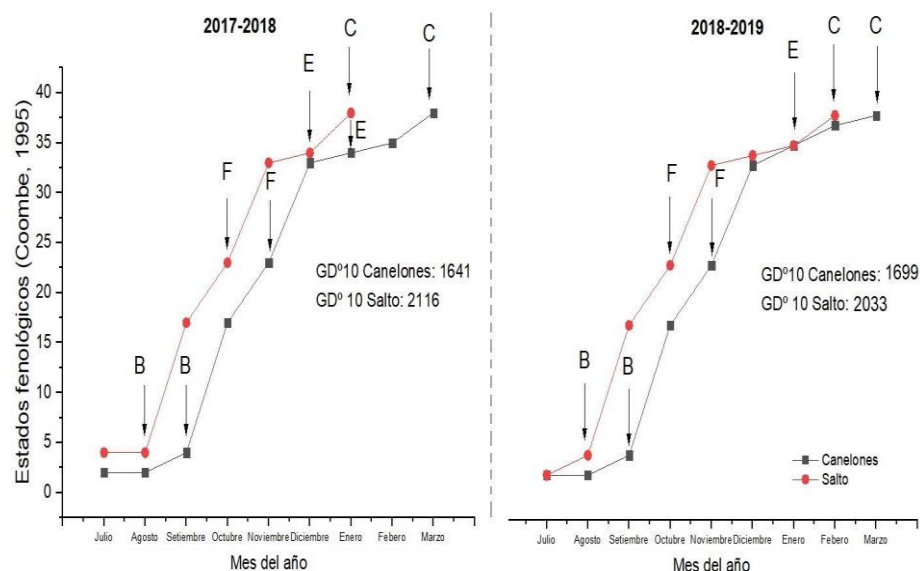


Figura 13. Representación esquemática de la evolución fenológica del cultivo según sitio y temporada. Estados fenológicos según Coombe (1995) junto con los grados días en base 10 acumulados. B: brotación, F: 50 % floración, E: 50 % de envero, C: cosecha.

3.2.2. Estado hídrico de las plantas

3.2.2.1 Efecto sitio y temporada

La figura 14 muestra el estado hídrico de las plantas para ambos sitios y ambas temporadas. Los niveles de estrés diario (MPa/día) fueron mayores en la primera temporada respecto a la segunda. Durante la primera temporada, Canelones presentó mayores niveles de estrés hídrico que Salto, esto se vió reflejado en los valores de δ_{13} . En la segunda temporada no se detectaron diferencias significativas entre sitios. Las dos variables utilizadas para cuantificar el estado hídrico de las plantas presentaron una relación lineal (figura 15).

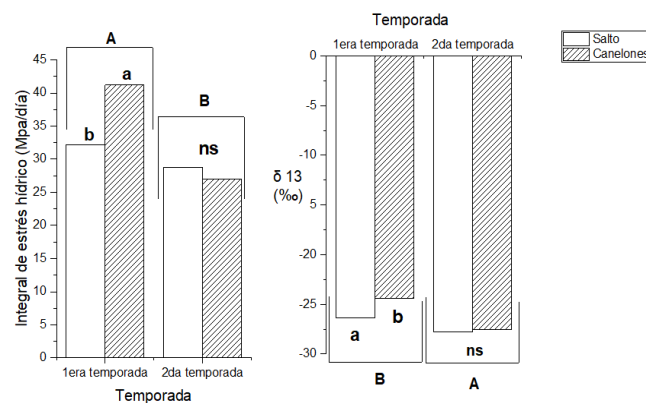


Figura 14. Izquierda: integral de estrés hídrico. Derecha: ratio isotópico del carbono. Tratamiento TC. Letras minúsculas indican comparación entre sitios. Letras mayúsculas indican comparación entre temporadas. Letras diferentes indican significancia estadística mediante LSD Fisher (α 0,05).

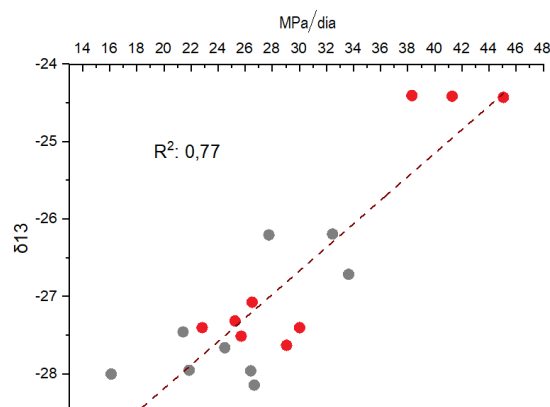


Figura 15. Relación entre la discriminación isotópica del carbono y la integral de estrés hídrico. Medias del año 2018 para tratamientos TC. Medias del año 2019 tratamientos TC y DPF. Rojo: Canelones, Gris: Salto.

3.2.2.2. Efecto de los tratamientos

La figura 16 muestra la evolución del potencial hídrico foliar de base observado en cada tratamiento, sitio y temporada en diferentes estadios fenológicos (Coombe, 1995). Se puede concluir que la aplicación de los tratamientos no implicó una modificación de los valores de este indicador de estrés.

En Salto, durante la primera temporada desde floración hasta mediados de maduración se registraron valores por encima de $-0,2$ Mpa. Mientras que desde el estado 36 hacia fases posteriores se registraron niveles de estrés cercanos a $-0,5$ Mpa, indicando niveles de estrés moderado a severo. En la segunda temporada la evolución del potencial hídrico muestra diferencias respecto a la primera. Durante cierre de racimo se registraron niveles de estrés moderados ($-0,2$ Mpa a $-0,4$ Mpa) situación que se revirtió durante comienzos de envero y hasta mediados de maduración donde se registraron niveles de estrés leve o nulo. Hacia cosecha se registraron nuevamente valores considerados dentro de la categoría de estrés moderado.

En Canelones, durante la primera temporada las plantas sufrieron niveles de estrés moderados en el estado 33 (Coombe, 1995). Durante las primeras etapas de la maduración (35 y 36, Coombe 1995) se detectaron niveles de estrés leves o nulos, hacia más avanzada la maduración se registraron nuevamente valores dentro de la categoría de estrés moderado. Durante la segunda temporada se registraron valores de potencial hídrico dentro de la categoría leves o nulos durante la mayor parte del período evaluado.

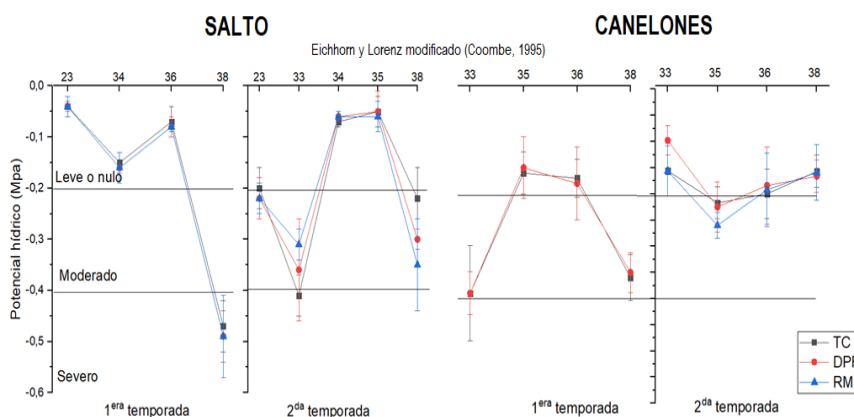


Figura 16. Evolución del potencial foliar de base según sitio y temporada (Coombe 1995). Medias $\pm$ D.E. Las líneas horizontales representan rangos de estrés hídrico según Carbonneau (1998).

La diferencia interanual puede notarse en el cuadro 5, la integral de estrés hídrico fue mayor para la primera temporada respecto a la segunda, no existiendo diferencias entre tratamientos en ninguna de las temporadas. En Salto, durante la segunda temporada la discriminación isotópica del carbono fue mayor en el tratamiento DPF respecto al TC (cuadro 6).

Cuadro 5. Integral de estrés hídrico según tratamiento.

Sitio	Temporada	Respuesta de la planta		
		S Ψ TC (MPa/día)	S Ψ DPF (MPa/día)	S Ψ RM (MPa/día)
Salto	1era	31,26 ns	32,2 ns	32,5 ns
	2da	26,16 ns	21,5 ns	20,8 ns
Canelones	1era	40,9 ns	41,5 ns	n/d
	2da	26,9 ns	24,3 ns	28,3 ns

S Ψ : integral de estrés hídrico. ns: no significativo entre tratamientos.

Cuadro 6. Ratio isotópico del carbono 13.

SITIO	Temporada	TC	DPF	RM
SALTO	1era	-26,37	n/d	n/d
	2da	-27,45 b	-28,00 a	n/d
CANELONES	1era	-24,21	n/d	n/d
	2da	-27,26 ns	-27,57 ns	n/d

Letras diferentes indican significancia estadística de acuerdo al test de Tukey (α 0,05).

3.2.3 Crecimiento vegetativo

3.2.3.1. Efecto sitio y temporada

La figura 17 muestra la superficie foliar expuesta (SFEp) por hectárea en cada sitio para cada temporada. Canelones presentó mayor crecimiento vegetativo en ambas temporadas. Durante la primera temporada, en Salto se registró incidencia de *Peronospora* lo cual afectó severamente la SFEp del cultivo (ver anexo 7.4). El efecto año fue significativo, siendo la segunda temporada la que presentó mayor SFEp.

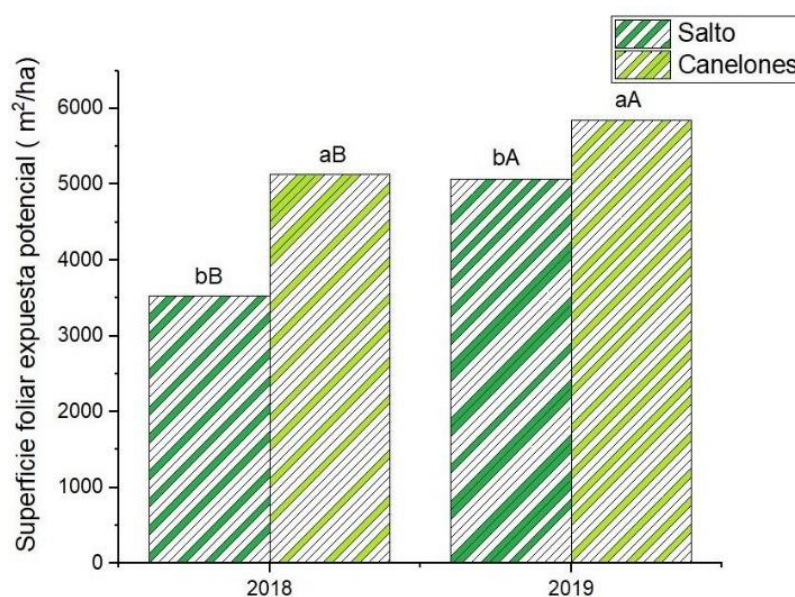


Figura 17. Superficie foliar expuesta según sitio y temporada. Letras minúsculas indican comparación entre sitios. Letras mayúsculas indican diferencia entre años en cada sitio.

Letras diferentes indican significancia estadística de acuerdo a LSD Fisher (α 0,05)

El análisis de pámpanos realizado durante el segundo ciclo muestra diferencias entre ambos viñedos. El viñedo de Salto presentó mayor cantidad de hojas principales y feminelas, mientras que el viñedo de Canelones presentó mayor tamaño de hoja, mayor largo de entrenudo y mayor área foliar de la feminela (cuadro 7).

Cuadro 7. Características la canopia y del pámpano (n: 18) según sitio. 2^{da} temporada.

Variable	Canelones	Salto	p-valor
SFEp por planta (m ²)	1,84	1,52	0,008
No. de pámpanos por planta	13,3	13,9	0,24
Porosidad de la canopia (%)	16,7	15,0	0,44
Largo del pámpano (cm)	138	103,0	0,02
Hojas principales por pámpano*	13	16	0,008
Área hoja expuesta (cm ²)	158,9	115,2	< 0,0001
Área hoja sombreada (cm ²)	128,6	103,1	< 0,0001
Área aportada por hojas principales (cm ²)	1739	1692	< 0,0001
No. de feminelas por pámpano*	9,3	12	0,03
No. hojas por feminela*	3,5	3	0,35
Área foliar de la feminela (cm ²)	1502	1070	< 0,0001
Largo de entrenudo (cm)	6,54	5,33	0,01

Para variables discretas. (*) Análisis mediante modelo lineal generalizado DGC (α 0,05). Variables continuas análisis de la varianza LSD (α 0,05).

3.2.3.2. Efecto de los tratamientos

La figura 18 muestra el efecto de los tratamientos sobre la SFEP por planta en cada situación. En Salto, el DPF mostró en ambos años menor SFEP que el tratamiento TC. Durante la primera temporada las plantas alcanzaron el menor valor de superficie foliar expuesta (p -valor $< 0,001$). En Canelones, el DPF obtuvo menor SFEP en la primera temporada, mientras que no se registraron diferencias entre tratamientos durante el segundo año de evaluación

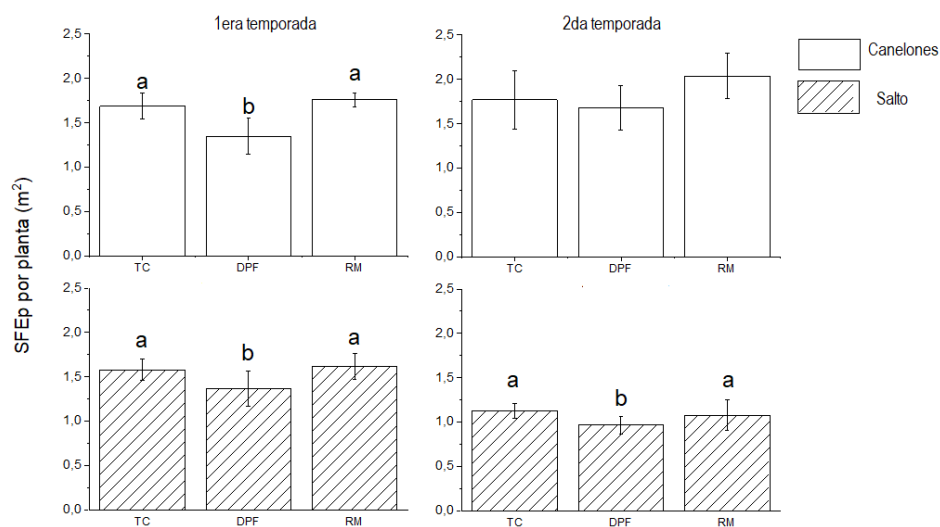


Figura 18. Superficie foliar expuesta potencial (SFEP) según tratamiento. Medias $\pm$ D.E. Letras diferentes indican diferencia estadística mediante Tukey ($\alpha 0,05$).

. En Salto, la exposición de los racimos presentó diferencias entre tratamientos. La mayor exposición de racimos fue alcanzada por el tratamiento DPF seguida por el RM y finalmente el TC en ambas temporadas (figura 19). En Canelones, el DPF obtuvo el mayor porcentaje de racimos expuestos durante la primera temporada, mientras que no se registraron diferencias significativas entre tratamientos durante la segunda temporada.

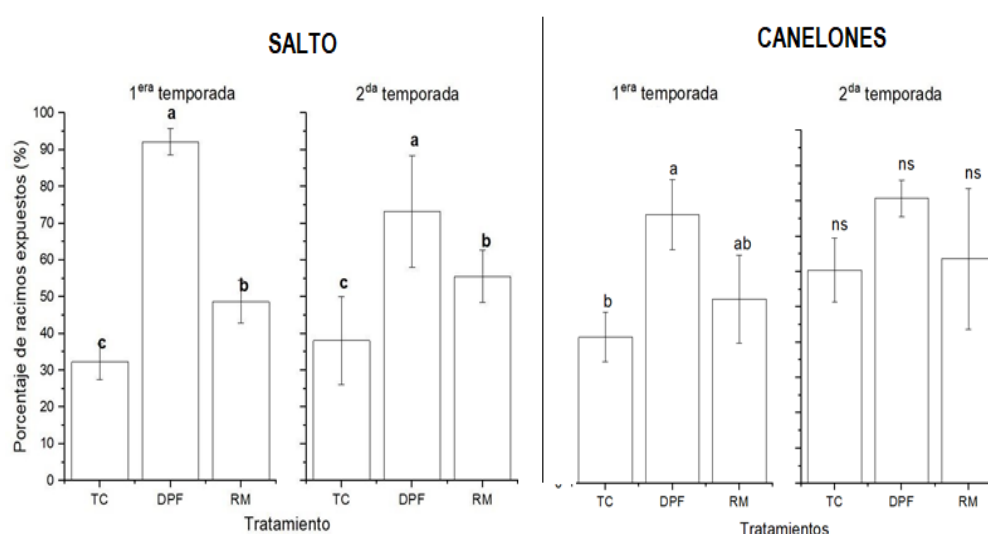


Figura 19. Exposición de racimos según tratamiento, sitio y temporada. Medias $\pm$ D.E. Letras diferentes indican significancia estadística mediante el test de HSD Tukey (α 0,05).

3.2.4. Microclima de la canopia

3.2.4.1 Según sitio

La figura 20 muestra la evolución de la temperatura y humedad relativa de la canopia según sitio, considerando el período de maduración. La temperatura en el interior de la canopia fue mayor en Salto respecto a Canelones en ambas temporadas. Las temperaturas diurnas (6 a 19 horas) durante la primera temporada fueron, en promedio, de 32 ° C en Salto y 26 ° C en Canelones, mientras que en la segunda temporada los promedios fueron de 26 ° C y 23 ° C (Salto y Canelones, respectivamente). Por otra parte, las temperaturas nocturnas (20 a 5 horas) fueron de 23 ° C en Salto y 18 ° C en Canelones durante la primera temporada, mientras que durante la segunda temporada fueron de 22 ° C en Salto y 17 ° C en Canelones.

La evolución de la humedad relativa durante el día presentó diferencias entre sitios según la temporada. Durante la primera temporada, Canelones presentó mayores valores de humedad relativa durante las primeras horas del día (8,10,12 horas), mientras que no se registraron diferencias significativas durante las horas restantes. En promedio, la humedad relativa en el interior de la canopia fue de 67,8 % en Canelones y de 63,8 % en Salto (p-valor 0,0003). En la segunda temporada, la humedad relativa en el interior de la canopia fue, en promedio, superior en Salto (82,9 %) respecto a Canelones (77,5%, p-valor < 0,0001).

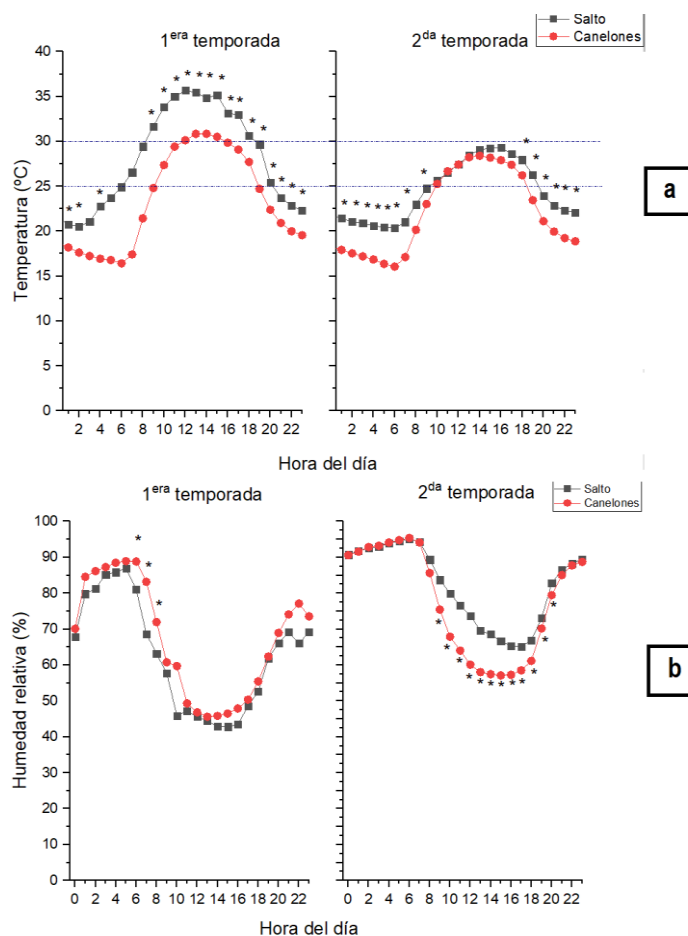


Figura 20. Evolución de la temperatura (a) y humedad relativa (b) en el interior de la canopia durante el período de maduración (% HR) según sitio. Líneas punteadas indican rango de temperatura óptima para la fotosíntesis según Kriedemann (1968). Cada punto representa la media horaria de tres sensores.(*) Indican diferencias estadísticas según LSD Fisher (α 0,05).

La segunda temporada fue más húmeda, registrando mayor porcentaje de horas con valores de humedad relativa entre 90 y 100 % (cuadro 8).

Cuadro 8. Porcentaje de horas con temperaturas superiores a 30 °C, 35 °C y HR: Humedad relativa entre 90-100 % según temporada y sitio durante el período de maduración de la uva.

Sitio	Temporada	Temperaturas	Temperaturas	HR (90-100%)
		➤ 30 ° C	➤ 35 ° C	
SALTO	1era	39	23	18
CANELONES	1era	23	3	24
SALTO	2da	17	4,1	46
CANELONES	2da	13	1	38

3.2.4.2 Efecto de los tratamientos

En la figura 21 se presenta el perfil diario de temperatura y humedad relativa en la zona de los racimos durante el período de maduración (34 a 38 según Coombe 1995) para cada uno de los tratamientos aplicados. Estos tratamientos provocaron diferencias significativas a nivel microclimático según la temporada y el sitio.

En Salto, durante la primera temporada el RM presentó temperaturas superiores a las del tratamiento TC sobre las horas de la tarde (17, 18, 19 y 20 horas), mientras que el DPF registró mayor temperatura durante las horas de la mañana (8,9 y 10 horas). En Canelones el DPF presentó mayores valores de temperatura en las horas de la mañana (10,11,12). En Salto, durante la segunda temporada se registró mayor temperatura media en el tratamiento TC (23,85 °C) respecto a los tratamientos DPF (23,07 °C) y RM (23,26 °C). Los tratamientos DPF y RM presentaron temperaturas inferiores respecto al TC durante las horas de la mañana (10,11,13), así como también durante las horas de la tarde (14,15,16,17). En Canelones no se observaron diferencias entre tratamientos.

La humedad relativa presentó diferencias entre años, en Salto durante la primera temporada la evaluación no se realizó por registrarse fallas en los termómetros. Únicamente se detectaron diferencias significativas en el tratamiento DPF en Canelones durante ciertas horas de la mañana en la primera temporada.

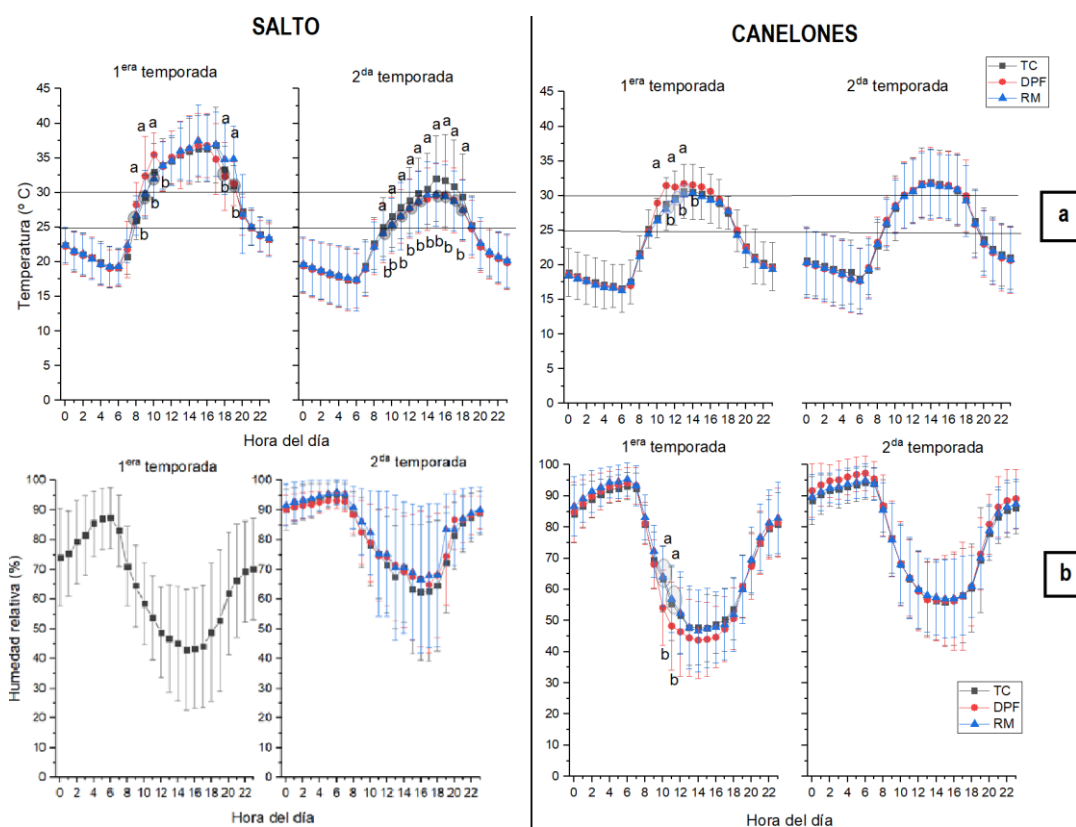


Figura 21. A: perfil diario de temperatura (°C) y B: perfil diario de humedad relativa (%) según tratamiento. Desde comienzo de maduración hasta cosecha (34 a 38 según Coombe, 1995).

Línea negra indica rango de temperatura óptimo para la fotosíntesis según Kriedemann (1968).

Promedios horarios $\pm$ D.E.

No se detectaron diferencias entre tratamientos respecto al porcentaje de horas con temperaturas superiores a 30 °C y a 35 °C. Así como tampoco en el porcentaje de horas con humedad relativa entre 90 y 100 %, en ningún sitio (cuadro 9 y 10).

Cuadro 9. Porcentaje de horas con temperaturas superiores a 30 y 35 °C según tratamiento durante el período de maduración de la uva.

Temporada	Tratamiento	SALTO		CANELONES	
		Horas > 30 °C (%)	Horas > 35 °C (%)	Horas > 30 °C (%)	Horas > 35 °C (%)
1era	TC	38	23	23	5
	DPF	40	23	26	2
	RM	39	24	20	2
2da	TC	17	5	12	1
	DPF	17	3,5	15	1
	RM	17	4	12	1

Cuadro 10. Porcentaje de horas con humedad relativa entre 90-100 % durante el período de maduración de la uva. n/d: no hay datos.

		SALTO	CANELONES
% de horas con HR entre 90 y 100 %			
1era	TC	18	23
	DPF	n/d	23
	RM	n/d	28
2da	TC	43	35
	DPF	50	42
	RM	46	36

3.2.4.3. Intercepción de radiación

La radiación fotosintéticamente activa (PAR) acumulada por día en la zona de los racimos mostró diferencias entre tratamientos. El tratamiento DPF presentó una mayor acumulación de radiación seguido por el RM y por último el tratamiento TC (figura 22).

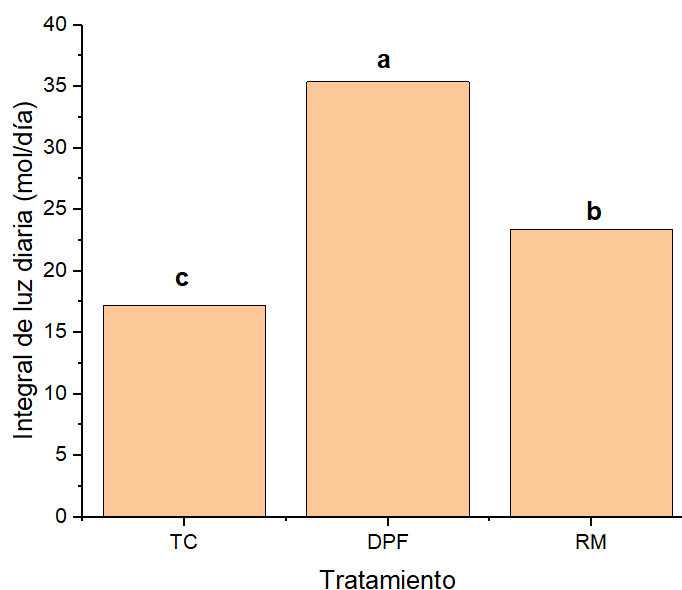


Figura 22. Integral de luz diaria. Salto 2^{da} temporada. Promedio diario considerando las horas de luz (7 a 20 horas). Período considerado 42 días. Letras diferentes indican significancia estadística mediante el test de HDS Tukey (α 0,05)

3.2.5. Componentes del rendimiento

3.2.5.1. Efecto sitio y temporada

Los componentes del rendimiento presentaron diferencias significativas entre sitios según el año (cuadro 11). Durante la primera temporada, Salto registró los menores rendimientos por planta debido a una importante incidencia de mildiu (*Plasmopara viticola*) durante la etapa de floración del cultivo y a la ocurrencia de eventos de granizo. La suma de dichos factores afectó negativamente al número de racimos por planta y número de bayas por racimo, y consecuentemente a su peso final. El peso de la baya fue menor en Salto respecto a Canelones, resultado que fue consistente e independiente del efecto temporada. Durante la segunda temporada se registró incidencia de mildiu próximo a floración en Canelones, lo que afectó negativamente al número de racimos por planta, resultando en menores rendimientos. El análisis factorial muestra que la interacción sitio-temporada fue significativa para todos los componentes del rendimiento, a excepción del peso de baya (cuadro 11).

Cuadro 11. Efecto sitio, temporada e interacción sitio-temporada (S x T) sobre los componentes del rendimiento

Variable	SALTO	CANELONES	Efecto sitio (p-valor)	Temporada	S x T
	1 ^{era} temporada				
No. de racimos por planta	11 ± 3	19 ± 5	0,005	-	-
Peso del racimo (g)	114 ± 33	250 ± 33	< 0,0001	-	-
Número de bayas por racimos	83 ± 23	142 ± 20	< 0,0001	-	-
Peso de la baya (g)	1,37 ± 0,09	1,75 ± 0,12	< 0,0001	-	-
2^{da} temporada					
No. de racimos por planta	18 ± 5	13 ± 4	< 0,0001	-	-
Peso del racimo (g)	210 ± 33	234 ± 54	0,31	-	-
Número de bayas por racimos	126 ± 20	114 ± 55	0,54	-	-
Peso de la baya (g)	1,67 ± 0,09	1,84 ± 0,15	< 0,0001	-	-
Efecto promedio					
No. de racimos por planta	15 ± 5	15 ± 5	0,87	< 0,0001	0,002
Peso del racimo (g)	162 ± 60	243 ± 43	< 0,0001	< 0,0001	0,005
Número de bayas por racimos	104 ± 31	128 ± 43	0,06	< 0,0001	0,004
Peso de la baya (g)	1,52 ± 0,18	1,80 ± 0,14	< 0,0001	< 0,0001	0,10

3.2.5.2 Efecto de los tratamientos

Los componentes del rendimiento presentaron diferencias significativas entre tratamientos según el sitio y la temporada. Ambos tratamientos tuvieron el efecto esperado sobre el rendimiento y sus componentes en ambos sitios (cuadro 12).

El RM produjo los mayores descensos del rendimiento en ambos sitios, siendo en promedio de 28 % respecto al TC en Salto y del 42 % en Canelones. El principal componente del rendimiento afectado fue el número de racimos por planta. El DPF provocó un descenso del rendimiento más variable (11-39 %), siendo en promedio de 14 % en Salto y de 28 % en Canelones. El DPF afectó el número de bayas por racimo y consecuentemente el peso del racimo. El peso de baya no fue modificado por los tratamientos. Se observó un incremento de la fertilidad de yemas en la segunda temporada en Canelones en el tratamiento DPF.

El efecto año fue significativo para todos los componentes del rendimiento en ambos sitios, a excepción del número de bayas por racimo en Canelones. La interacción año por tratamiento fue significativa sobre el rendimiento y el número de racimos por planta en Salto.

Cuadro 12. Efecto de las prácticas de manejo sobre el rendimiento y sus componentes.

Sitio	Temporada	Tratamiento	Rendimiento (kg)	Número de racimos	Peso del racimo (g)	No. bayas por racimo	Peso de la baya (g)	Inf/brote
SALTO	1 ^{era}	TC	1,4	13 a	109 ab	77	1,40 a	1,52
		DPF	1,2	14 a	92 b	72	1,28 b	1,53
		RM	1,4	9 b	138 a	99	1,43 a	1,44
	2 ^{da}	TC	4,5 a	22 a	196 ab	126 ab	1,64	1,31
		DPF	2,6 b	20 a	139 b	110 b	1,68	1,37
		RM	2,5 c	12 b	217 a	130 a	1,70	n/d
Temporada (<i>p</i> -valor)			<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0004	<0,0001	0,002
Temporada x tratamiento (<i>p</i> -valor)			0,0379	0,0214	0,3753	0,3720	0,2163	0,2458
CANELONES	1 ^{era}	TC	5,4 a	22 a	256 a	144 b	1,75	1,73
		DPF	4,7 a	22 a	211 b	121 c	1,79	1,72
		RM	3,5 b	12 b	283 a	164 a	1,72	1,54
	2 ^{da}	TC	3,9 a	14 a	284 a	142 a	1,79	1,72 b
		DPF	2,3 b	12 ab	202 b	101 b	2,01	1,96 a
		RM	2,1 b	8 b	246 ab	136 a	1,80	1,69 b
Temporada (<i>p</i> -valor)			<0,0001	0,0003	0,3565	0,1611	0,0061	0,064
Temporada x tratamiento (<i>p</i> -valor)			0,3044	0,1502	0,3753	0,8655	0,1001	0,2620

Letras diferentes indican significancia estadística de acuerdo al test de HSD Tukey (α 0,05).

3.2.6 Efecto de los tratamientos sobre los indicadores fisiológicos

La figura 23 presenta el peso de poda y el peso de sarmiento según tratamiento, sitio y temporada. No se registraron diferencias significativas entre tratamientos para el peso de poda y el peso del sarmiento en ningún sitio ni en ninguna temporada. El efecto temporada fue significativo para ambas variables (p -valor 0,0001), los pesos de poda y de sarmiento más elevados se registraron en la segunda temporada.

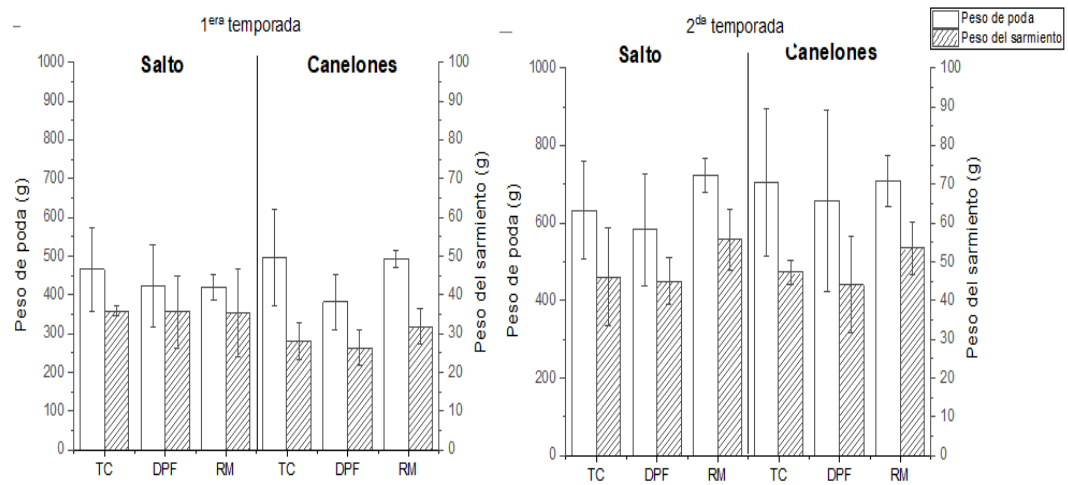


Figura 23. Peso de poda y peso del sarmiento según tratamiento, sitio y temporada. Medias $\pm$ D.E. Ausencia de letras indica que no hay significancia estadística.

Los indicadores fisiológicos presentaron diferencias entre tratamientos según el sitio y la temporada (figura 24). En Salto, durante la primera temporada no se registraron diferencias en los indicadores fisiológicos. Por el contrario, en la segunda temporada el RM aumento la relación hoja fruta respecto al TC. En Canelones, durante la primera temporada el RM permitió obtener valores de equilibrio para el Índice de Ravaz e incrementar la relación hoja/fruta. Por otra parte, los tratamientos TC y DPF encontraron su equilibrio desplazado hacia el rendimiento. En la segunda temporada no se registraron diferencias significativas entre tratamientos para el índice de Ravaz. La relación hoja-fruta fue incrementada por el RM en ambas temporadas, el DPF presentó valores similares al TC en la primera temporada, durante la segunda temporada se registraron valores superiores, pero sin diferenciarse estadísticamente del TC (figura 24).

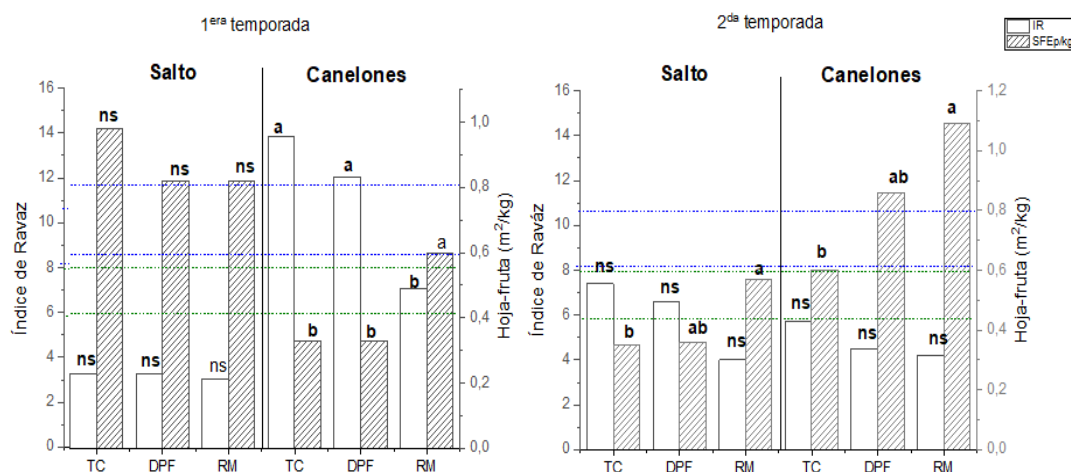


Figura 24. Indicadores fisiológicos. Líneas punteadas azules indican rango de equilibrio para la relación hoja-fruta según Echeverría *et al.* (2017a). Línea punteada verde indica rango de equilibrio para el cultivar Tannat según Ferrer *et al.* (1997). Letras diferentes indican significancia estadística de acuerdo al test de HSD Tukey (α 0,05).

3.3. COMPOSICIÓN DE LA BAYA

3.3.1 Evolución del peso de baya

La evolución del peso de la baya presentó diferencias entre sitios (figura 25). Durante la primera temporada, Canelones registró mayor peso de la baya respecto a Salto durante todos los estadios fenológicos. En Salto se observó un descenso importante del peso de la baya a partir del estado 36 en la segunda temporada (Coombe, 1995).

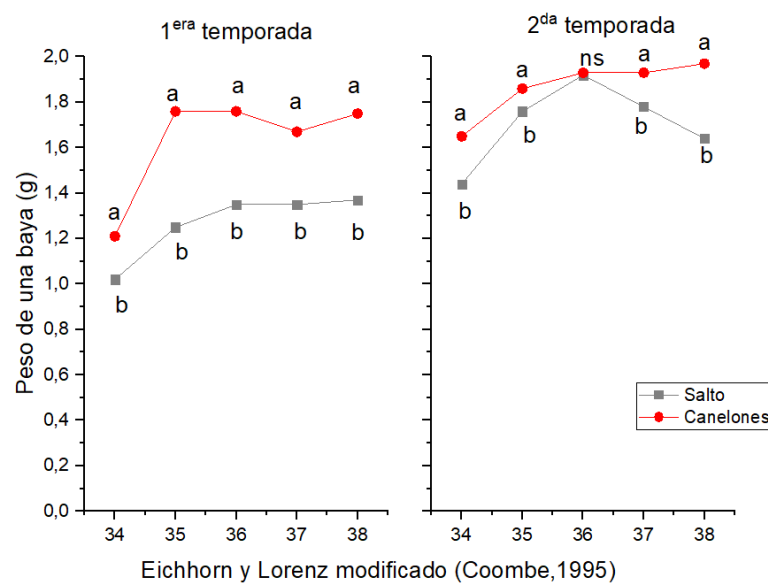


Figura 25. Evolución del peso de la baya según sitio en cada temporada. Letras diferentes indican diferencia estadística mediante test de LSD Fisher (0,05).

La evolución del peso de la baya presentó diferencias entre tratamientos según el año (figura 26). En Salto, durante la primera temporada el DPF registró el menor tamaño de baya durante toda la fase de maduración. Durante la segunda temporada, no registraron diferencias entre tratamientos en ningún estadio de la maduración. La primera temporada tuvo el menor peso de baya promedio al momento de la cosecha mientras que la segunda temporada registró los valores más altos de la serie, sin registrar diferencias entre tratamientos. En Canelones no se observaron diferencias entre tratamientos en ninguna temporada.

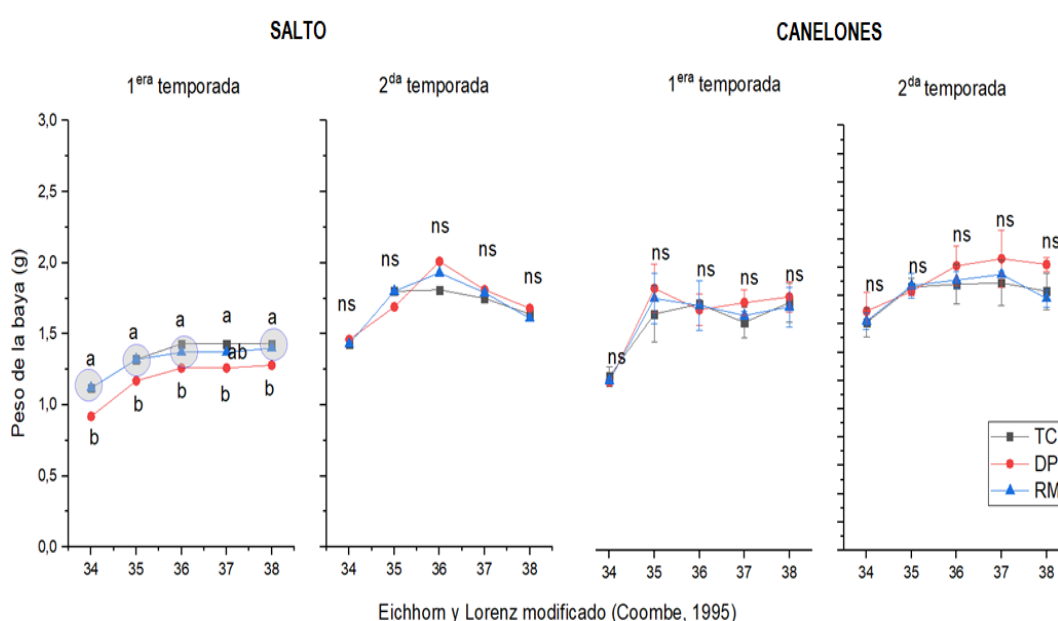


Figura 26. Evolución del peso de la baya durante la fase de maduración según temporada. Letras diferentes indican significancia estadística de acuerdo al test de HSD Tukey (α 0,05).

3.3.2 Concentración de sólidos solubles totales y acumulación por baya

La figura 27 muestra la evolución de la concentración de sólidos solubles totales (% Brix) y la acumulación por baya, según sitio y temporada. Durante ambas temporadas existieron diferencias significativas a favor de Canelones, tanto en términos de concentración como acumulación de azúcares. La diferencia entre años fue significativa (p-valor 0,003), siendo la primera temporada la que registró mayores valores de concentración de sólidos solubles totales 23,8 (%) respecto a la segunda 21.8 (%). En términos de acumulación, Canelones registró en ambas temporadas la mayor cantidad de azúcares por baya. La cantidad de azúcares por baya mostró una relación lineal con el peso de la baya, mientras que no se detectó una relación significativa entre la concentración de sólidos solubles y el tamaño de baya (figura 28).

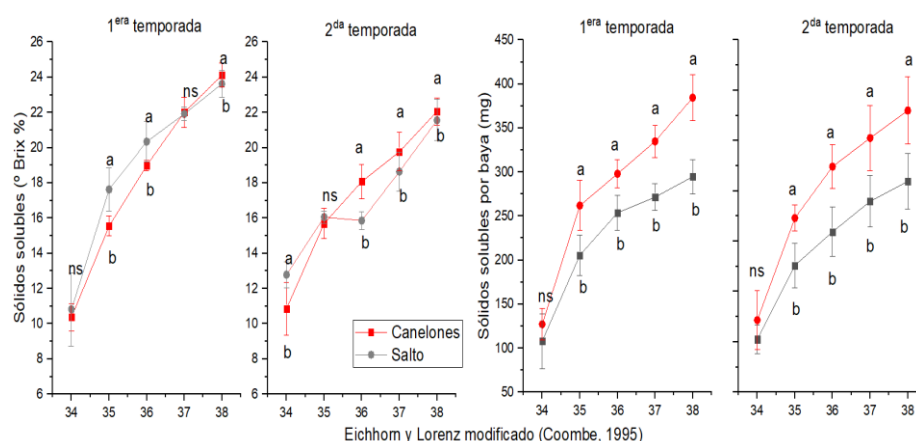


Figura 27. Evolución de la concentración de sólidos solubles totales según sitio en cada temporada de estudio. Letras diferentes indican significancia estadística de acuerdo con el test de LSD Fisher (α 0,05).

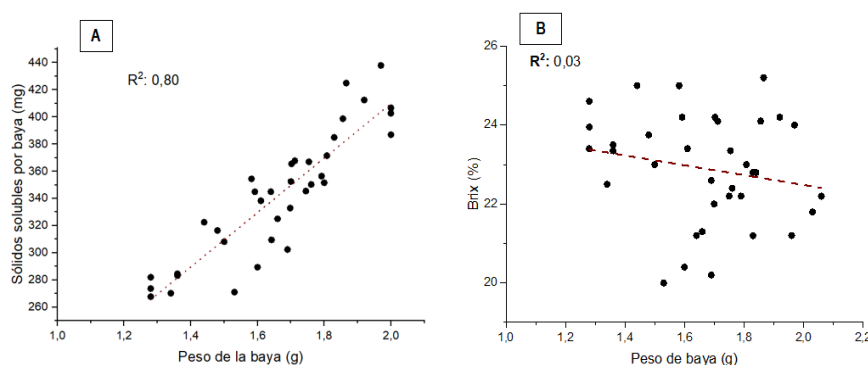


Figura 28. A: Relación entre el peso de la baya (g) y la cantidad de sólidos solubles por baya (mg). B: relación entre el peso de baya y los sólidos solubles totales (° Brix).

La figura 29 presenta la acumulación de sólidos solubles por baya y la concentración según tratamientos. En Salto, el DPF presentó una menor cantidad de azúcares por baya respecto al tratamiento TC durante todo el período de maduración en la primera temporada. En la segunda temporada, la aplicación de los tratamientos tuvo un efecto positivo sobre la acumulación de sólidos solubles en la baya según el estado fenológico. En los estados 36 y 37 ambos tratamientos difirieron estadísticamente del TC. En cosecha se registró una tendencia similar, aunque las diferencias no fueron significativas (p-valor 0,06). En Canelones, se registraron diferencias entre tratamientos únicamente en la segunda temporada, el DPF presentó mayor cantidad de azúcares respecto al TC y al RM. En términos de concentración, el efecto de los tratamientos fue significativo durante el estado 34 y en el estado 38 en la primera temporada en Salto, siendo los tratamientos TC y DPF los tratamientos que obtuvieron mayor concentración de sólidos solubles totales diferenciándose del RM. En la segunda temporada los tratamientos RM y DPF incrementaron la concentración de sólidos solubles en el mosto a partir del estado 37 (Coombe, 1995). En Canelones el RM incrementó la concentración de sólidos solubles durante la primera temporada en Canelones, en tanto durante la segunda temporada tanto el DPF como el RM incrementaron dicha variable respecto al TC.

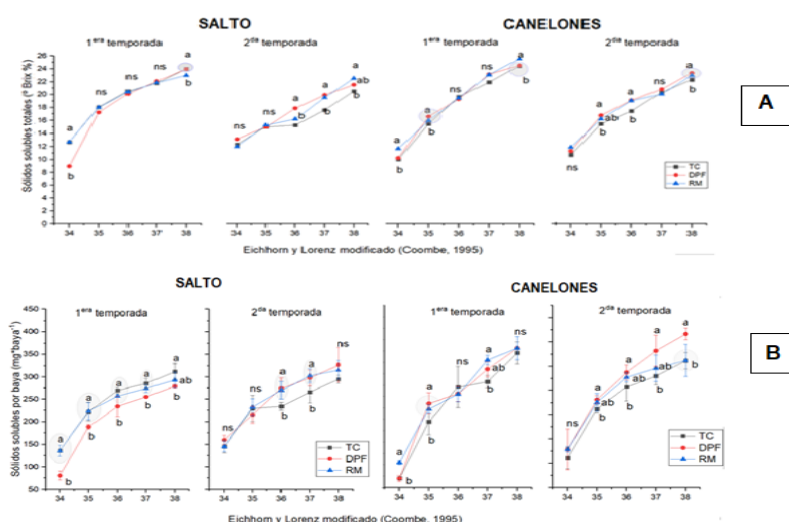


Figura 29. A: evolución de la concentración de sólidos solubles (°Brix). B: Acumulación de sólidos solubles por baya según estado fenológico según Coombe (1995) para ambas temporadas. Medias $\pm$ D.E. Letras diferentes indican significancia estadística entre tratamientos de acuerdo al test de Tukey (α 0,05)

3.3.3. Evolución del pH y la acidez

La figura 30 muestra la evolución de la acidez total y el pH según sitio para cada temporada. El descenso de la acidez fue mayor en Salto respecto a Canelones, independientemente de la temporada. En la primera temporada Salto comenzó con mayores valores de acidez, que luego presentaron un descenso importante desde el estado 34 al estado 35 (Coombe, 1995). En la segunda temporada los valores de acidez fueron mayores en Canelones desde el comienzo hasta la madurez tecnológica. Las uvas provenientes de Salto presentaron mayor pH respecto a las de Canelones en las dos temporadas de estudio.

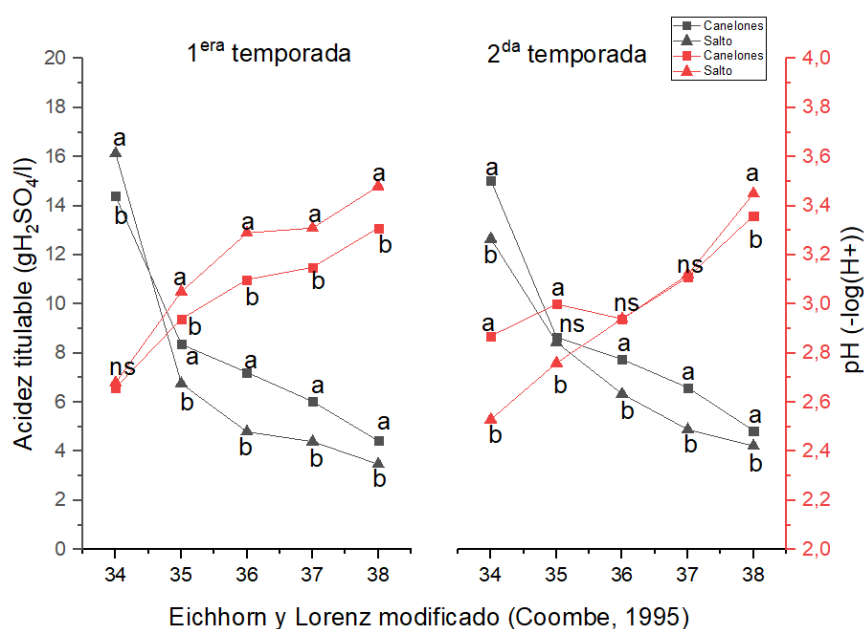


Figura 30. Evolución de la acidez total y el pH según sitio y temporada. Líneas rojas: pH, Líneas grises acidez. Letras diferentes indican significancia estadística de acuerdo al test de LSD Fisher (α 0,05).

La figura 31 presenta la evolución de la acidez total y el pH según el tratamiento aplicado en cada sitio y temporada. No se observaron cambios sustanciales en la dinámica de ambas variables. Durante la primera temporada en Salto, el DPF comenzó la etapa de maduración con mayores niveles de acidez, aunque no se detectaron diferencias significativas al momento de cosecha. Del mismo modo, no se detectaron diferencias en el pH del mosto. En Canelones, el RM presentó menores niveles de acidez al momento de cosecha en relación al TC y al DPF durante la primera temporada. En la segunda temporada no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos.

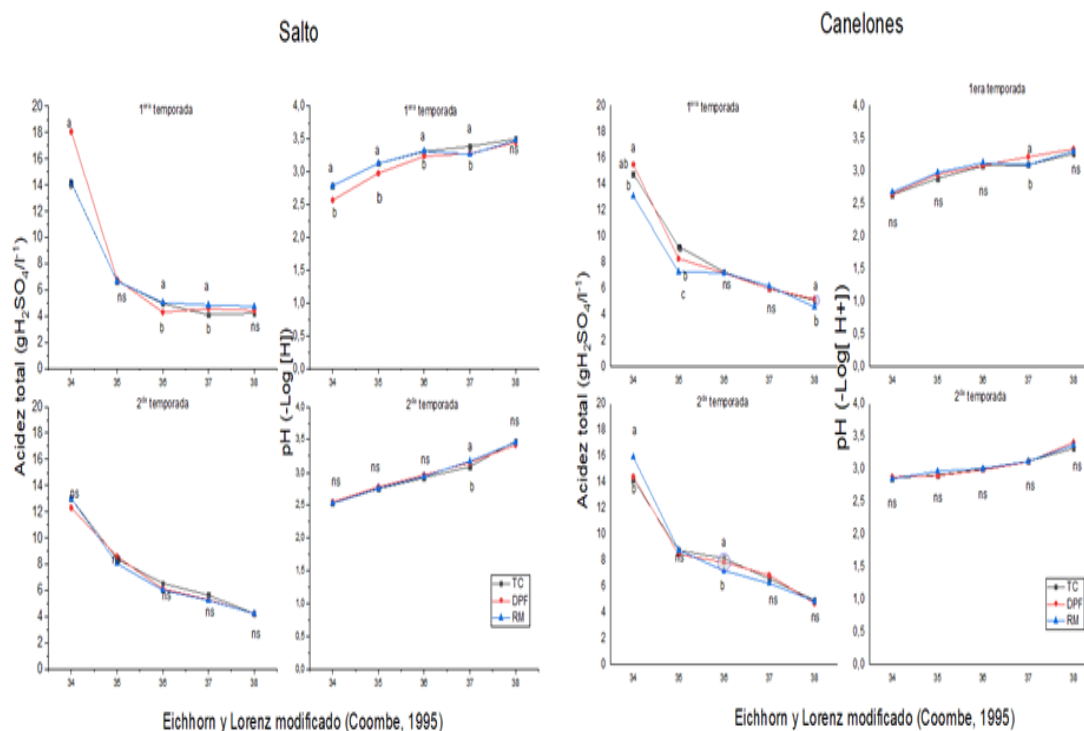


Figura 31. Evolución del pH y la acidez total según tratamientos en cada sitio. Letras diferentes indican significancia estadística entre tratamientos de acuerdo al test de HDS Tukey (0,05).

3.3.3.1 Composición de la acidez

El cuadro 13 muestra la concentración de ácido málico y tartárico por litro de mosto, en uvas del tratamiento TC provenientes de Salto y Canelones para ambas temporadas. En ambas temporadas las uvas de Salto presentaron menor concentración de ácido málico, así como menores concentraciones de ácidos en general. La concentración de ácido tartárico no presentó diferencias entre sitios. La interacción sitio por temporada no fue significativa.

Cuadro 13. Concentración de ácido málico y tartárico según sitio y temporada.
Tratamiento TC.

Temporada	Sitio	Tartárico (mEq/L)	Málico (mEq/L)	M+T (mEq/L)
1era	Salto	33,02 a	55,49 b	88,5 b
	Canelones	27,87 a	63,73 a	91,6 a
2da	Salto	17,71 a	55,59 b	75,6 ns
	Canelones	22,16 a	57,89 a	77,7 ns
	Salto	25,36 a	55,54 b	80,9 ns
Promedio	Canelones	25,01 a	60,81 a	85,2 ns
Temporada (<i>p-valor</i>)		0,0005	0,0002	0,002
Sitio x temporada (<i>p-valor</i>)		0,0504	0,2319	0,7131

Letras diferentes indican diferencias estadísticas de acuerdo al test LSD Fisher (α 0,05).

El cuadro 14 muestra el efecto de los tratamientos sobre la concentración de ácidos málico, tartárico, la sumatoria de ambos ácidos y la relación málico/tartárico para cada uno de los sitios y temporadas analizados. En la primera temporada, en Canelones, el DPF presentó mayor concentración de ácido tartárico respecto al TC, lo cual resultó en una menor relación málico/tartárico. Durante la segunda temporada se observaron diferencias en la concentración de ácido málico, la cual fue superior en el tratamiento DPF y más baja en el tratamiento TC. El tratamiento DPF presentó el mayor contenido de ácidos (p-valor 0,04). En Salto no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro 14. Composición de la acidez de la uva según tratamiento, sitio y temporada.

Sitio	Temporada	Tratamiento	Tartárico (mEq/l)	Málico (mEq/l)	Σ T+M (mEq/l)	M/T
Salto	1 ^{era}	TC	33,02	55,5	88,5	1,68
	2 ^{da}	TC	17,7	55,6	75,6	3,14
		DPF	23,3	55,7	79,0	2,42
		RM	25,6	58,6	84,3	2,28
Canelones	1 ^{era}	TC	27,8 b	63,7	92,0	2,28 a
		DPF	31,1 a	62,4	93,4	2,00 b
	2 ^{da}	TC	22,1	55,5 c	79,9 b	2,51
		DPF	26,2	62,3 a	88,4 a	2,37
		RM	22,4	60,2 b	82,6 b	2,68

Σ T+M: sumatoria tartárico y málico (mEq/l). M/T: relación málico/tartárico. Letras diferentes indican significancia estadística de acuerdo al test de HDS Tukey (α 0,05).

3.3.4. Nitrógeno fácilmente asimilable (NFA)

La interacción temporada-sitio fue significativa sobre la concentración de NFA (p-valor 0,002). La figura 32 muestra que durante la primera temporada los mayores valores los registró Salto (p-valor 0,0002) en tanto durante la segunda temporada fueron registrados en Canelones (p-valor 0,0001). La concentración de NFA mostró una relación positiva con la concentración de sólidos solubles (° Brix) y negativa con los valores de potencial hídrico promedio durante la maduración de la uva (figura 32).

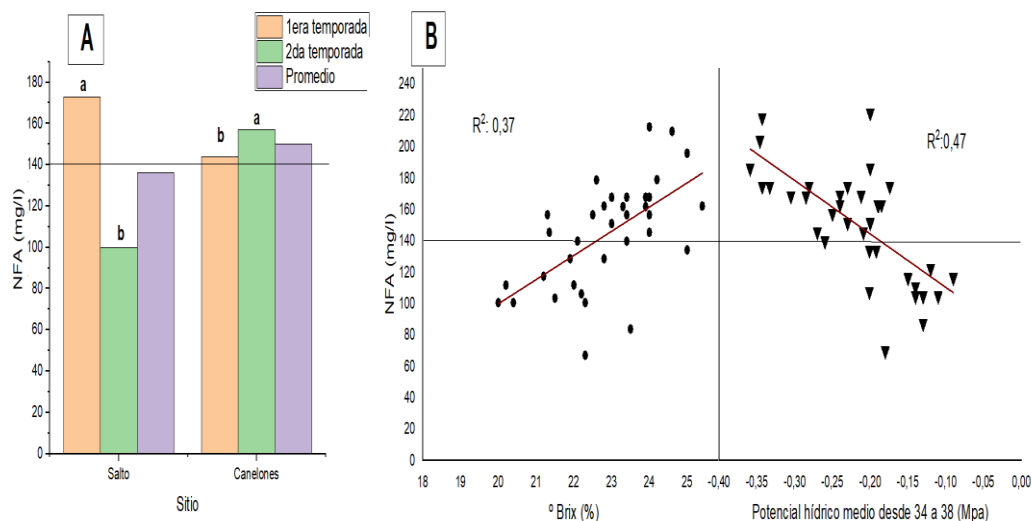


Figura 32.A: Nitrógeno fácilmente asimilable (mg/L) según sitio. Letras diferentes indican diferencias estadísticas según Fisher (α 0,05) dentro de cada temporada. B: Panel izquierdo: relación entre el contenido de NFA y la concentración de sólidos solubles (%). Panel derecho: relación entre el potencial hídrico promedio desde 34 a 38 (Coombe, 1995) y el contenido de NFA en el mosto(mg/l). Línea negra horizontal en ambos gráficos indica mínimo valor de NFA para asegurar una correcta fermentación según Belly *et al.* (1990).

Los tratamientos no presentaron diferencias significativas en la concentración de NFA (figura 33). Los valores de concentración de NFA en Salto durante la segunda temporada estuvieron por debajo del mínimo recomendado para asegurar una correcta fermentación.

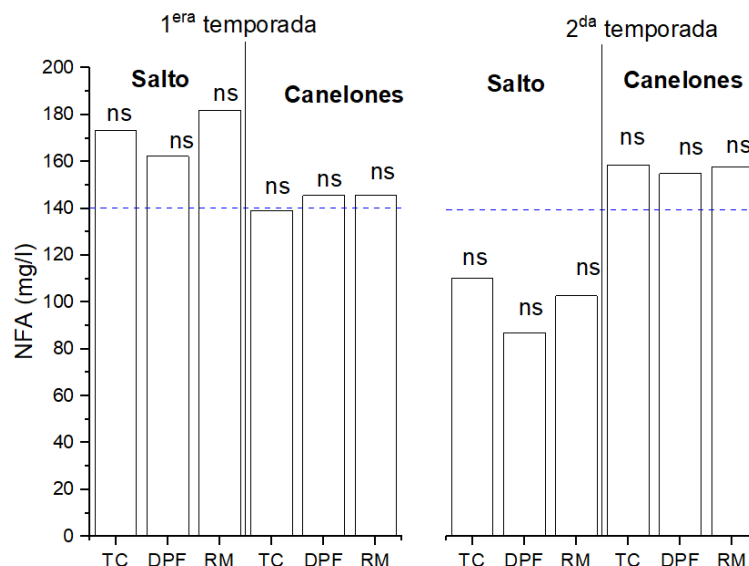


Figura 33. Concentración de nitrógeno fácilmente asimilable según tratamiento, sitio y temporada. ns: no significativo Línea azul punteada indica mínimo para asegurar una correcta fermentación según Belly *et al.* (1990)

3.3.5. Metabolitos secundarios

La figura 34 muestra la concentración de antocianos potenciales, potencialmente extraíbles, el índice de extractabilidad y la riqueza fenólica según sitio y temporada. Durante la primera temporada no se registraron diferencias entre sitios en el potencial de antocianos, aunque si existieron en el potencial de antocianos extraíbles (p-valor 0,003) y en la riqueza fenólica (p-valor 0,0003), siendo en Salto donde se registraron los mayores valores. La interacción sitio por temporada fue significativa sobre (p-valor 0,002). La interacción sitio-temporada fue significativa sobre la extractabilidad, durante la primera temporada Salto presentó mayor extractabilidad de antocianos, mientras que en la segunda temporada lo hizo Canelones.

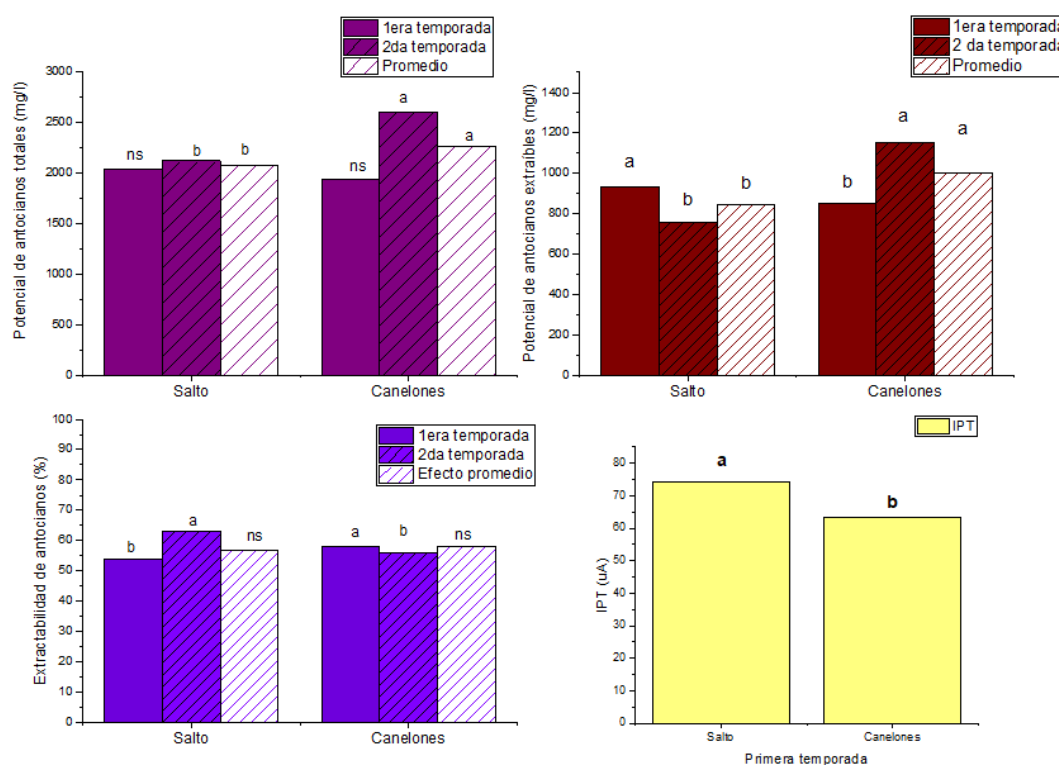


Figura 34. Antocianos potenciales (violeta), potencial extraíble (rojo) y extractabilidad (azul) según sitio en cada temporada y su efecto promedio. Incide de polifenoles totales (IPT).

Letras diferentes indican diferencias estadísticas según LSD Fisher (α 0,05).

Los tratamientos mostraron un efecto diferencial sobre los antocianos potenciales y potencialmente extraíbles según el sitio y la temporada (figura 35). En la primera temporada, el DPF registró los menores valores en Canelones, el RM presentó los mayores valores y el TC presentó valores intermedios. En Salto se observó una tendencia similar, pero sin diferencias significativas. Únicamente se detectaron diferencias en el índice de polifenoles totales, siendo mayor en el RM. En la segunda temporada, los tratamientos presentaron un efecto positivo sobre el potencial de antocianos potenciales en ambos sitios. En Salto, el incremento de la concentración de antocianos potenciales estuvo linealmente relacionado con el rendimiento por planta (R^2 : 0,76, p-valor: 0,002). El potencial de antocianos extraíbles fue mayor en el tratamiento RM. El índice EA % presentó diferencias entre tratamientos, siendo mayor en los tratamientos DPF y RM. En Canelones, tanto el DPF como el RM incrementaron sustancialmente el potencial antociánico de la uva, el potencial de antocianos extraíbles fue incrementado por el DPF respecto al TC.

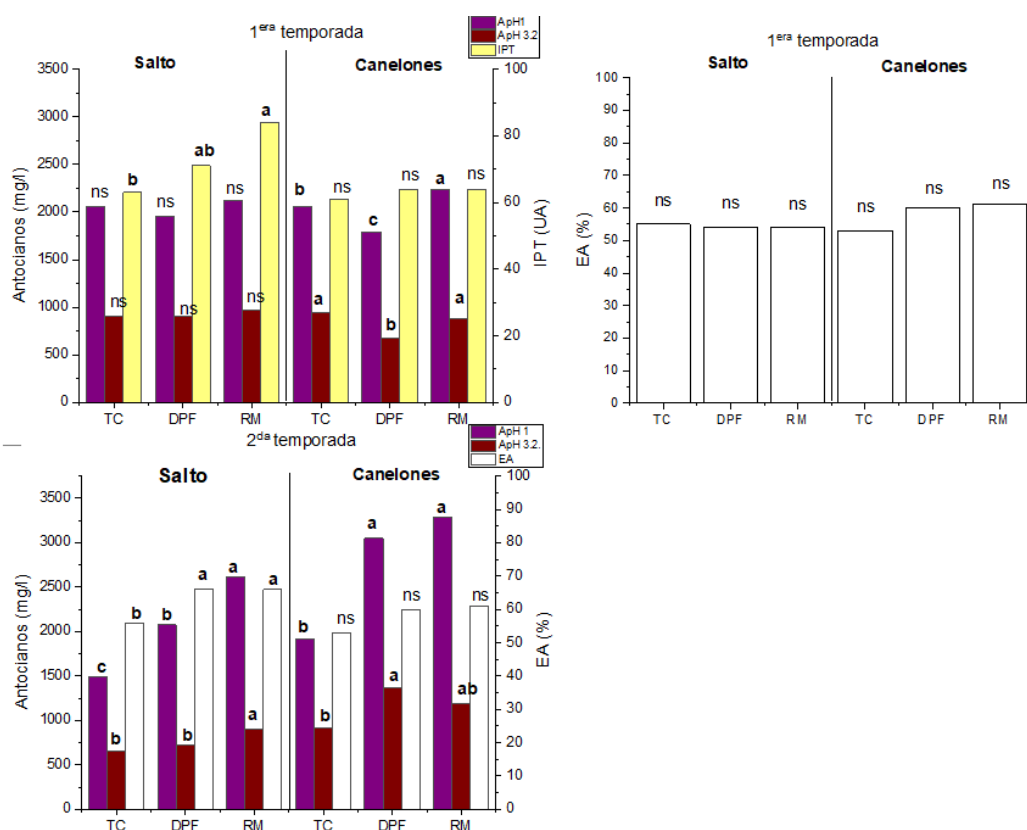


Figura 35. Efecto de los tratamientos sobre el potencial antociánico, potencial de antocianos extraíbles, índice de polifenoles totales (IPT) y extractabilidad según sitio y tratamiento. Letras diferentes indican significancia estadística de acuerdo al test de HSDTukey (α 0,05).

3.3.6 Componentes estructurales de la baya

En la primera temporada no se registraron diferencias entre sitios en las variables analizadas. Considerando el promedio entre ambas temporadas, las bayas de Salto se caracterizaron por presentar mayor porcentaje de hollejo, menor porcentaje de pulpa, y mayor relación hollejo/pulpa. La interacción sitio-temporada no fue significativa para ninguna de las variables analizadas (cuadro 15).

Cuadro 15. Componentes estructurales de la baya según temporada y efecto promedio. H/P: relación hollejo-pulpa.

Temporada	Sitio	% Hollejo	% Pulpa	% Semilla	H/P
1 ^{era}	Salto	22,2	72,4	5,3	0,31
	Canelones	18,6	76,8	4,6	0,24
2 ^{da}	Salto	17,3	77,8	4,9	0,22 a
	Canelones	14,0	82,6	4,7	0,18 b
Promedio	Salto	19,7 a	79,2 a	5,1	0,27 a
	Canelones	16,3 b	75,1 b	4,7	0,21 b
Temporada (<i>p-valor</i>)		<0,0001	<0,0001	0,1677	<0,0001
Temporada x sitio (<i>p-valor</i>)		0,3998	0,7428	0,2500	0,1812

Letras diferentes indican significancia estadística de acuerdo al test de LSD Fisher ($\alpha 0,05$).

Los tratamientos no presentaron un efecto significativo sobre la proporción relativa de componentes de la baya (cuadro 16). El efecto año fue significativo en Salto, la primera temporada presentó mayor proporción relativa de hollejos, menor proporción de pulpa y consecuentemente mayor relación hollejo/pulpa.

Cuadro 16. Componentes de la baya según tratamiento, sitio y temporada.

H/P: relación hollejo/pulpa						
Sitio	Temporada	Tratamiento	% Hollejo	% Pulpa	% Semillas	H/P
Salto	1 ^{era}	TC	23,0	70,2	5,4	0,34
		DPF	20,0	74,7	5,1	0,28
		RM	24,1	72,1	3,9	0,33
	2 ^{da}	TC	15,3	76	4,7	0,19
		DPF	18,8	80	4,9	0,25
		RM	11,9	77	5,1	0,23
Temporada (<i>p-valor</i>)			0,0002	0,0004	0,8232	0,0002
Temporada x tratamiento (<i>p-valor</i>)			0,0833	0,1433	0,013	0,1066
Canelones	1 ^{era}	TC	20,4	74,9	4,7	0,27
		DPF	19,5	75,6	4,9	0,26
		RM	15,8	79,9	4,2	0,20
	2 ^{da}	TC	13,7	84,3	4,8	0,17
		DPF	16,4	78,5	5,1	0,24
		RM	12,2	72,0	4,2	0,15
Temporada (<i>p-valor</i>)			0,0723	0,0860	0,8636	0,0698
Temporada x tratamiento (<i>p-valor</i>)			0,7922	0,6780	0,9706	0,7344

Letras diferentes indican significancia estadística de acuerdo al test de HSD Tukey ($\alpha 0,05$).

3.4. RELACIÓN ENTRE COMPOSICIÓN Y CLIMA

El cuadro 17 muestra los valores de los coeficientes de correlación lineal de Pearson para las variables vinculadas a la composición de la uva y algunas variables climáticas. La concentración de sólidos solubles mostró una correlación negativa con el índice de sequía (IS) y con las precipitaciones ocurridas en el período de enero a cosecha, mostró a su vez una correlación positiva con la amplitud térmica. La acidez total se correlacionó negativamente con el número de días mayor a 30 ° C durante el período de maduración. El pH mostró una correlación significativa con la acumulación térmica durante el ciclo de cultivo. El potencial de antocianos totales y extraíbles mostró una correlación negativa con el volumen de precipitaciones ocurridos durante la fase de maduración. El NFA se correlacionó negativamente con el volumen de precipitaciones ocurridos en la fase de enero a cosecha y positivamente con la amplitud térmica.

Cuadro 17. Coeficientes de correlación lineal de Pearson entre variables asociadas a la composición de la uva e indicadores climáticos. PP EaC: volumen de precipitaciones durante el período de maduración, GD10: grados días acumulados en el ciclo de cultivo, IS (mm): índice de sequía, No. días T > 30 ° C: número de días con temperaturas mayor a 30 ° C en maduración. AT: acidez tota, ApH 1: potencial de antocianos totales, ApH 3.2: potencial de antocianos extraíbles, NFA: nitrógeno fácilmente asimilable.

	IS (mm)		GD10 (Ciclo)		PP EaC (mm)		No. días T > 30 ° C		Amplitud térmica (Maduración)	
	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P
Brix (%)	-0,85	0,0005	-0,07	0,84	-0,74	0,01	60	0,04	0,86	0,00031
AT	-0,06	0,86	-0,40	0,20	-0,22	0,48	-0,58	0,05	0,0004	0,99
pH	0,40	0,20	0,95	0,00001	0,52	0,08	0,62	0,03	- 0,18	0,57
A pH1	-0,53	0,08	-0,30	0,34	-0,61	0,03	-0,13	0,68	0,51	0,09
A pH 3.2	-0,57	0,02	-0,10	0,75	-0,62	0,03	0,35	0,26	0,58	0,01
NFA	-0,55	0,07	0,19	0,56	-0,58	0,05	0,29	0,36	0,66	0,02

3.5. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

La figura 36 muestra el análisis de componentes principales considerando el efecto año (panel izquierdo) y con las variables estandarizadas por el efecto año en cada sitio (panel derecho).

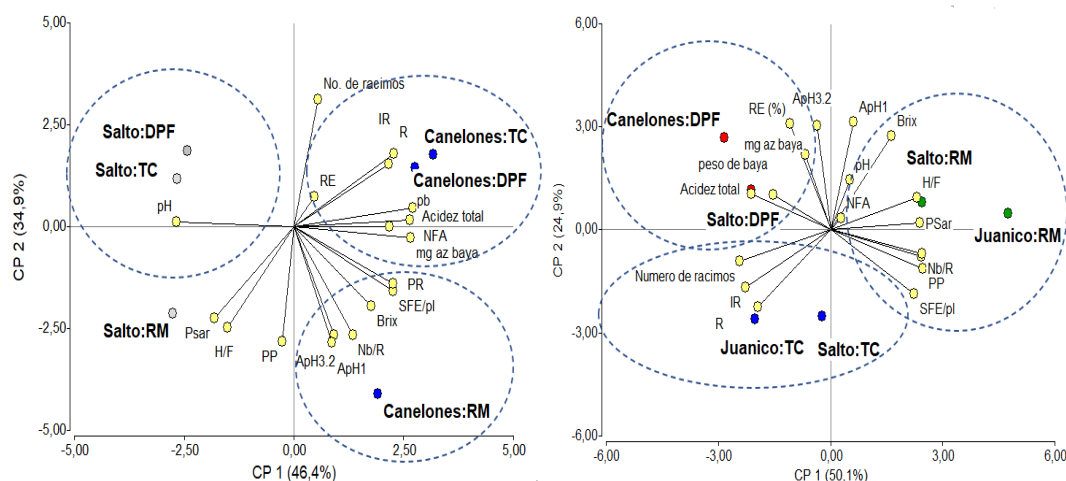


Figura 36. Análisis de componentes principales. Ambas temporadas. Panel izquierdo variables originales. Panel derecho: variables estandarizadas por efecto año. Variables: Superficie foliar expuesta (SFEp), peso de poda, Peso del sarmiento, Rendimiento (R), Número de bayas por racimo, azúcares por baya (mg az baya), Peso del racimo, Número de racimos, Acidez, pH, % de racimos expuestos, Antocianos totales (ApH1), Antocianos extraíbles (ApH3.2), Hoja-fruta (H/F), Índice de Ravaz (IR).

En el primer caso, los dos primeros componentes explican el 80 % de la variabilidad del conjunto de datos. El componente principal (CP) I explica el 46,4 % de esta variabilidad. El pH y el contenido de sólidos solubles por baya fueron las variables de mayor contribución relativa sobre este componente. Por otra parte, el CP II explica el 34,6 % de la variabilidad del conjunto de datos, siendo el número de racimos la variable de mayor contribución relativa. Los tratamientos se agruparon en función del sitio. El RM en Canelones se asoció a los mayores valores de °Brix, potencial de antocianos totales y potencial de antocianos extraíbles. El TC y el DPF se asociaron a variables como el rendimiento, el IR, la acidez total y el peso de baya.

Cuando se estandarizan los datos por el efecto año, las prácticas de manejo se agrupan juntas, independientemente del sitio. Los dos primeros componentes explican el 75 % de la variabilidad en el conjunto de datos. El CP I explica el 50,1 % de esta variabilidad. El IR y la SFEp son las variables de mayor contribución relativa. El CP II explica el 24,9 % de la variabilidad, siendo el potencial antociánico y la SFEp las variables de mayor contribución. El RM se asoció a los mayores valores de las variables vinculadas al vigor, como el peso del sarmiento, la SFEp, el peso de poda, el peso del racimo y la relación hoja fruta. Los tratamientos TC de ambos sitios se asociaron a los mayores valores de rendimiento y índice de Ravaz, en tanto que ambos DPF se asociaron a los mayores valores de peso de baya, la acidez total y al porcentaje de racimos expuestos.

3.6. ANÁLISIS DE LAS INTERACCION SITIO-TRATAMIENTO Y LA CONTRIBUCIÓN RELATIVA DE CADA FACTOR SOBRE LAS VARIABES AGRONÓMICAS

3.6.1. Crecimiento vegetativo y estructura de la canopia

La figura 37 muestra los promedios de cada tratamiento para ambas temporadas en cada sitio respectivo. El efecto tratamiento fue significativo sobre la SFEP no identificándose interacción tratamiento por temporada en ningún sitio (Salto, p-valor: 0,2413; Canelones, p-valor: 0,5870). A su vez, la interacción sitio-tratamiento no fue significativa sobre esta variable. El número de capas de hoja presentó interacción significativa entre tratamiento y temporada únicamente en Canelones (p-valor 0,0267).

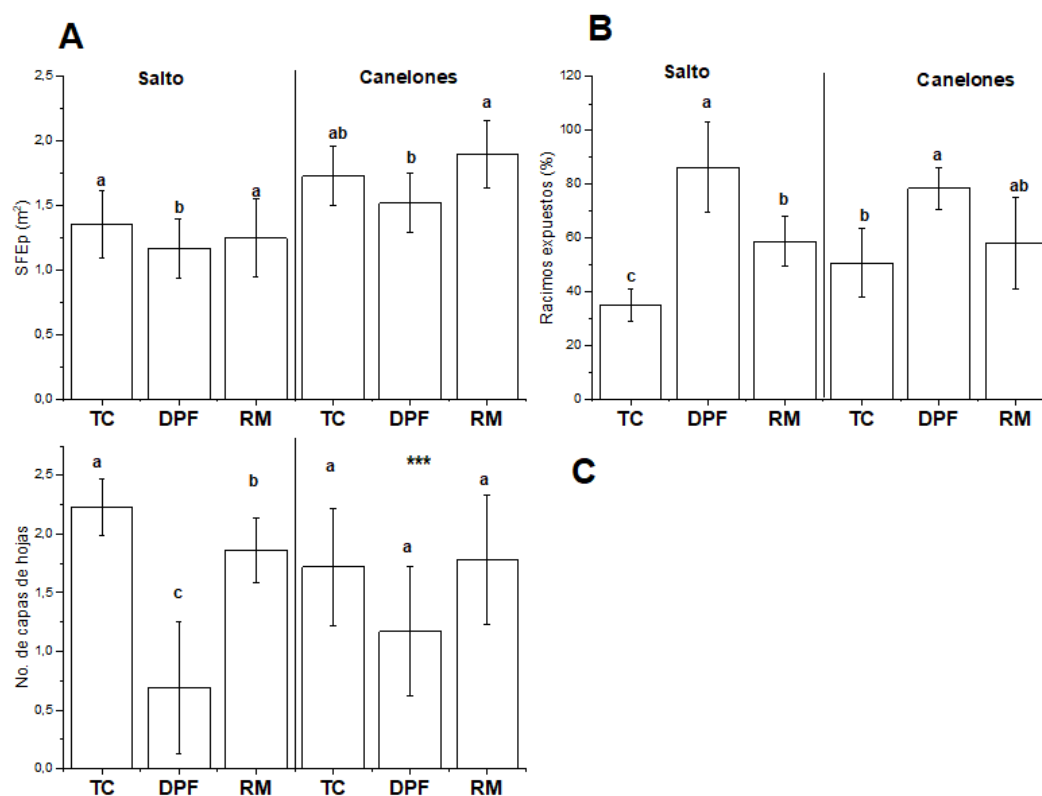


Figura 37. Efecto promedio de los tratamientos según sitio. Media ± D.E. Letras diferentes indican significancia estadística según Tukey (α 0,05). (***) Indica interacción tratamiento-temporada significativa (α 0,05).

La interacción sitio tratamiento fue significativa sobre el número de capas de hojas (p-valor 0,0020) y el porcentaje de racimos expuestos (p-valor 0,0426). La figura 38 muestra los contrastes entre tratamientos en su respectivo sitio. El tratamiento TC de Salto presentó mayor número de capas de hojas respecto al TC de Canelones (p-valor: 0,001), consecuentemente menor porcentaje de racimos expuestos (p-valor: 0,0248). El DPF en Canelones presentó mayor número de capas de hojas que el DPF ejecutado en Salto. La respuesta del RM no registró interacción significativa con el sitio para ninguna de estas dos variables (figura 38)

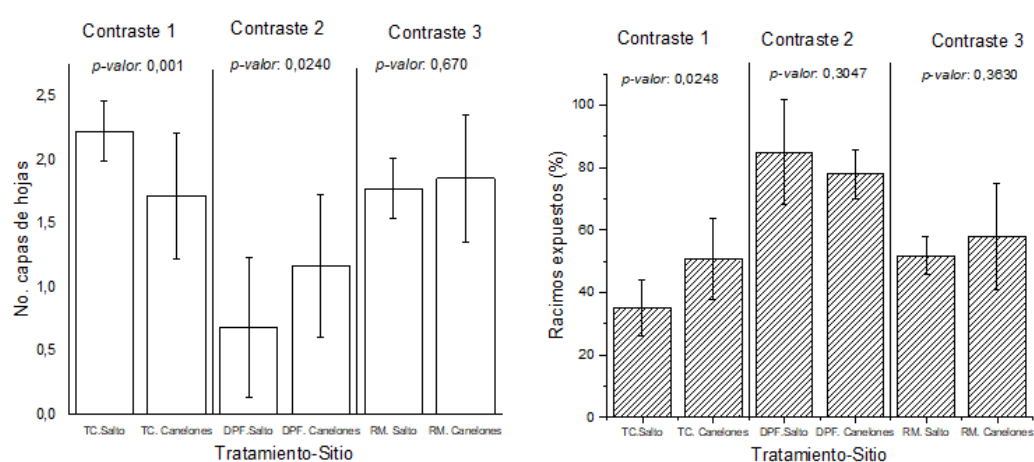


Figura 38. Análisis de la interacción sitio tratamiento. Derecha: Racimos expuestos. Izquierda: Número de capas de hoja. Medias $\pm$ D.E. *p*-valor indica probabilidad asociada a cada contraste.

El modelo factorial fue significativo para todas las variables evaluadas (figura 39). Para la SFEp el modelo explica el 86 % de la variabilidad siendo el efecto sitio el de mayor contribución relativa sobre la varianza explicada por el modelo. Las variables asociadas a la estructura de la canopia estuvieron mayormente explicadas por el efecto tratamiento.

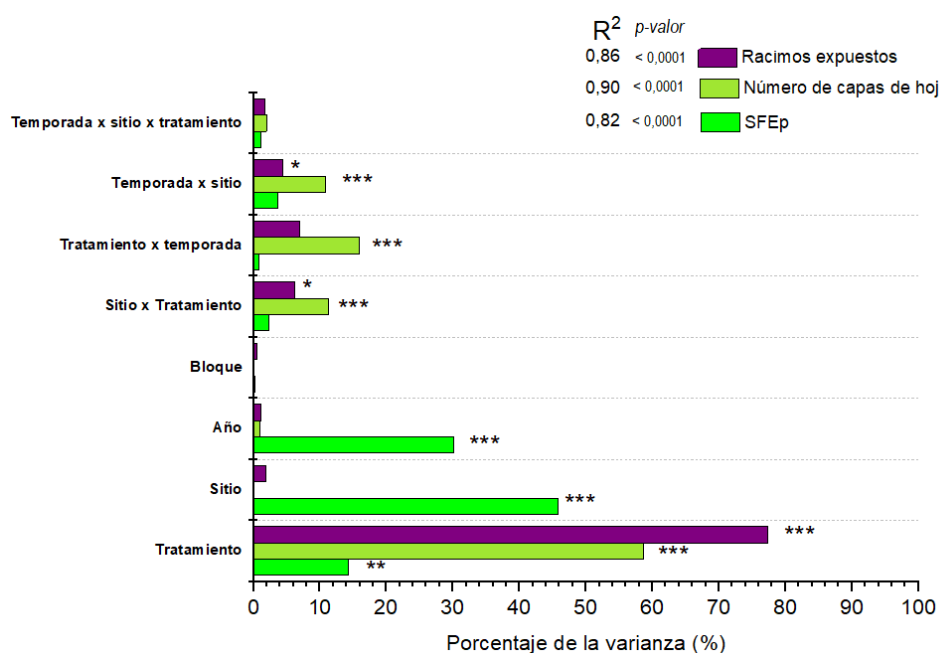


Figura 39. Crecimiento vegetativo y estructura de la canopia. Contribución relativa de cada factor sobre la varianza explicada por el modelo factorial. (*) indica nivel de significancia del factor p-valor: $\leq 0,1$; (**) p-valor: $\leq 0,05$; (***) p-valor: $\leq 0,01$.

3.6.2. Componentes del rendimiento

Los tratamientos presentaron un efecto similar sobre los componentes del rendimiento independientemente del sitio (figura 40). El RM presentó el menor rendimiento explicado por un menor número de racimos por planta. El DPF presentó menor peso del racimo a causa de un menor número de bayas. En Salto la interacción temporada-tratamiento fue significativa sobre el rendimiento y el número de racimos por planta. El peso de la baya no presentó diferencias entre tratamientos.

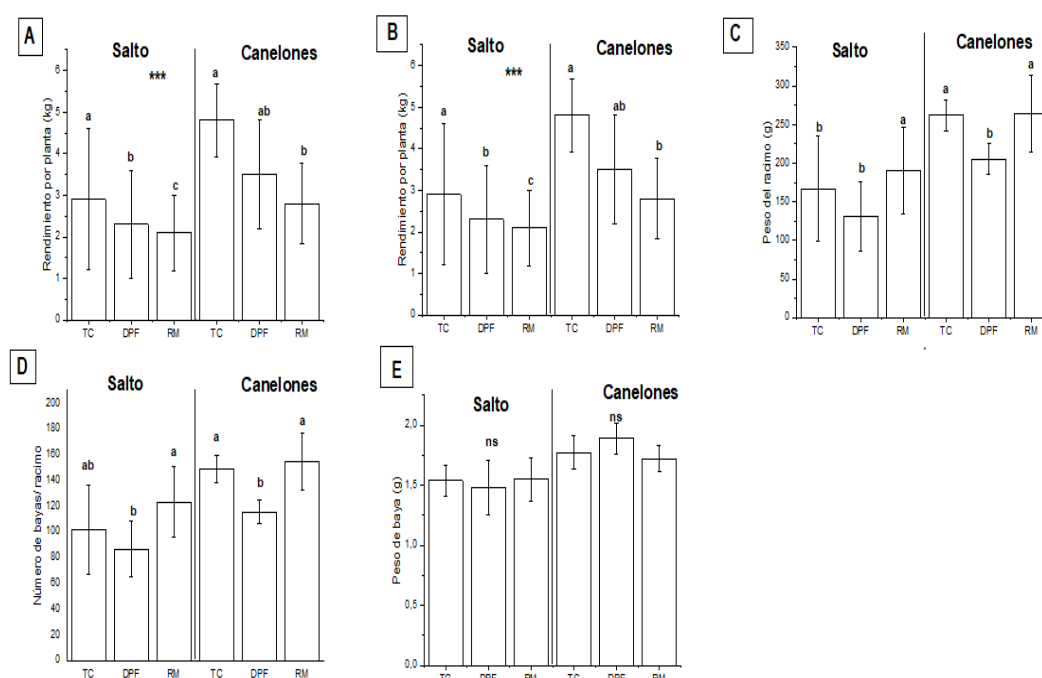


Figura 40. Efecto promedio de los tratamientos sobre el rendimiento y sus componentes según sitio. A: rendimiento por planta, B: número de racimos, C: peso del racimo, D: número de bayas por racimo, E: peso de la baya. Media $\pm$ D.E. Letras diferentes indican significancia estadística de acuerdo al test de HDS Tukey ($\alpha 0,05$). (***) Indica interacción significativa tratamiento-temporada ($\alpha 0,05$)

La interacción sitio tratamiento fue significativa sobre el peso de baya (p-valor 0,0021), todos los tratamientos de Canelones presentaron mayor peso de baya que los tratamientos aplicados en Salto (figura 41).

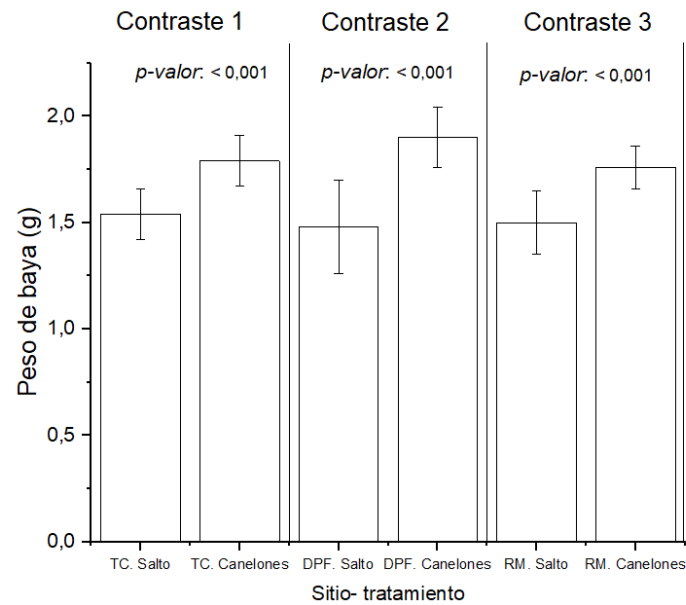


Figura 41. Interacción sitio-tratamiento sobre el peso de la baya. Medias $\pm$ D.E. *p-valor* indica probabilidad asociada a cada contraste.

El modelo factorial explica un 82 % de la varianza total de la variable rendimiento (figura 42). Al analizar la contribución relativa de cada factor sobre la varianza del modelo se puede concluir que la mayor fuente de variabilidad es explicada por la interacción sitio-año (56 %). El efecto tratamiento por si solo explica un 18 % de la variabilidad del modelo mientras que el efecto año explica un 17 %. Para la variable número de racimos el modelo explica el 90 % de la varianza, siendo el efecto tratamiento y el efecto sitio los factores de mayor contribución relativa. La varianza en el peso del racimo es explicada en gran medida por el efecto sitio (44 %), la interacción sitio por año (20 %) y en menor medida el efecto tratamiento (18 %). Por último, la variabilidad observada en el peso de la baya, es explicada en mayor medida por el efecto sitio (53 %) seguido por el efecto año (26,1 %).

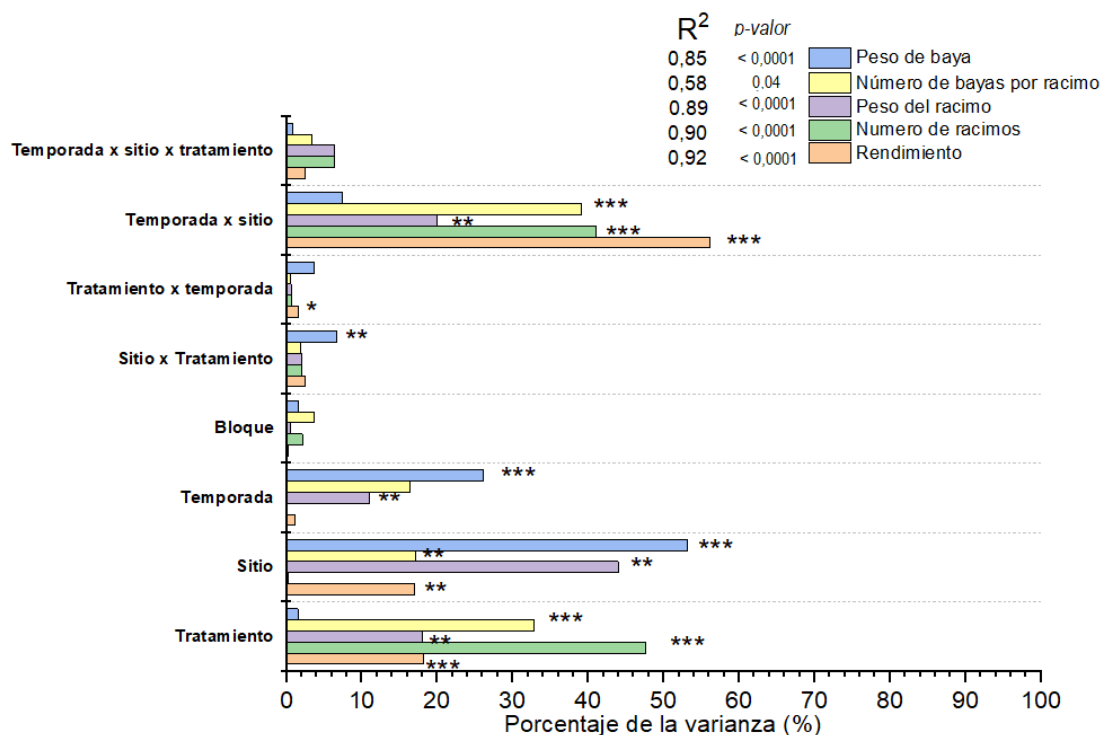


Figura 42. Contribución relativa de cada factor sobre la varianza explicada por el modelo. (*) indica nivel de significancia del factor p-valor: $\leq 0,1$; (**) p-valor: $\leq 0,05$; (***) p-valor: $\leq 0,01$. ns: no significativo.

3.6.3. Peso de poda e indicadores de equilibrio fisiológico

La figura 43 presenta el efecto promedio de los tratamientos en cada sitio. En Salto no se registraron diferencias en el peso de poda, el peso del sarmiento ni en los indicadores fisiológicos. La interacción tratamiento-temporada fue significativa en Salto sobre el índice de Ravaz (p-valor 0,0111). En Canelones, el RM presentó mayor peso de poda y del sarmiento respecto al DPF. El índice de Ravaz fue menor para el tratamiento RM respecto al TC, mientras que la relación SFEp/kg fue superior en RM, aunque la interacción tratamiento-temporada fue significativa sobre esta variable (p-valor 0,042).

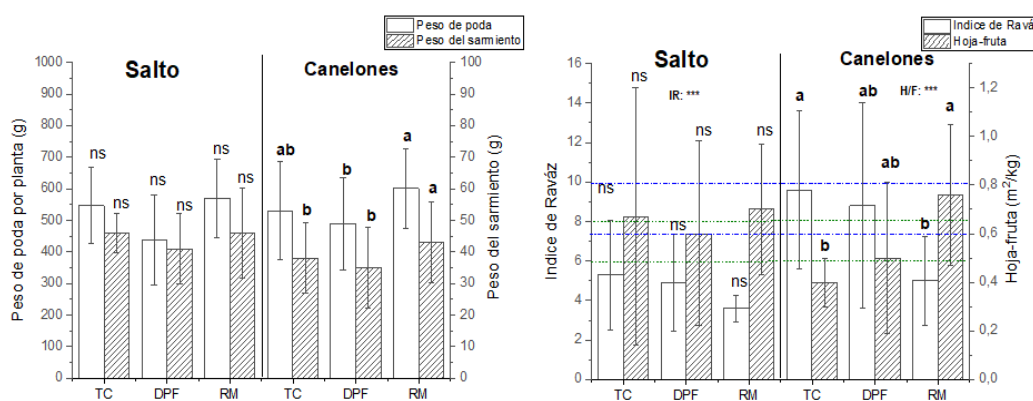


Figura 43. Efecto promedio de los tratamientos. Media $\pm$ D.E. Letras diferentes indican significancia estadística según Tukey (α 0,05). (***) Indica interacción temporada por tratamiento significativa (α 0,05). Línea verde punteada: rango de equilibrio para el índice de Ravaz según Ferrer *et al.* (1997). Línea punteada azul: rango de equilibrio para la relación hoja fruta según Echeverría *et al.* (2017a).

El análisis factorial muestra que el efecto tratamiento explica porcentajes inferiores al 10 % para cada variable analizada (figura 44). En el caso del peso de poda, el efecto temporada explica el 68 % de la varianza total. La variabilidad en el índice de Ravaz es en un 69 % explicada por el efecto sitio y la interacción sitio-año. La varianza en la relación hoja-fruta estuvo básicamente explicada por la interacción año-sitio. La interacción sitio-tratamiento fue significativa sobre el índice de Ravaz y la relación hoja fruta, sin embargo, ambas explican un bajo porcentaje de la variabilidad.

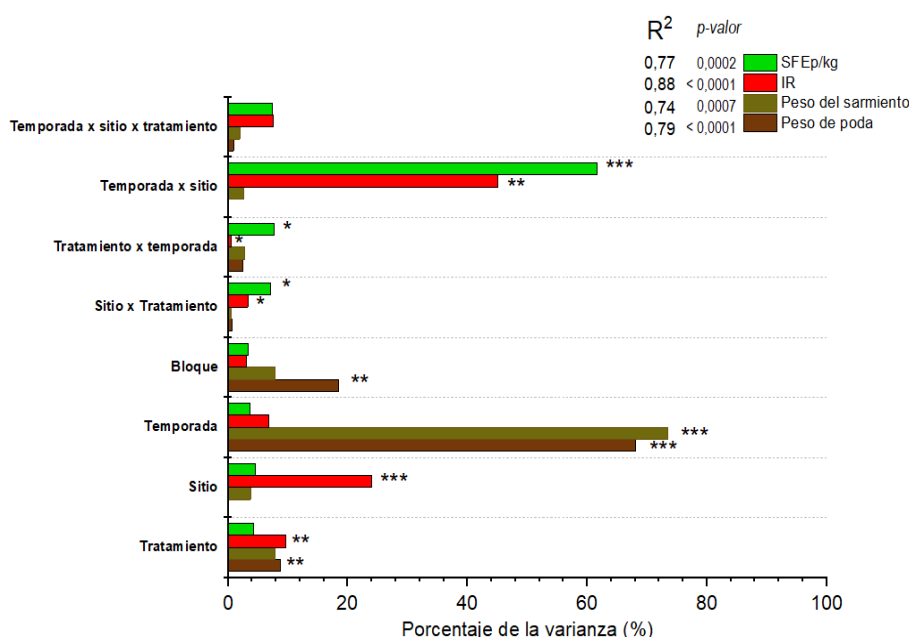


Figura 44. Contribución relativa de cada factor sobre la varianza explicada por el modelo

R: índice de Ravaz (*) indica nivel de significancia del factor p-valor: $\leq 0,1$; (**) p-valor: $\leq 0,05$; (***) p-valor: $\leq 0,01$. ns:no significativo.

3.6.4. Composición de la uva

3.6.4.1. Metabolitos primarios

La figura 45 muestra el efecto promedio de los tratamientos sobre los metabolitos primarios en cada sitio. En ambos sitios se registró interacción significativa entre el efecto tratamiento y temporada sobre la concentración de sólidos solubles (Salto, *p*-valor 0,001; Canelones, *p*-valor: 0,0433).

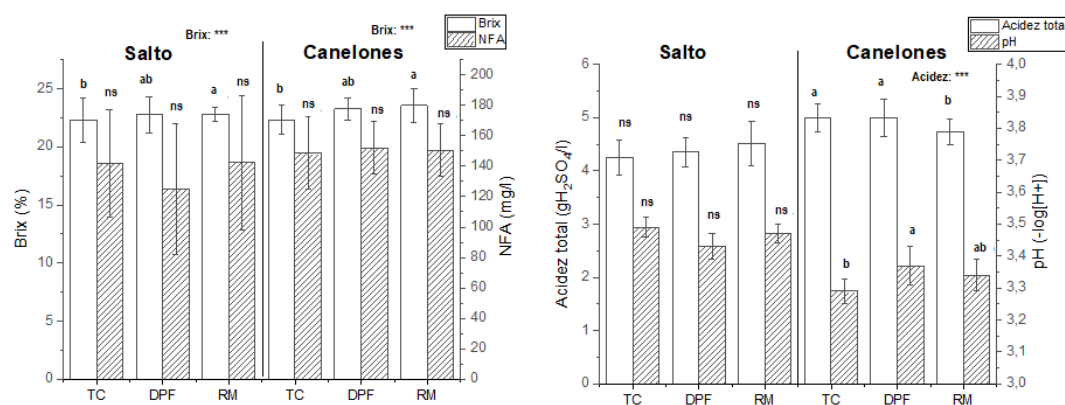


Figura 45. Efecto promedio de los tratamientos sobre los metabolitos primarios. ***: indica interacción significativa temporada por tratamiento (α 0,05). Letras diferentes indican significancia estadística mediante test de HSD Tukey (α 0,05). Ns: no significativo.

La interacción sitio-tratamiento fue significativa sobre la acidez (p -valor 0,0001), el pH (p -valor 0,0001). Todos los tratamientos de Salto presentaron mayor pH y menor acidez que los tratamientos aplicados en Canelones (figura 46).

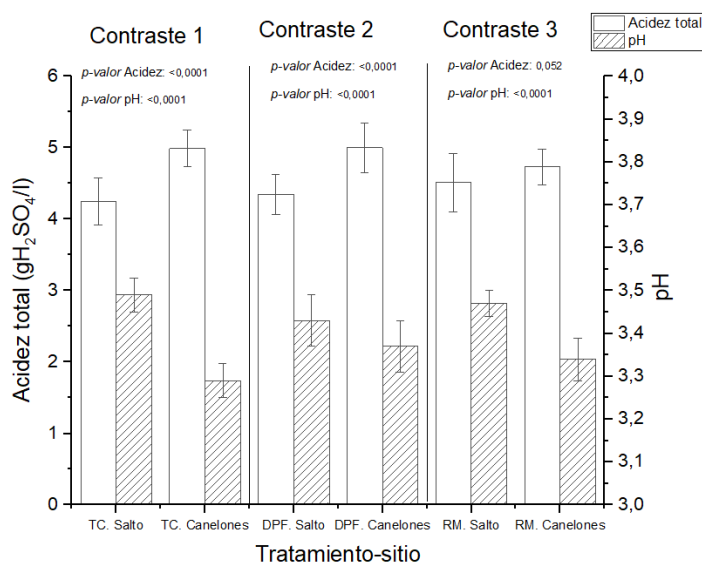


Figura 46. Análisis de la interacción sitio-tratamiento sobre la acidez y el pH (panel derecho) y el NFA (panel izquierdo). Medias $\pm$ D.E. p -valor indica probabilidad asociada a cada contraste.

La figura 47 muestra la contribución relativa de cada factor sobre la varianza explicada por el modelo factorial para cada variable asociada al metabolismo primario. El efecto temporada es el factor que explica el mayor porcentaje de la varianza observada sobre los SST (65,9%). La primera temporada presentó mostos con mayor grado alcohólico potencial, mayor acidez y mayor concentración de NFA. El efecto tratamiento no fue significativo sobre la acidez y el pH, siendo en ambos casos el factor sitio el que explica el mayor porcentaje de la varianza. El NFA no presentó diferencias significativas entre tratamientos, en este caso la interacción sitio-año explica el mayor porcentaje de la varianza observada, seguido por el efecto año o temporada. La interacción de segundo orden no fue significativa para ninguna variable.

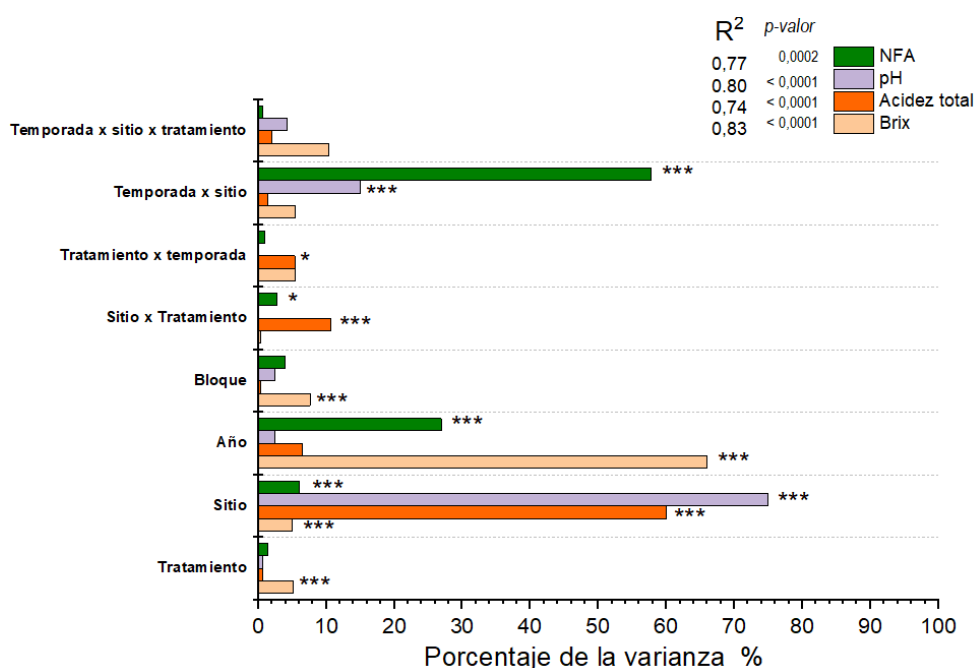


Figura 47. Contribución relativa de cada factor sobre la varianza explicada por el modelo. Metabolitos primarios (*) indica nivel de significancia del factor: p-valor: $\leq 0,1$; (**) p-valor: $\leq 0,05$; (***) p-valor: $\leq 0,01$.

3.6.4.2. Metabolitos secundarios: antocianos

La figura 48 muestra el efecto promedio de los tratamientos en ambos sitios sobre el potencial de antocianos totales, extraíbles y el índice de extractabilidad. La interacción temporada tratamiento fue significativa sobre el potencial de antocianos totales y extraíbles en Canelones y únicamente sobre el potencial de antocianos extraíbles en Salto. La interacción sitio tratamiento no fue significativa para ninguna variable.

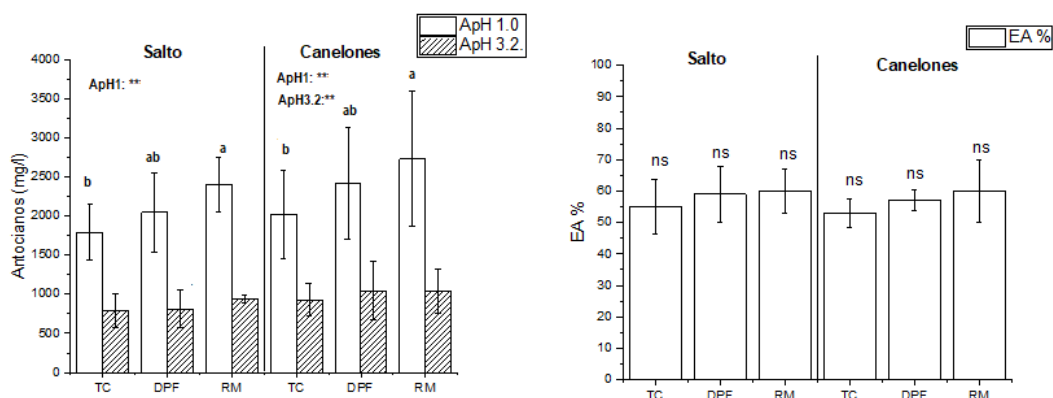


Figura 48. Efectos promedios de los tratamientos según sitio. ApH 1,0: potencial antociánico; ApH 3,2: potencial de antocianos extraíbles; EA (%): índice de extractabilidad. Letras diferentes indican significancia estadística de acuerdo al test de Tukey (0,05). (**) Indica interacción temporada -tratamiento.

El modelo factorial fue significativo para las variables analizadas (figura 49). El mismo explica el 59 % de la variabilidad del potencial de antocianos totales, el 78 % del potencial de antocianos extraíbles y un 44 % de la varianza observada en la extractabilidad. En el caso del potencial antociánico, el factor tratamiento explica el mayor porcentaje (29,7 %) de la varianza seguido por la interacción tratamiento-temporada (24 %) y el efecto año (16,5 %). El potencial de antocianos extraíbles fue explicado en mayor medida por la interacción sitio-año, al igual que la extractabilidad.

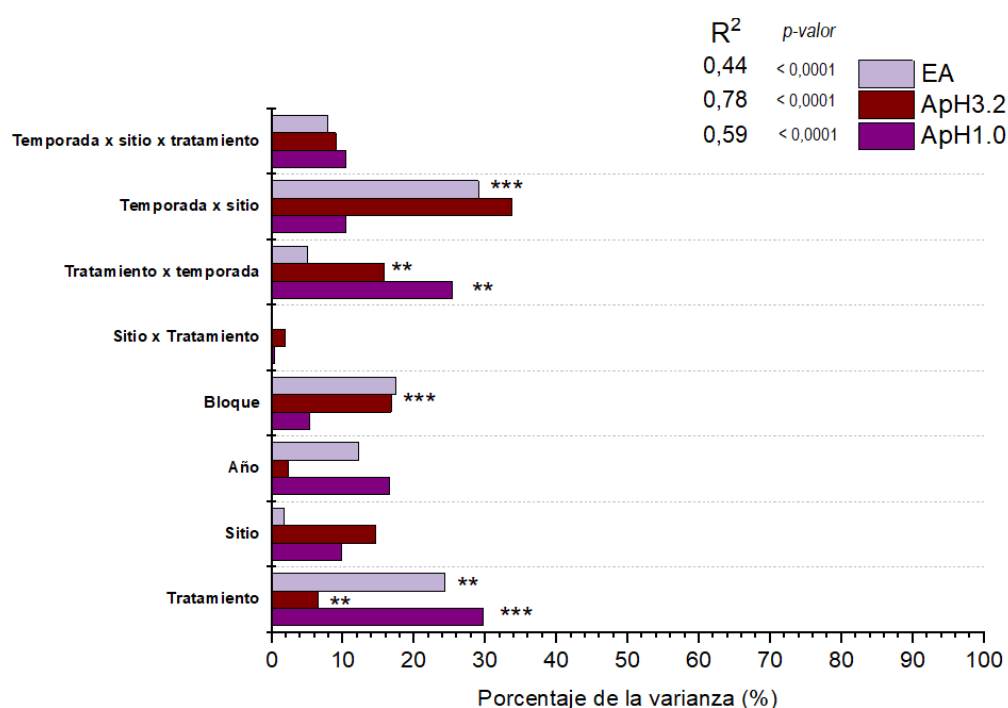


Figura 49. Contribución relativa de cada factor sobre la varianza explicada por el modelo. ApH1: Potencial de antocianos totales, ApH 3.2: Potencial de antocianos extraíbles, EA (%):extractabilidad de antocianos. (*) indica nivel de significancia del factor p-valor: $\leq 0,1$; (**) p-valor: $\leq 0,05$; (***) p-valor: $\leq 0,01$. ns:no significativo.

3.7. CONDICIÓN SANITARIA DE LA VENDIMIA

3.7.1. Hongos presentes en restos vegetales

La totalidad de los hongos identificados en ambos sitios pertenecen al Phylum Ascomycota (cuadro 18). Se destaca la presencia de especies del género *Alternaria* en todos los restos vegetales de ambos sitios. En Salto se detectaron picnidios y se visualizaron conidios de *Phomopsis* sp., presuntamente *Phomopsis viticola* agente causal de la excoriosis (ver anexo 7.4).

Los restos de uvas, en su mayoría grapillones que quedaron adheridos a la estructura de conducción en la vendimia 2018, presentaron una micobiota más diversa. En Salto se identificaron hongos de los géneros *Aspergillus*, *Alternaria*, *Gonatobotryx* y *Fusarium*, mientras que en Canelones se identificaron los géneros *Alternaria*, *Gonatobotryx* y *Botrytis* (ver anexo 7.4)

Cuadro 18. Géneros de hongos identificados en restos vegetales según sitio y órgano

Sitio	Resto vegetal	Géneros identificados
Salto	Hojas	<i>Gonatobotryx</i> , <i>Alternaria</i>
	Sarmientos	<i>Phomopsis</i> , <i>Alternaria</i> , <i>Phytomices</i>
	Restos de uva	<i>Aspergillus</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Gonatobotryx</i> , <i>Alternaria</i>
Canelones	Hojas	<i>Alternaria</i>
	Sarmientos	<i>Alternaria</i>
	Restos de uva	<i>Alternaria</i> , <i>Gonatobotryx</i> , <i>Botrytis</i>

3.7.2. Géneros de hongos identificados en flores

3.7.2.1. Según sitio

La figura 50 muestra la abundancia relativa de los distintos géneros de hongos identificados en muestras de flores de cada sitio respectivo. La mayoría de los hongos identificados pertenecieron al Phylum Ascomycota. Se puede observar mayor diversidad de géneros en las flores de Salto respecto a las de Canelones. Los géneros *Alternaria* y *Epicoccum* fueron los más abundantes, independientemente del sitio. Además de los anteriores, en Salto se identificaron especies pertenecientes a los géneros: *Aureobasidium*, *Pestalotiopsis*, *Nigrospora*, *Gonatobotryx*, y levaduras del género *Rodotorula*, estos géneros no fueron identificados en las flores de Canelones. En Canelones se identificó *Trichoderma* sp., el cual no fue encontrado en las flores de Salto

Respecto a los géneros de hongos vinculados al complejo de podredumbres de racimos, destaca la presencia de *B. cinerea* en ambos sitios, aunque en muy baja abundancia relativa. En Salto se constató además la presencia del género *Cladosporium*.

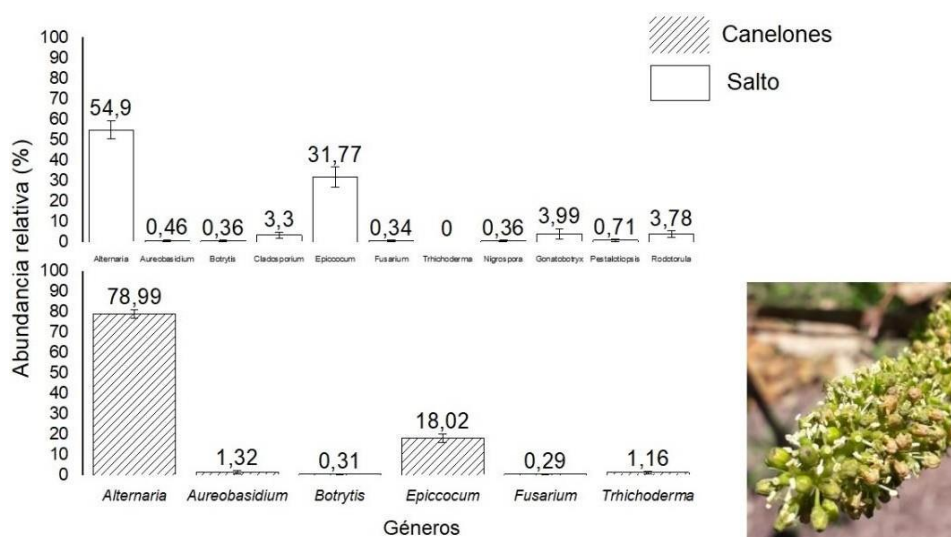


Figura 50. Abundancia relativa de hongos en flores de ambos sitios (n:40).

Medias $\pm$ E.E.

3.7.2.2. Según tratamiento

Los tratamientos TC y DPF no presentaron diferencias en lo que respecta a los géneros de hongos identificados (figura 51). El género *Alternaria* fue el más abundante seguido por *Epicoccum* independientemente del tratamiento. *B. cinerea* se registró en bajas proporciones en ambos tratamientos sin constatare diferencias significativas. Como se hizo mención en párrafos anteriores, solo se registró la presencia de hongos del género *Cladosporium* en Salto. El tratamiento DPF presentó mayor abundancia relativa del género *Epicoccum* en Salto.

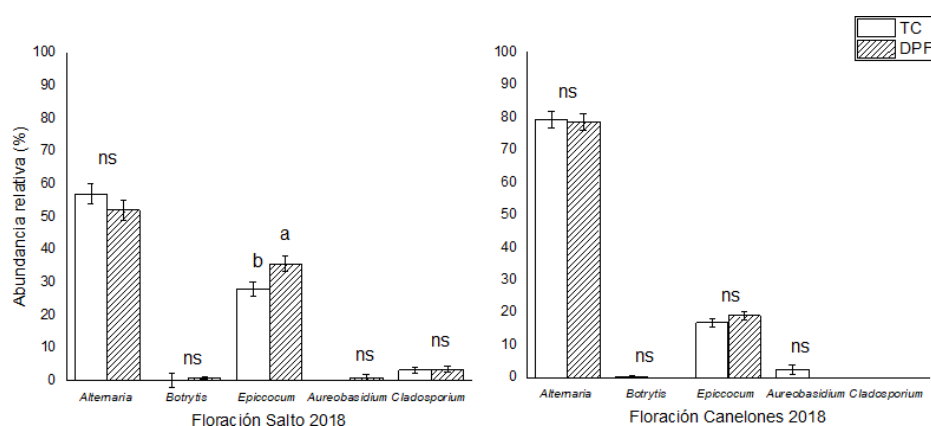


Figura 51. Micobiota asociada a las flores de vid según tratamiento en cada sitio. Medias $\pm$ E.E. Letras diferentes indican diferencias estadísticas mediante modelo lineal generalizado DGC (α 0,05).

3.7.3. Hongos identificados en uva

3.7.3.1. Según sitio

Los géneros identificados en uva asintomática fueron en su totalidad pertenecientes al Phylum Ascomycota (figura 52). En uvas sin desinfección superficial (S/D) se encontraron diferencias entre sitios. En Canelones, los aislamientos que presentaron mayor abundancia relativa pertenecieron al género *Penicillium*, en tanto que en Salto la mayor abundancia relativa en los aislamientos correspondió al género *Alternaria*. En Salto se destaca la presencia del género *Aspergillus*, no siendo registrado en las uvas de Canelones. *B. cinerea* presentó una baja abundancia relativa en ambos sitios, aunque en Canelones fue más abundante. Otros géneros como: *Fusarium*, *Epiccoccum*, *Trichoderma*, *Pestalotiopsis*, *Geotrichum*, completan la micobiota epífita identificada.

Formando parte de la micobiota endófito (C/D) se destacan las infecciones latentes de *Botrytis cinerea*, las cuales se dieron exclusivamente en las uvas de Canelones. Se registró además la presencia de los géneros *Fusarium*, *Penicillium*, *Epiccoccum* y *Alternaria*, siendo este último el más abundante. En Salto los géneros asociados a la micobiota endófito fueron *Alternaria*, *Penicillium* y *Fusarium* (figura 52).

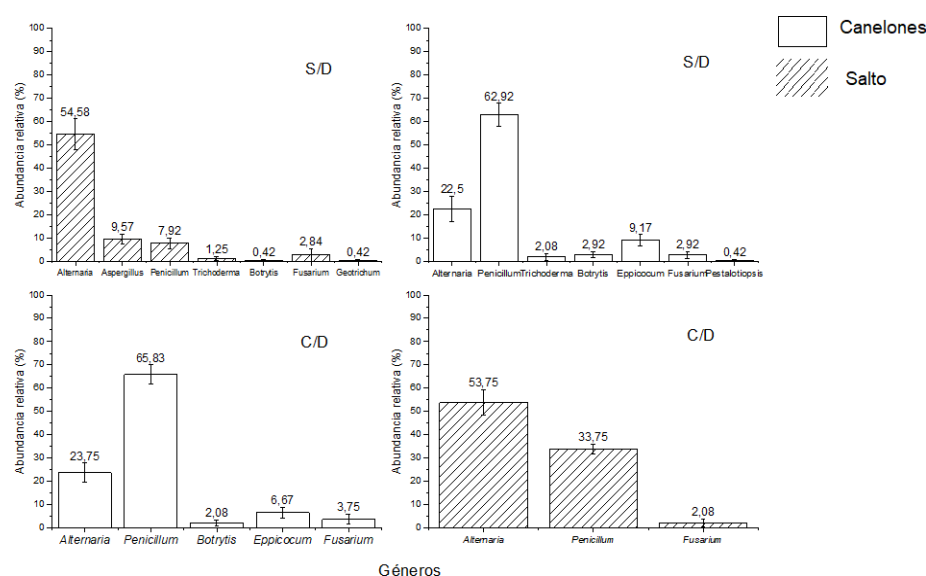


Figura 52. Géneros de hongos identificados en la uva según sitio y modalidad. S/D: sin desinfección superficial. C/D: con desinfección superficial. Medias $\pm$ E.E

3.7.3.2. Según tratamiento

Considerando la uva sin desinfección superficial, se observaron diferencias significativas entre tratamientos considerando algunos géneros de hongos. En Salto, el TC obtuvo mayor abundancia relativa del género *Aspergillus*, mientras que el DPF obtuvo mayor abundancia del género *Fusarium* (figura 53)

Considerando la modalidad con desinfección (C/D), en Canelones, el DPF presentó una mayor abundancia relativa del género *Alternaria*, así como también mayor abundancia del género *Fusarium* al igual que en Salto. No se detectaron diferencias en la abundancia relativa de *Botrytis cinerea*. Considerando la uva con desinfección superficial se detectó un comportamiento inverso siendo el TC el que presentó, en este caso, mayor abundancia del género *Alternaria*, el DPF presentó mayor abundancia de los géneros *Penicillium* y *Fusarium* (figura 53).

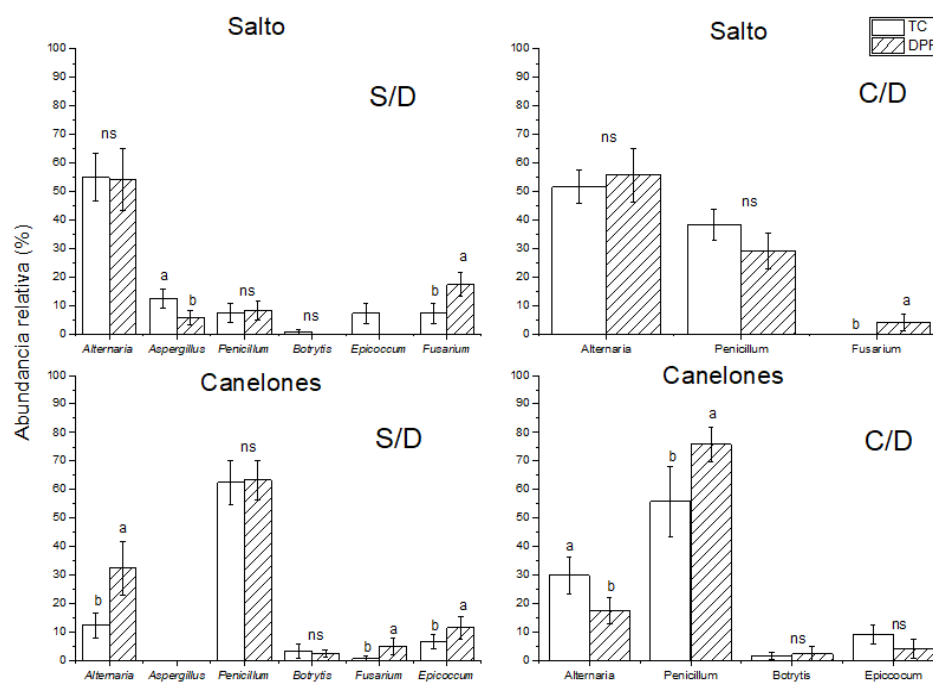


Figura 53. Abundancia relativa de hongos filamentosos en uva asintomática. S/D: uva asintomática sin desinfección superficial; C/D: uva asintomática con desinfección superficial. Medias $\pm$ E.E. Letras diferentes indican diferencia estadística mediante DGC (α 0,05).

3.7.4. Análisis de uva en cosecha.

Los análisis al momento de la cosecha no se pudieron realizar debido al alto nivel de contaminación por bacterias que presentaron las bayas. Se realizaron dos siembras utilizando un antibiótico (cloranfenicol) y ácido láctico para limitar el crecimiento de bacterias, pero no fue posible obtener crecimiento fúngico. Luego de retirar las cajas sembradas de la estufa de cultivo se observó la presencia de moscas del género *Drosophila* sp., insecto asociado a la etiología de la podredumbre ácida. Las cajas se colocaron en el freezer para provocar la quiescencia de los insectos y posteriormente se realizó una observación bajo lupa estereoscópica para descartar la presencia de la “mosca de alas veteas” *Drosophila suzuki*, la cual no fue identificada (ver anexo 7.4).

3.7.5. Incidencia y severidad de las podredumbres de racimos según sitio

La figura 54 presenta los valores de incidencia y severidad de las podredumbres de racimos según sitio. Los mayores registros de incidencia se dieron en Salto, promediando un 28 % de incidencia por planta, así como los mayores valores de severidad, siendo los mismos de 12,86 %. En Canelones la incidencia por planta fue de 3,26 % mientras que la severidad por racimo fue en promedio de 1,33 %.

En Salto se registró únicamente incidencia de podredumbre ácida, en tanto que en Canelones se registró incidencia de podredumbre ácida y podredumbre gris, ya que se encontraron racimos afectados por ambas enfermedades (ver anexo 7.4)

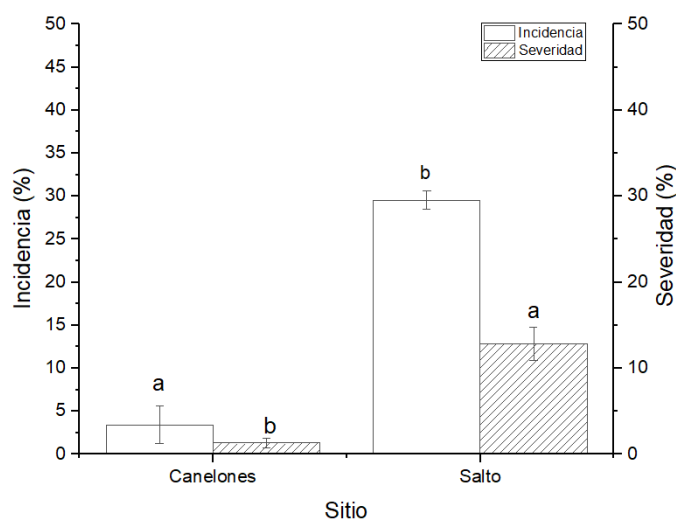


Figura 54. Incidencia y severidad de las podredumbres según sitio. Medias $\pm$ E.E.
Letras diferentes indican diferencia estadística mediante DGC test ($\alpha < 0,05$) para incidencia y Kruskal-Wallis ($\alpha < 0,05$) para severidad.

3.7.6. Efecto de los tratamientos sobre la incidencia y severidad de podredumbres

La incidencia y severidad de las podredumbres fue menor en el tratamiento DPF en ambos sitios (figura 55), difiriendo estadísticamente de los tratamientos TC y RM (p-valor 0,0001). El RM presentó los mayores registros de incidencia y severidad en ambos sitios.

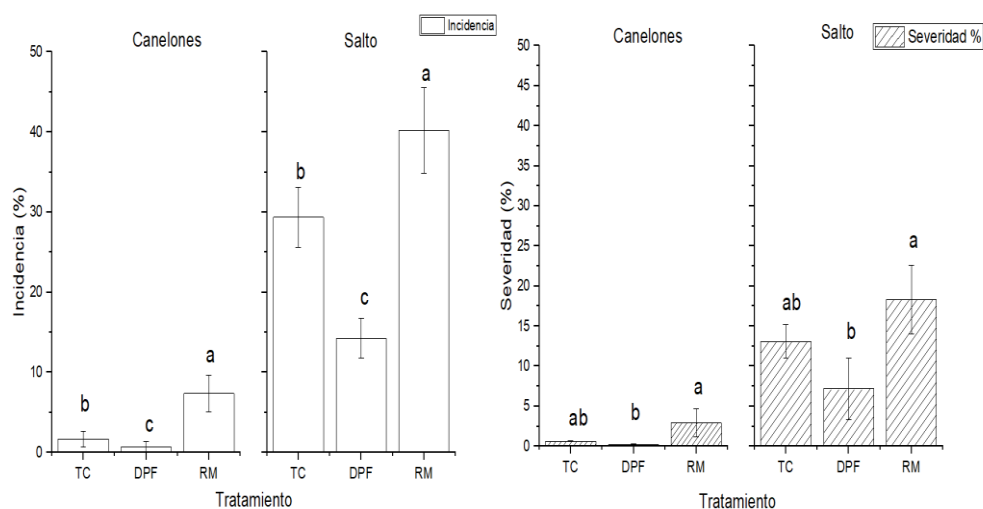


Figura 55. Incidencia y severidad de las podredumbres según tratamiento. Medias $\pm$ E.E. Para incidencia letras diferentes indican significancia estadística mediante DGC (α 0,05). Para severidad letras diferentes indican diferencia estadística mediante análisis de la varianza no paramétrico Kruskal-Wallis (α 0,05).

3.7.7. Metabolitos de origen microbiano según sitio

La concentración de metabolitos de origen microbiano en el mosto de uvas asintomáticas no presentó diferencias entre sitios (cuadro 19). El cuadro 20 muestra los coeficientes de correlación lineal entre la concentración de metabolitos de origen microbiano en el mosto, el porcentaje de *Botrytis* latente en envero, los registros de incidencia y severidad según sitio. En el caso de Salto, la concentración de ácido glucónico en el mosto mostró una correlación positiva con los registros de severidad. En Canelones, el porcentaje de infecciones latentes por *B. cinerea* se correlacionó con la concentración de ácido glucónico en el mosto y con la severidad de las podredumbres.

Cuadro 19. Metabolitos de origen microbiano en uva asintomática según sitio.

Sitio	Ácido Glucónico mg/l	Glicerol (mg/l)	Glicerol + Glucónico (mg/l)	Gli/Glu
Salto	9,97 ns	14,12 ns	24,13 ns	1,42 ns
Canelones	6,85 ns	9,93 ns	16,73 ns	2,42 ns

Cuadro 20. Correlaciones entre variables de la aptitud sanitaria evaluadas en campo y análisis de metabolitos sobre uva asintomática.

Sitio	Variables	r	p-valor
Salto	Ac. Glucónico (mg/l) x incidencia (%)	0,68	0,04
Salto	Glicerol/glucónico x severidad (%)	-0,73	0,03
Canelones	Ac. glucónico x severidad (%)	0,91	0,00016
Canelones	% <i>Botrytis</i> latente x severidad (%)	0,68	0,07
Canelones	% <i>Botrytis</i> latente x glucónico	0,66	0,05

IC: índice de compacidad del racimo. Gli+glu: glicerol más glucónico, Gli/glu: relación glicerol glucónico, NFA: nitrógeno fácilmente asimilable. Colores iguales señalan coeficiente de correlación y probabilidad asociada.

3.7.8. Metabolitos microbianos en uva asintomática según tratamiento

El cuadro 21 muestra la concentración de ácido glucónico, glicerol y la relación glicerol/glucónico según tratamiento en cada sitio. En Salto se detectaron diferencias significativas, el RM presentó mayores valores de ácido glucónico respecto al TC, mientras que la relación glicerol/glucónico fue más baja respecto al DPF. En Canelones no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos para ninguna de las variables.

Cuadro 21. Metabolitos de origen microbiano según tratamiento en cada sitio. Segunda temporada.

Sitio	Tratamiento	Ácido glucónico (mg/l)	Glicerol (mg/l)	Gli/Glu
Salto	TC	2,45 b	24,37	1,47 ab
	DPF	9,9 ab	16,06	2,45 a
	RM	16,06 a	10,79	0,80 b
Canelones	TC	5,66 ns	5,66 ns	1,15 ns
	DPF	6,19 ns	12,77 ns	1,53 ns
	RM	6,91 ns	11,36 ns	1,66 ns

Letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos mediante Tukey ($\alpha < 0,05$).

3.7.9. Características de los racimos según tratamiento y su relación con la incidencia de podredumbres

Las características de los racimos fueron modificadas por las prácticas de cultivo. En Salto, el DPF presentó racimos de menor compacidad en relación al TC y al RM Debido a presentar menor cantidad de bayas por racimo. Al igual que en Salto, en Canelones, el DPF presentó los menores valores de compacidad del racimo, difiriendo estadísticamente del RM. El índice de agregación número de bayas por largo de raquis no presentó diferencias significativas entre tratamientos (cuadro 22).

Cuadro 22. Características de los racimos según tratamiento y sitio. Segunda temporada

Sitio	Tratamiento	Compacidad del racimo	No de bayas por racimo*	No. bayas enfermas /racimo	Largo de raquis (cm)*	No. bayas/largo de raquis*
Salto	TC	3,86 a	293 a	16 b	16,5	8,93
	DPF	3,13 b	208 b	0,13 c	16,2	8,47
	RM	4,41 a	295 a	43 a	15,2	8,50
Canelones	TC	3,85 ab	220 a	20 a	18,4	14
	DPF	3,62 b	168 c	3 c	17,3	9,5
	RM	4,33 a	206 b	10 b	19,8	10,83

Compacidad del racimo: Letras diferentes indican diferencia estadística mediante Kruskal-Wallis ($\alpha < 0,05$). No. bayas enfermas/racimo: letras diferentes indican significancia estadística mediante DGC ($\alpha < 0,05$). Para las demás variables letras diferentes indican significancia estadística mediante Tukey ($\alpha < 0,05$). (*) Indica evaluación realizada en racimos cosechados en pámpanos.

El cuadro 23 muestra las variables asociadas a la fisonomía del racimo, el número de bayas enfermas y sus correlaciones parciales. El número de bayas enfermas estuvo positivamente correlacionado con el índice de compacidad de los racimos, este último estuvo correlacionado con el número de bayas totales por racimo. La figura 56 presenta la relación entre el número de bayas por racimo y la incidencia de podredumbres. En en Salto la incidenciad de podredumbre ácida presentó una respuesta de tipo polinómica con respecto al número de bayas por racimo ($R^2:0,90$, p-valor: 0,0001), en este sitio el RM registró el mayor número de bayas por racimo y obtuvo los valores más altos de incidencia. En Canelones, dicha relación no fue significativa ($R^2: 0,31$, p-valor 0,5631).

Cuadro 23. Correlaciones parciales de Pearson entre las variables asociadas a la fisonomía del racimo y sanidad del racimo. IC: índice de compacidad de los racimos (1-5).

Variables	R	p-valor
No. bayas enfermas x Peso de baya	-0,44	0,0012
IC x No. bayas enfermas	0,41	0,0025
IC x No. bayas totales	0,37	0,03071

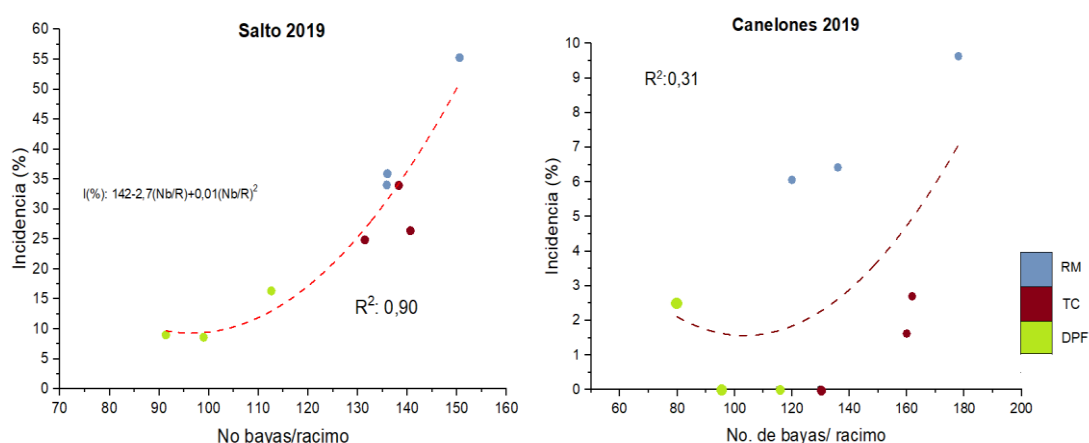


Figura 56. Relación entre la incidencia de podredumbres y el número de bayas por racimo. Izquierda: Salto. Derecha: Canelones. Número de bayas estimado a partir de dato de rendimiento. Cada punto representa la media del bloque.

4. DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS DE CADA REGIÓN Y EFECTO AÑO

Las características macroclimáticas de cada región marcaron diferencias en la respuesta de la planta. La diferencia en la componente térmica del ambiente se manifestó sobre la fenología del cultivo en acuerdo con lo reportado por Ferrer (2007). La brotación siempre fue más temprana en el viñedo de la región norte respecto al situado en la región sur, lo que resulta en cosecha más temprana, lo cual es respaldado por estudios precedentes (Echeverría 2010, Ferrer 2007). La vid es una especie con bajos requerimientos de frío. Para Tannat, en condiciones de inviernos cálidos, Lamela *et al.* (2020) determinaron un período de 100 horas por debajo de 7,2 ° C para superar la etapa de endodormancia. En la región norte las temperaturas durante el invierno son inferiores respecto a la región sur por un efecto de continentalidad, por lo que presumiblemente los requerimientos de frío pueden ser suplidos antes que en la región sur. Adicionalmente, un período extendido por encima de 5-10 ° C puede implicar un comienzo del ciclo vegetativo (Winkler *et al.*, 1974), dicho rango de temperatura puede ser alcanzado antes en el norte del país respecto al sur.

El efecto de la temperatura se vio claramente reflejado a nivel microclimático durante la maduración de la uva. Las mayores temperaturas registradas en la zona del racimo en Salto, se tradujeron, por ejemplo, en un mayor catabolismo del ácido málico, resultando en uvas con menor acidez total y mayor pH, en acuerdo con trabajos previos (Ferrer *et al.*, 2011a, Ferrer 2007). En la región sur la fecha de brotación ocurrió ambos años en el mes de setiembre, siendo la fecha de cosecha y la duración del período de maduración relativamente constante entre años, de acuerdo con otros trabajos realizados en Uruguay (Ferrer 2007, Fourment *et al.*, 2013).

Por otra parte, el efecto año condicionó los resultados experimentales. La variabilidad interanual registrada en las variables meteorológicas como las precipitaciones y la temperatura es consecuente con la ubicación del país en una zona de transición climática a nivel regional (Barreiro *et al.*, 2019). Las diferencias detectadas en el volumen como en la distribución de las precipitaciones durante el ciclo de cultivo se manifestaron a nivel de cultivo en términos de estado hídrico, crecimiento vegetativo, componentes del rendimiento,

composición físico-química de la baya y estatus sanitario en acuerdo con Ferrer *et al.* (2020a). La primera temporada (seca y cálida) se caracterizó por presentar condiciones más favorables para la concentración de azúcares en el grano, mientras que la segunda temporada (fresca y húmeda) afectó negativamente la concentración de azúcares en la uva y fue favorable para el desarrollo de podredumbres de racimos.

4.2. RESPUESTA DE LA PLANTA A EJECUCIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE MANEJO

4.2.1. Crecimiento vegetativo y microclima de la canopia

El efecto de las prácticas de manejo sobre el crecimiento vegetativo fue diferente según región y temporada. En Salto, las plantas sometidas a DPF no fueron capaces de recuperar por completo la SFEp, presentando diferencias con el TC en ambas temporadas. Varios estudios demuestran que la aplicación del DPF induce al quiebre de la paradormancia en las yemas prontas, favoreciendo de este modo la brotación de feminelas, este proceso representa el principal mecanismo de recuperación del área foliar luego de la intervención (Tardáguila *et al.*, 2010, Poni *et al.*, 2006, Hunter 2000). Las condiciones de menor vigor detectadas en Salto y las características térmicas de la región explicarían la menor capacidad de recuperación de la superficie foliar por parte de las plantas expuestas al DPF. De acuerdo con Lavee (2000), en regiones cálidas la vid presenta una tasa de crecimiento vegetativo acelerado durante la primavera, luego se presenta un cese importante debido a la disminución del agua disponible del suelo y las altas temperaturas. En relación a este último concepto, los rangos de temperatura óptima para el proceso fotosintético se encuentran entre 25 y 30 ° C (Kriedemann, 1968), las mayores temperaturas registradas (ej: No. días > 30° C) en la zona norte impactarían negativamente sobre la capacidad fotosintética, lo cual afectaría negativamente el crecimiento vegetativo (Greer 2013, Greer y Weston 2010). Adicionalmente, de acuerdo a lo comunicado por Archer y Strauss (1991), la menor distancia entre plantas en el viñedo de Salto pudo haber promovido una situación de mayor competencia entre cepas, afectando la expresión del vigor.

En Canelones la capacidad de recuperar la SFEp por parte del DPF estuvo condicionada por las características de la temporada y el equilibrio fisiológico de las plantas. Distintos estudios han manifestado que la capacidad de la planta de recuperar el crecimiento vegetativo luego de una deshojado severo depende de las condiciones ambientales y los niveles de reservas de las plantas (Vaillant-Gaveau *et al.*, 2014, Risco *et al.*, 2013, Gatti *et*

al., 2012). Durante la primera temporada se registraron precipitaciones por debajo a la media climática para el período primavera-estival (<15 %). A su vez, durante la fase comprendida desde floración a envero se concentró el 39 % del volumen de precipitaciones (~ 199 mm) ocurridas durante el ciclo vegetativo (517 mm). Las bajas precipitaciones durante esta fase y la alta demanda atmosférica registrada (456 mm), habrían afectado la brotación secundaria en acuerdo con lo reportado por Gómez del Campo *et al.*, (2002). Por otra parte, la primera temporada registró rendimientos por planta elevados provocando una situación de desbalance fisiológico ($IR > 10$). Frente a altos rendimientos, puede ocurrir un redireccionamiento del flujo de carbohidratos, por ejemplo, desde las reservas para suplir las necesidades de los racimos a expensas del crecimiento vegetativo (Candolfi-Vasconcelos *et al.*, 1994). Por el contrario, durante la segunda temporada el 68,5 % del volumen de precipitaciones (~ 518 mm) ocurrido durante el ciclo vegetativo (758 mm) se concentraron en el período de floración a envero, lo cual favoreció la capacidad de recuperación del área foliar, sumado a una situación de bajos rendimientos a causa de la incidencia de mildiu. El RM no presentó diferencias respecto al TC en ningún sitio ni temporada, siendo un resultado coincidente con la literatura (Salvarrey 2016, Tardáguila *et al.*, 2008, Ferrer y González- Neves, 2002).

El DPF se mostró como una práctica idónea para mejorar la estructura de la canopia permitiendo obtener un mayor porcentaje de racimos expuestos en la mayoría de las situaciones. Esto repercutió en ciertas diferencias a nivel microclimático durante la primera temporada en ambos sitios (aumento de temperatura y/o disminución de la humedad relativa). El TC en Salto presentó mayor temperatura de la canopia durante la segunda temporada, estos resultados pueden ser parcialmente explicados por el mayor número de capas de hojas asociado a este tratamiento. Esto implicaría un pobre flujo de aire haciendo que la temperatura permanezca alta (English *et al.*, 1989), resultados en esta dirección han sido comunicados por Ferrer *et al.* (2015). Durante la segunda temporada en Canelones no se observó un efecto significativo del DPF, lo que posiblemente se explique por la recuperación de la SFEp, lo que se tradujo en la ausencia de diferencias entre tratamientos en la temperatura y humedad relativa de la canopia. La capacidad diferencial de recuperación de la superficie foliar en un sitio y en otro determinaron que la interacción sitio-tratamiento fuese significativa sobre el número de capas de hojas y el porcentaje de racimos expuestos. En general, los resultados obtenidos respaldan la capacidad de esta práctica

para promover una mayor exposición de los racimos en acuerdo con otros trabajos (Diago *et al.*, 2012, Tardáguila *et al.*, 2010).

De los factores analizados en este trabajo, las condiciones del sitio explicaron el mayor porcentaje de la variabilidad registrada sobre la SFEp, seguida por el efecto año y por último el efecto tratamiento, el cual ocupó el tercer nivel jerárquico. El volumen y partición de las precipitaciones a lo largo del ciclo de cultivo explicaron las diferencias interanuales observadas en la SFEp en acuerdo con Ferrer *et al.* (2017), mientras que el efecto sitio podría ser explicado mayormente por la componente térmica del ambiente y características intrínsecas del viñedo como ser el marco de plantación. El efecto tratamiento explicó el mayor porcentaje de la variabilidad observada sobre las variables vinculadas a la estructura de la canopia, confirmando la eficacia de estas intervenciones para tal propósito (Smart y Robinson 1991, Kliewer y Smart 1989).

4.2.2. Componentes del rendimiento

Tanto el RM como el DPF se mostraron como herramientas idóneas para el control del rendimiento en ambos sitios. Ambas prácticas de cultivo están basadas en distintas premisas fisiológicas, por lo que actúan de modo diferente sobre los componentes del rendimiento. El RM es un método de ajuste directo de la producción y afecta el número de racimos por planta, mientras que el DPF es un método indirecto, que se basa en la afectación de procesos fisiológicos como el cuajado de los frutos (Coombe 1962, Poni *et al.*, 2006). Esto explica la menor variabilidad en la disminución del rendimiento respecto al TC ocasionada por el RM (< 40 - 42 %) en comparación con el DPF (< 11 - 39 %).

En Salto el RM presentó racimos más pesados y compactos, lo cual resultó en una mayor susceptibilidad a la incidencia de podredumbres durante la segunda temporada. Este efecto puede ser atribuible al hecho de que cuando se ejecuta esta práctica normalmente se dejan en la planta los racimos mejor formados (mayor peso y mayor número de bayas). Adicionalmente, se observó un incremento en el número de bayas por racimos en la segunda temporada. Resultados similares han sido reportados por Gatti *et al.* (2012), estos autores atribuyen este fenómeno al efecto del raleo del año previo. De acuerdo con Zufferey *et al.* (2015) la mejora en la relación hoja/fruta puede aumentar la acumulación de reservas en partes perennes, este hecho podría favorecer los procesos de iniciación y diferenciación floral al año próximo, lo que se podría manifestar en un incremento de la fertilidad de yemas o aumentando el número de flores por inflorescencias.

La fertilidad del brote no fue disminuida por el DPF, lo cual es un resultado positivo. Esto coincide con lo informado por Poni *et al.* (2006) pero no con Risco *et al.* (2013) y Sabbatini y Howell (2010). En nuestro estudio se observó un incremento de la fertilidad de yemas en la segunda temporada en Canelones. El deshojado en etapas tempranas permite una mayor intercepción de radiación en las yemas e incremento de la temperatura. Es conocido el rol de ambos factores sobre el proceso de inducción y diferenciación floral (Sánchez y Dokoozlian 2005, Buttrose 1974, Buttrose 1970). Resultados similares a los obtenidos en este trabajo han sido reportados por Collins *et al.* (2020). De todas maneras, es importante señalar que el efecto de la luz y la temperatura sobre la fertilidad de la yema es dependiente del cultivar, tal y como ha sido reportado por Sánchez y Dokoozlian (2005).

El efecto de las prácticas de cultivo sobre los componentes del rendimiento fue el mismo independientemente del sitio. Únicamente se registró interacción sitio-tratamiento sobre el peso de baya, siendo la interacción significativa para todos los contrastes. Estos resultados posiblemente se expliquen por un efecto dominante del macroclima sobre esta variable (relación jerárquica) más que por un efecto interactivo.

La incidencia de mildiu en un sitio y en otro en temporadas diferentes determinaron que la interacción sitio-temporada sea significativa para la mayoría de las variables, y contribuya a explicar gran parte de la variabilidad registrada sobre los componentes del rendimiento en este estudio. Los resultados obtenidos en este trabajo respecto a la influencia de los factores ambientales sobre los componentes del rendimiento, son respaldados por trabajos previos por Ferrer *et al.* (2020a) y van Leeuwen *et al.* (2004).

4.2.3. Balance fuente-fosa

El balance fuente-fosa fue modificado por las prácticas de manejo según cada situación de cultivo particular (sitio y año). En general, mediante el RM se favoreció un incremento de la relación hoja-fruta. En Canelones, durante la primera temporada las plantas presentaron una alta producción de uva y un escaso crecimiento vegetativo (0,33 m²/kg TC), bajo esta situación la ejecución del RM permitió aumentar dicha relación (0,60 m²/kg RM) y lograr valores del índice de Ravaz considerados de equilibrio para el cultivar Tannat (Ferrer *et al.*, 1997). Por el contrario, bajo condiciones de bajos rendimientos (ej: Canelones 2019) el RM desplazó el equilibrio hacia la expresión vegetativa lo cual se tradujo en mayor producción de madera y expresión del vigor, en acuerdo con Kaps y Cahoon (1989).

El DPF no modificó la relación hoja fruta o presentó una tendencia incremental en algunas situaciones. Resultados en esta dirección han sido reportados por Verdenal *et al.* (2018), Verdenal *et al.* (2018), Diago (2010), Tardáguila *et al.* (2010) y Poni *et al.* (2006). Si bien cuando se realiza un deshojado se está eliminando capacidad fuente, la afectación de la tasa de cuajado disminuye el rendimiento por planta, haciendo que este indicador permanezca invariable o aumente. Por tanto, el efecto de esta práctica sobre este indicador depende de la reducción del rendimiento ocasionada y de la capacidad de la planta para recuperar la superficie foliar, en acuerdo con Gatti *et al.* (2012).

Mediante el análisis factorial queda demostrado que las condiciones del año en cada sitio fueron determinantes sobre los indicadores de equilibrio fisiológico, siendo ambos factores (sitio y año) los que explicaron el mayor porcentaje de la varianza. El efecto de los tratamientos estuvo modulado por las características de la temporada en cada sitio particular. En situación de exceso de rendimiento el RM se presentó como una práctica idónea para promover el equilibrio de las plantas (ej: Canelones 2018), mientras que en situación de bajo rendimiento (causado por la incidencia de peronospora) ambas prácticas promovieron una mayor expresión del crecimiento vegetativo, desplazando valores del índice de Ravaz y la relación hoja-fruta fuera de los rangos de equilibrio (ej: Canelones 2019).

4.2.4. Composición de la uva

4.2.4.1. Metabolitos primarios

El efecto de los tratamientos sobre el metabolismo primario fue dependiente del sitio y la temporada. En Canelones, el RM logró un incremento en la concentración de azúcares y disminuyó la acidez total respecto al TC y al DPF en la primera temporada. Este hecho puede ser explicado por la corrección del balance fisiológico a partir de la quita de racimos. La condición de equilibrio generado por esta práctica expresada mediante la relación SFEp/rendimiento y el índice de Ravaz, habría promovido los procesos vinculados a la maduración de la uva en acuerdo con Pastore *et al.* (2011), Kliwer y Dokoozlian (2005) y Howell (2001). En Salto, se observó una respuesta inesperada durante la primera temporada, el RM obtuvo los menores valores de concentración de sólidos solubles. Este resultado discrepa con mayoría de bibliografía, y no resulta sencillo de explicar. La tendencia a mayor tamaño de baya registrado en este tratamiento podría haber resultado en un efecto de dilución (Roby *et al.*, 2004). Otros fenómenos asociados a la incidencia de mildiu podrían ser responsables de este efecto, pero su análisis escapa a los objetivos de este trabajo.

En la segunda temporada el RM aumentó la concentración de azúcares respecto al TC en ambos sitios. Aún en una situación de desequilibrio, la práctica se mostró eficaz para mejorar la concentración de azúcares. Pastore *et al.* (2011) han puesto en evidencia que el incremento de la relación hoja fruta permite la expresión de genes vinculados al proceso de maduración. Los resultados obtenidos mediante la aplicación de esta práctica concuerdan con los informados por varios autores (Poni *et al.*, 2018, Ferrer y González-Neves 2002, Howell 2001, Jackson y Lombard 1993).

El DPF no modificó la concentración de azúcares o la incrementó dependiendo de cada situación (sitio y temporada). Normalmente, en los trabajos que han evaluado el efecto de esta práctica se reporta un incremento de la concentración de azúcares, una completa revisión de la literatura se puede consultar en VanderWeide *et al.* (2021). En una temporada seca y cálida con altos rendimientos (ej: Canelones 2018) la práctica no permitió una mejora de la concentración de azúcares. Este resultado puede ser atribuible al escaso descenso del rendimiento registrado y la falta de recuperación de la superficie foliar lo cual ocasionó plantas desbalanceadas. En la segunda temporada, el DPF logró incrementar la concentración de azúcares con respecto al TC en ambos sitios, si bien no se detectaron diferencias significativas en Salto. Diversos mecanismos pueden explicar este efecto, la

mayor exposición del racimo, la mejora relativa de la relación hoja-fruta, el descenso del rendimiento ocasionado, el efecto compensatorio sobre la fotosíntesis que suele tener la ejecución de un deshojado y la canopia más eficiente compuesta por hojas más jóvenes al momento de la maduración (VanderWeide *et al.*, 2021, Verdenal *et al.* 2017, Verdenal *et al.*, 2013, Tardáguila *et al.*, 2010, Poni *et al.*, 2006, Hunter y Visser 1989).

El efecto de los tratamientos sobre la acidez y el pH no fue concluyente. Como se discutió previamente, el RM provocó un descenso de la acidez durante la primera temporada en Canelones como consecuencia de un mejor equilibrio fuente-fosa. Este resultado no se repitió en Salto. Considerando cada temporada, el efecto del DPF no fue significativo sobre la acidez en ningún sitio lo cual está de acuerdo con otros estudios (Miras-Ávalos *et al.*, 2019, Gatti *et al.* ,2012, Tardáguila *et al.*, 2010, Poni *et al.*,2006). Aún en condiciones de clima cálido, la severa exposición del racimo no implicó diferencias entre tratamientos para la acidez total, el contenido de ácidos orgánicos al momento de cosecha ni sobre el pH. Este no es un resultado esperado y difiere con los obtenidos por Risco *et al.* (2013) en condición de clima cálido y seco. Durante la primera temporada en Canelones, el DPF provocó un incremento en la concentración de ácido tartárico, lo cual puede ser atribuible a la mayor exposición de racimo a la radiación. En este sentido, Kliewer y Schultz (1964) utilizando CO₂¹⁴ demostraron que los racimos expuestos a la radiación incorporaban mayor cantidad de CO₂¹⁴ a la biosíntesis de ácido tartárico *in situ*, siendo una posible explicación a los resultados obtenidos.

Durante la segunda temporada se registraron mayores concentraciones de ácido málico en el tratamiento DPF. Esto puede ser parcialmente explicado por una canopia compuesta por hojas más jóvenes, órganos donde este ácido es mayoritariamente producido (Ruffner, 1982). A su vez, la concentración de ácido málico presentó correlación positiva con el tamaño de baya (r : 0,37, p -valor 0,03), resultados similares han sido reportados por Miras-Ávalos *et al.* (2019). Considerando el promedio de ambas temporadas, el DPF presentó mayores valores de pH en comparación con el TC en Canelones. Lohitnavy *et al.* (2010) encontraron que las vides deshojadas en pre floración presentaron mayores contenidos de K⁺ en relación a un control sin deshoje. Los mayores niveles de ácido málico encontrados en la segunda temporada en el DPF podrían explicar parcialmente este resultado ya que, tal como sugiere Hale (1977), la acumulación de potasio y ácido málico presentan una fuerte correlación.

La concentración de NFA está vinculada a la calidad de la uva y consecuentemente afecta la calidad del vino. Valores adecuados de NFA aseguran que el proceso de fermentación alcohólica transcurra de manera adecuada, a su vez, su concentración en el mosto suele asociarse con niveles de precursores aromáticos (Verdenal *et al.*, 2021, Robinson *et al.*, 2014, Belly *et al.*, 1990).

El efecto de las prácticas de cultivo sobre el NFA no fue significativo en ninguno de los dos sitios y en ambas temporadas. Estos resultados están en acuerdo con distintos trabajos que han evaluado el efecto del deshojado y el raleo de racimos sobre esta variable (Verdenal *et al.*, 2019, Moreno *et al.*, 2019, Coniberti *et al.*, 2013).

Los resultados obtenidos sobre las variables asociadas al metabolismo primario demuestran que los factores sitio, temporada, prácticas de manejo y sus interacciones presentaron una contribución relativa diferente sobre la varianza según la variable considerada. El efecto año es clave sobre la concentración de sólidos solubles, el NFA y los contenidos de ácidos orgánicos, resultados en acuerdo con lo reportado por Verdenal *et al.* (2021) y Echeverría *et al.* (2017a). Los años que favorecen la concentración de azúcares en el mosto serían igualmente favorables para la concentración de NFA, resultados de acuerdo con los de Garde-Cerdán *et al.* (2018). La acidez total de la uva y el pH estuvieron determinados por la componente térmica del ambiente en acuerdo con diferentes trabajos (Jones 2018, Rienh *et al.* 2016, Sadras *et al.*, 2013a, Deloire *et al.*, 2005, van Leeuwen *et al.*, 2004). Los indicadores de madurez en cosecha presentaron diferencias notorias entre sitios que pueden traducirse en caracteres asociados a la tipicidad de la uva entre regiones, lo cual resultaría en la obtención de vinos típicos en acuerdo con Echeverría (2010) y González-Neves *et al.* (1998).

4.2.4.2. Metabolitos secundarios: antocianos

Las concentraciones de antocianos y de polifenoles totales registradas en este trabajo se encuentran dentro del rango reportado por González-Neves *et al.* (2004).

El efecto de los tratamientos sobre la concentración de antocianos fue dependiente de cada situación de cultivo, registrándose interacción significativa entre tratamiento y temporada en ambos sitios. Varios trabajos han puesto de manifiesto el efecto positivo del DPF sobre la concentración de antocianos y otros polifenoles en la uva (VanderWeide *et al.*, 2021, Moreno *et al.*, 2019, Risco *et al.*, 2013, Diago *et al.* 2012, Tardáguila *et al.* 2010, Poni *et al.*, 2006). Esto no se vio reflejado en la primera temporada, contrariamente a lo esperado, se obtuvieron menores concentraciones de estos compuestos en ambos sitios, aunque la significancia estadística se dio solo en Canelones. Estos resultados pueden ser explicados por diferentes causas, la mayor exposición del racimo en una temporada cálida podría haber resultado en un incremento de la temperatura de la baya por encima de los rangos considerados como óptimos para mantener una relación positiva entre la biosíntesis y degradación de antocianos (Mori *et al.*, 2007, Spyad *et al.*, 2002). Sumado a ello, los valores de la relación hoja fruta estuvieron dentro de la clase mínima reportada por Echeverría *et al.* (2017a) y los valores del índice de Ravaz por encima del rango de equilibrio reportado por Ferrer *et al.* (1997) para el cultivar Tannat. En la segunda temporada se observó un efecto opuesto de esta práctica sobre el potencial de antocianos totales en ambos sitios, promoviendo un incremento relativo de la concentración de antocianos potenciales. Sin embargo, en Salto no se registraron diferencias en la concentración de antocianos extraíbles. Este resultado, no es esperado y podría ser atribuible a varias causas. Una de ellas, es la posibilidad que tiene esta práctica de cultivo en modificar el grosor de los hollejos. Verdenal *et al.* (2017) demostraron que una exposición temprana de la baya a la radiación incrementó el número de células hipodérmicas, lo cual podría implicar una mayor dificultad de extracción de estos compuestos. Por otra parte, Rustioni *et al.* (2011) reportan que los racimos con mayor exposición a la radiación normalmente incrementan los contenidos de antocianos, pero durante la maceración la cesión de estos compuestos al medio es más lenta respecto a racimos sombreados. Estos autores atribuyen este efecto a posibles cambios en la composición de los hollejos (propiedades de la pared celular), los cuales favorecerían procesos como la re-absorción de antocianos durante la vinificación.

El RM presentó un comportamiento más consistente sobre el potencial de antocianos totales y extraíbles en ambos sitios. Cuando la aplicación de esta práctica permitió corregir desbalances fisiológicos (ej: Canelones 2018), se observó un aumento de la concentración de antocianos potenciales y extraíbles. Del mismo modo, mostró una respuesta positiva durante la segunda temporada caracterizada por condiciones ambientales menos favorables para la maduración. Estos resultados parecen corroborar la eficacia de esta práctica para promover una mejora de la concentración de antocianos en condiciones adversas para el proceso de maduración, ya sea por un exceso de producción (ej: Canelones 2018) o por restricciones ambientales (ej: Salto 2019). Durante la segunda temporada en Salto, el descenso del rendimiento ocasionado por las prácticas de manejo, estuvo linealmente asociado con el incremento de la concentración de antocianos totales (R^2 : 0,77, p-valor: 0,001) y extraíbles (R^2 : 0,64, p-valor: 0,009). Estos resultados respaldan la utilidad de las prácticas de manejo para corregir desequilibrios fisiológicos, repercutiendo favorablemente en atributos de importancia como los antocianos, tal y como sugieren Jackson y Lombard (1993) y Howell (2001). Al igual que en el DPF se observó un aumento del índice EA (%), lo que indica una menor extractabilidad de compuestos. La principal hipótesis respecto a este resultado es similar a la previamente discutida para el DPF, lo cual tendría coherencia considerando que este tratamiento en Salto presentó una mayor intercepción en la zona del racimo de radiación respecto al TC.

Los tratamientos presentaron una respuesta similar sobre los antocianos independientemente del sitio, no registrándose interacción significativa sitio-tratamiento. A diferencia de las variables vinculadas a la composición primaria, el modelo factorial explicó menores porcentajes de la variabilidad sobre la composición secundaria. Esto indicaría que otros factores que no fueron tenidos en cuenta en el abordaje estadístico utilizado tendrían relevancia sobre estas variables. Es conocido que la concentración de antocianos en la uva es regulada por la interacción de diferentes factores, dentro de los cuales se destacan las condiciones de temperatura (Mori *et al.*, 2007), luminosidad (Spayd *et al.*, 2002), la relación hoja fruta (Pastore *et al.* 2011), el tamaño de la baya (Roby *et al.*, 2004) y el estado hídrico (Ojeda *et al.*, 2002, Ojeda *et al.*, 2008). En este trabajo, las prácticas de manejo y la interacción temporada-tratamiento la mayor variabilidad observada en el potencial antociánico, sin embargo, la interacción sitio-año explicó la mayor variabilidad observada en el potencial de antocianos extraíbles y en la extractabilidad. De acuerdo con Glories (1984), la madurez de las membranas celulares determina cuantos antocianos son capaces de

extraerse durante la maceración. En la primera temporada las condiciones ambientales durante la maduración habrían generado una situación más favorable permitiendo mayor grado de “madurez” de los hollejos, esto habría favorecido la obtención de uvas con mayor extractabilidad en acuerdo con Ortega-Regules *et al.* (2006) y Hernández-Hierro *et al.* (2014). Adicionalmente la mayor relación hollejo/pulpa registrada en la primera temporada podría suponer una mayor posibilidad de extracción de compuestos durante la maceración en acuerdo con Roby *et al.* (2004).

4.2.4.3 Componentes estructurales de la baya

Las prácticas de manejo no presentaron un efecto significativo sobre los componentes de la baya. Estos resultados no concuerdan con los de Poni *et al.* (2009), Gatti *et al.* (2012) y Verdenal *et al.* (2017). Estos autores observaron un aumento de la relación hollejo/pulpa asociada a la disminución del peso de baya en plantas sometidas a DPF. Si bien el descenso del peso de baya se vio durante la primera temporada en Salto, no implicó diferencias significativas en la proporción relativa de los componentes estructurales.

En promedio, la uva de Salto se caracterizó por presentar una mayor proporción relativa de hollejos y menor proporción de pulpa. Esto se explica por las condiciones térmicas de la región norte, las cuales favorecerían una mayor pérdida de agua por transpiración durante la maduración, disminuyendo el porcentaje relativo de pulpa de acuerdo con Greer y Weedon (2012). A su vez, el efecto temporada fue significativo sobre el peso de baya y la proporción relativa de hollejo (p-valor 0,007) y pulpa (p-valor 0,01). La proporción relativa de pulpa fue menor en la primera temporada lo que se puede asociar a las temperaturas elevadas registradas durante la maduración en este ciclo en ambos sitios y a las bajas precipitaciones registradas. Como efecto colateral, el porcentaje de hollejo fue mayor en esta temporada resultando en una mayor relación H/P, resultados en acuerdo con Ferrer *et al.* (2014).

4.3. CONDICION SANITARIA DE LA VENDIMIA

Durante la segunda temporada, la ocurrencia de precipitaciones y períodos de humedad relativa alta durante la maduración de la uva, favorecieron el desarrollo de podredumbres de racimo en acuerdo con Molitor *et al.* (2016), Fermaud *et al.* (2008) y Ferrer *et al.* (2009).

La mayor incidencia y severidad de podredumbres se dio en Salto a causa del mayor volumen de precipitaciones registrados en el transcurso de la maduración en este sitio. En Canelones, los mayores registros de lluvia coincidieron con el período de crecimiento herbáceo de la baya, cuando los niveles de defensa constitutivos e inducibles de la baya permanecen altos.

Las condiciones macroclimáticas tuvieron un efecto significativo sobre las enfermedades que se desarrollaron en un sitio y en otro. En el norte del país se registró únicamente incidencia de podredumbre ácida. Las temperaturas superiores y los altos niveles de humedad relativa registrados generaron condiciones propicias para el desarrollo de esta enfermedad en acuerdo con otros estudios (Barata *et al.*, 2012a, Barata *et al.* 2012b, Barata *et al.*, 2008). A su vez, daños producidos por aves ocasionaron heridas en las bayas, siendo un factor adicional que promovió el desarrollo de la enfermedad (Barata *et al.*, 2012c). En el sur en cambio, se registró incidencia de podredumbre gris y podredumbre ácida. La incidencia de *B. cinerea* se corresponde con la presencia de fuente de inóculo de este patógeno encontradas en el viñedo de Canelones, y las condiciones más frescas bajo las cuales transcurre la maduración en el sur del país, resultados en acuerdo con Jaspers *et al.* (2016) y Ferrer *et al.* (2009).

La evolución de la micoflora epífita identificada en las flores y uvas está en acuerdo a los estudios de Duncan *et al.* (1995), Latorre y Rioja (2002), Prendes *et al.* (2015) y Garmendia y Vero (2016). Durante la floración, *Alternaria* fue el género dominante seguido de *Epicoccum* en ambos sitios. En Salto se registró la presencia de especies de *Cladosporium*, hongos considerados saprófitos y oportunistas. Si bien algunas especies de este género están reportadas como agentes causales de podredumbres de racimos (Latorre *et al.*, 2011, Briceño y Latorre 2008), no hay reportes de afecciones producidas en floración,

por lo cual su presencia no significaría un riesgo importante. Se detectó *B. cinerea* en ambos sitios, aunque con abundancias relativas muy bajas. Esto confirma que a pesar de las temperaturas más elevadas de la región norte el hongo se encuentra presente. Los demás géneros de hongos encontrados están en acuerdo con diferentes trabajos realizados en el tema (Nair y Allen 1993, Nair *et al.* 1995, Latorre y Rioja 2002, Liu y Howell 2021).

Durante el comienzo de la maduración el análisis de la micobiota epifita mostró que *Alternaria* fue el género dominante en Salto, mientras que en Canelones fue *Penicillium*. Esta diferencia se explica por un efecto de contaminación cruzada en las placas de Canelones. El segundo género más abundante en Canelones fue *Alternaria*. Omitiendo, el efecto indeseado que tuvo la contaminación, los resultados están en acuerdo con trabajos realizados en Uruguay y Argentina, los cuales posicionan al género *Alternaria* como el más abundante en la uva (Garmendia y Vero 2016, Prendes *et al.*, 2015), así como también trabajos realizados en otras zonas vitícolas (Liu y Howell 2021, Sternad Lemut *et al.*, 2015). La presencia de *Aspergillus* estuvo restringida a la región norte. Esto se explicaría por las condiciones más cálidas durante la maduración, sumado a la presencia de inóculo en restos de racimos. Sin embargo, estos resultados no deben tomarse como concluyentes, debido a que la presencia de especies de *Aspergillus* ha sido previamente reportada en uvas de la región sur (Garmendia y Vero, 2016). Es conocido que la variabilidad interanual influye sobre las comunidades fúngicas presentes en la uva, así como también entre viñedos en una misma región (Liu y Howell 2021, Liu *et al.*, 2019). Por tanto, deberían realizarse estudios de mayor escala y tiempo para confirmar diferencias entre regiones. *Botrytis cinerea* se encontró formando parte de la micobiota epifita con baja abundancia relativa, aunque mayor a la detectada durante la floración, lo cual es coincidente con la literatura (Latorre *et al.*, 2016, Elad *et al.*, 2007).

La micobiota endófitas de la uva estuvo restringida al Phylum Ascomycota y los géneros identificados están en acuerdo con González y Tello (2011). La ocurrencia de infecciones latentes se dio únicamente en Canelones. La ausencia de *B. cinerea* en uvas provenientes de Salto se explicaría *a priori* por la menor capacidad del hongo para crecer en situaciones de mayor temperatura, en la cual transcurre la fase de maduración de la uva en el norte del país. Como se hizo mención en párrafos anteriores, el transcurso de la maduración bajo temperaturas más frescas en la zona sur marcaría una diferencia

sustancial respecto a la región norte que favorecería el desarrollo de este patógeno y la ocurrencia de la enfermedad.

El DPF se mostró como la práctica más eficaz en reducir las podredumbres de racimos independientemente de la enfermedad, lo que está en acuerdo con numerosos trabajos (Sternad Lemut *et al.*, 2015, Hed *et al.*, 2015, Molitor *et al.*, 2011, Tardáguila *et al.*, 2010, Diago 2010). Estos resultados se explican por la obtención de racimos menos compactos y la mejor exposición del racimo a la radiación. Este resultado es positivo dado que la susceptibilidad de Tannat a las podredumbres está asociada a la compacidad de sus racimos (Ferrer *et al.* 2011b, Ferrer *et al.*, 2009).

Contrariamente a lo reportado por Palliotti y Cartechini (1998) el RM no redujo la incidencia de podredumbres de racimos. Por el contrario, este tratamiento obtuvo los mayores niveles de incidencia y severidad en ambos sitios. Estos resultados pueden estar explicados parcialmente por la mayor compacidad de los racimos. Como se discutió previamente, al momento de ejecutar el raleo de racimos usualmente se dejan en la planta los racimos mejor formados. Adicionalmente, la ejecución de un deshojado leve entre cuajado y cierre de racimos en un año con condiciones hídricas no restrictivas permite una rápida recuperación del área foliar (Hunter, 2000). En este sentido la implementación de un deshojado más severo en el período tradicional podría constituir una alternativa para contrarrestar el efecto negativo causado por la permanencia de racimos más compactos en la planta. Diversos trabajos muestran que la severidad del deshojado guarda correspondencia directa con los niveles de incidencia (Verdenal *et al.*, 2018, Diago 2010).

Los valores de glicerol y ácido glucónico obtenidos en este trabajo están muy por debajo de los reportados en la bibliografía. Ribéreau-Gayon *et al.* (2006a) y Steel *et al.* (2020) reportan concentraciones de ácido glucónico de 300 mg/l para uvas severamente afectadas. Mientras que, para glicerol, Dittrich (1989) reporta valores de 30 g/l en uvas severamente afectadas. Las discrepancias entre nuestro trabajo y los reportes bibliográficos, posiblemente se explican porque los análisis de este trabajo se realizaron con uva asintomática a diferencia de los anteriormente citados. En Canelones se encontró una correlación positiva entre el porcentaje de infecciones latentes de *Botrytis cinerea* en enero y el contenido de ácido glucónico en cosecha. Estos resultados podrían corroborar parcialmente el hecho de que el hongo es capaz de causar modificaciones a nivel físico

químico aún sin manifestar síntomas y/o signos de la enfermedad (Ciliberti *et al.*, 2015). En Salto, la incidencia se correlacionó positivamente con los contenidos de ácido glucónico en el mosto, resultados en acuerdo con los reportados por Barata *et al.* (2011).

El efecto de los tratamientos no fue concluyente sobre los metabolitos de origen microbiano. En Salto, El RM obtuvo los mayores valores de ácido glucónico y los mayores valores de la sumatoria glucónico y glicerol, si bien existió una correlación con la incidencia, la misma no fue significativa ($r: 0,98$, $p\text{-valor } 0,08$). La relación glicerol/glucónico fue más baja para este tratamiento, indicando un grado avanzado de la podredumbre en acuerdo con Zoecklein *et al.* (2001). La presencia de bacterias como *Gluconobacter* sp., *Gluconeobacter* sp. seguramente explique la presencia de este metabolito en las uvas de Salto en acuerdo con Barata *et al.* (2012b) y Zoecklein *et al.* (2001). En Canelones no se registraron diferencias entre tratamientos, lo cual puede ser a causa de los bajos registros de incidencia y severidad en este sitio.

4.4. SINTESIS

Los resultados obtenidos en este trabajo indican que los factores considerados (tratamiento, sitio, temporada y sus interacciones) influyen de manera diferente sobre las variables vinculadas al comportamiento agronómico Tannat. Como reflexión general, la respuesta de la planta a las intervenciones técnicas es producto de una compleja interacción entre las condiciones meteorológicas de la temporada y la condición de equilibrio de las plantas. La variabilidad interanual en las condiciones meteorológicas es determinante sobre aspectos como la expresión del vigor, el rendimiento, el equilibrio fisiológico de las plantas (Echeverría *et al.*, 2017b, Ferrer *et al.*, 2017, van Leeuwen *et al.*, 2004, Deloire *et al.*, 2005) y repercute sobre la composición de la uva (Ferrer *et al.*, 2020a, Jackson y Lombard 1993). La incidencia de mildiu próximo a floración condicionó parte de los resultados experimentales, ya que esta enfermedad afectó los componentes del rendimiento, afectó severamente el crecimiento vegetativo y consecuentemente condicionó el balance fisiológico de las plantas en ambos sitios en acuerdo con lo reportado por Jermini *et al.* (2010).

El macroclima de la región determina importantes variaciones en el desarrollo fenológico del cultivo. Las diferencias térmicas entre regiones, resultan en diferencias en

la composición de la uva, entre ellas el pH y la acidez, las cuales están determinadas por las temperaturas de la región durante el transcurso de la etapa de maduración. La uva de la región norte es menos ácida y con mayor pH, lo cual conforma una característica típica, en acuerdo con reportes previos (Ferrer *et al.*, 2011a, Echeverría 2010).

Las prácticas de cultivo evaluadas mostraron un efecto diferencial sobre las variables de interés agronómico según la temporada, el sitio y el balance fisiológico de las plantas. En este trabajo no pudimos confirmar la hipótesis experimental, no siendo posible la recomendación de una práctica u otra en función del sitio.

El RM de racimos se mostró como una práctica eficaz para el control del rendimiento (> 39 %, en promedio) y lograr mantener las plantas en un equilibrio fisiológico adecuado durante una temporada seca con altos rendimientos (Canelones 2018). A su vez permitió obtener descensos del rendimiento menos variables en las diferentes situaciones analizadas. La mejora en la composición de la uva fue relativa a las condiciones del año, en Canelones la práctica mostró un efecto más consistente en ambas temporadas, mejorando la composición global de la uva y produciendo una aceleración de la maduración en la primera temporada. Los resultados demuestran que la variedad Tannat responde positivamente a la regulación del rendimiento en términos de metabolitos secundarios como los antocianos, pero lo hace de mejor manera en una temporada con condiciones desfavorables para la maduración, ya sea, dadas por desequilibrios fisiológicos de las plantas (Canelones 2018) o condiciones ambientales desfavorables (Salto 2019). Sin embargo, la aplicación del raleo tuvo un efecto negativo sobre la incidencia de podredumbres, lo que se explicó por la permanencia de racimos más compactos en la planta. Globalmente la práctica permite una mejora de la composición de la uva, pero bajo condiciones predisponentes para el desarrollo de podredumbres podría implicar un aumento de las pérdidas. Esto incrementa los costos operativos y logísticos a nivel de bodega por la necesidad de incurrir en cuidadosos procesos de selección, posiblemente reduciendo los márgenes económicos para el vitivinicultor y afectando la sostenibilidad del sistema en el mediano-largo plazo (Preszler *et al.*, 2013).

El DPF se mostró como una práctica idónea para el control del rendimiento, aunque, por tratarse de un método indirecto de ajuste de la producción, los descensos ocasionados presentan un mayor rango de variabilidad (11-39%) que los provocados por RM. El balance fisiológico de las plantas y las condiciones de la temporada son aspectos

determinantes del impacto de esta práctica sobre el rendimiento y sus componentes. El efecto del DPF en términos de composición de la uva es altamente modulado por las condiciones ambientales post aplicación de la práctica y el equilibrio fisiológico de las plantas. Si bien esta práctica no disminuyó la concentración de azúcares, tuvo efectos negativos sobre la concentración de antocianos potenciales y extraíbles en un año cálido, con restricciones hídricas. Por esta razón, su aplicación debería evitarse en plantas con bajo vigor y ante pronósticos de déficit hídricos severos. En una temporada húmeda la práctica muestra una eficacia notoria en mejorar el estatus sanitario de la vendimia, independientemente del sitio y la enfermedad. Con una sola intervención es posible controlar el rendimiento, mejorar la estructura de la canopia y obtener mayor porcentaje de uva sana. A su vez en la temporada húmeda, la práctica permitió la mejora relativa de algunas variables de interés como la concentración de azúcares y el potencial antociánico. En situación de clima cálido (norte del país) el DPF no disminuyó los valores de acidez ni aumentó el pH del mosto, por lo que se vuelve una alternativa interesante en un escenario de cambio climático donde se prevé una concentración de las precipitaciones en el período primavera-estival e incremento de la temperatura media del aire (Giménez *et al.*, 2009).

Considerando que la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones por encima de la media climática (1976-2016), durante el período primavera-verano es de 4 de cada diez años para ambos sitios (ver anexo 7.2), la misma frecuencia podría ser tomada en cuenta para la ejecución del DPF, con el fin de mitigar las posibles influencias negativas de la añada en relación a la incidencia de podredumbres de racimos, con la posibilidad adicional de obtener una mejora de ciertas cualidades vinculadas a la composición de la uva como la concentración de azúcares y el potencial antociánico.

5. CONCLUSIONES

Este trabajo aporta información acerca de la respuesta de la planta a tres situaciones de manejo del cultivo bajo condiciones ambientales diversas. Queda demostrado que la respuesta de la planta a prácticas de gestión de la canopia es producto de una compleja interacción entre las condiciones ambientales en cada región y el equilibrio fisiológico de las plantas, no siendo posible la recomendación diferenciada de una alternativa u otra según el sitio. El raleo manual de racimos produce una gestión más precisa del rendimiento en comparación con el deshojado prefloración. Adicionalmente, en Canelones el raleo manual mostró un comportamiento más regular sobre variables asociadas a la composición de la uva mientras que en Salto el efecto fue más irregular.

En un año húmedo con condiciones predisponentes para el desarrollo de podredumbres, el raleo manual ejecutado en comienzo de maduración provocó incremento de la incidencia y severidad de podredumbres debido a la presencia de racimos más compactos en la planta. Esto puede acarrear un incremento de los costos variables en el sistema, disminuyendo la eficiencia del proceso productivo. El deshojado en prefloración se mostró como una alternativa más eficaz para reducir la incidencia de podredumbres, debido a que promueve una mejor exposición del racimo y disminuye su compacidad, adicionalmente algunos aspectos vinculados a la composición de la uva como la concentración de sólidos solubles y el potencial antociánico, aunque a expensas de un significativo descenso del rendimiento.

El análisis de la micobiota demostró que *Botrytis cinerea* se presenta en ambas regiones durante la floración del cultivo, pero en baja abundancia relativa. Las condiciones más cálidas en las que transcurre la maduración en el norte serían menos favorables para el desarrollo de la podredumbre gris, aunque sería necesario validar este resultado con futuros estudios que contemplen más sitios de observación y otras variedades.

No se identificaron géneros causantes de otras podredumbres como *Colletotrichum* spp. y *Greeneria uvicola*. Sin embargo, los resultados no fueron concluyentes debido a que no se pudo realizar la evaluación en la uva en madurez tecnológica. La aplicación del deshojado pre-floración no fue capaz de producir cambios a nivel microclimático de tal magnitud que impidieran la presencia de *Botrytis cinerea* o afectaran la comunidad de

hongos epífitos y endófitos. El análisis de metabolitos de origen microbiano en uvas asintomáticas presentó algunos resultados auspiciosos, por tanto, se considera pertinente profundizar en estudios de este tipo con el propósito de validar la metodología, la misma podría constituir una herramienta valiosa y objetiva para evaluar el estado sanitario de la uva. Ante la presencia de una elevada cantidad de infecciones latentes de *B. cinerea*, esta metodología podría aportar información relevante, sea para la toma de decisiones a nivel productivo o bien para establecer criterios objetivos sobre la paramétrica del precio de la uva.

Dadas las ventanas de aplicación de ambas técnicas de cultivo y la alta variabilidad meteorológica registrada en nuestras condiciones de producción. La decisión agronómica acerca de que alternativas de manejo a escoger cada año y en cada sitio representa un desafío de singular importancia para los productores y técnicos, la decisión debería ser producto de un análisis integral que involucre el conocimiento del balance fisiológico del viñedo, las previsiones meteorológicas para la temporada, los objetivos productivos deseados y un análisis de viabilidad económica. De esta manera se pueden tomar decisiones que optimicen la gestión de los recursos y resulten en un proceso de producción más eficiente.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Agrios GN. 1995. Fitopatología. 2ª. ed. México, D. F: Noriega/ Limusa. 838 p.
- Aira MJ, Fernández-González M, Rodríguez-Rajo FJ, Jato V. 2009. Modelo de predicción para *Botrytis cinerea* en un viñedo de Galicia (España). [En línea]. Boletín Micológico, 24. Consultado: 24 de febrero 2021. Disponible en: <https://revistas.uv.cl/index.php/Bolmicol/article/view/102>
- Alem H, Rigou P, Schneider R, Ojeda H, Torregrosa L. 2019. Impact of agronomic practices on grape aroma composition: a review. Journal of the Science of Food and Agriculture, 99(3): 975-985. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9327>
- Archer E, Strauss H C. 1991. The Effect of Vine Spacing on the Vegetative and Reproductive Performance of *Vitis vinifera* L. (cv. Pinot noir). South African Journal of Enology and Viticulture, 12(2): 70-76. doi:10.21548/12-2-2211.
- Arnold AE, Lutzoni F. 2007 Diversity and host range of foliar fungal endophytes: are tropical leaves biodiversity hotspots? Ecology, (88):541–549. doi:10.1890/05-1459
- Azcón-Bieto J, Talón M. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. 2ª. ed. Barcelona, España, Universidad de Barcelona. 649 p.
- Barata A, Malfeito-Ferreira M, Loureiro V. 2012a. Changes in sour rotten grape berry microbiota during ripening and wine fermentation. International Journal of Food Microbiology, 154 (3): 152-161. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.12.029
- Barata A, Malfeito-Ferreira M, Loureiro V. 2012b. The microbial ecology of wine grape berries. International Journal of Food Microbiology, 153(3): 243-259. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.11.025
- Barata A, Correia Santos S, Malfeito-Ferreira M, Loureiro V. 2012c. New insights into the ecological interaction between grape berry microorganisms and *Drosophila* flies during the development of sour rot. Microbiology Ecology. 64: 416-430. doi:10.1007/s00248-012-0041-y
- Barata A, Pais A, Malfeito-Ferreira M., Loureiro V. 2011. Influence of sour rotten grapes on the chemical composition and quality of grape must and wine. European Food Research and Technology, 233(2): 183-194. doi:10.1007/s00217-011-1505-x

- Barata A, González S, Malfeito-Ferreira M, Querol A, Loureiro V. 2008. Sour rot-damaged grapes are sources of wine spoilage yeasts. *FEMS yeast research*, 8(7): 1008-1017. doi:10.1111/j.1567-1364.2008.00399.x
- Barreiro M, Arizmendi F, Trinchin R. 2019. Variabilidad observada en el clima de Uruguay. En: Proyecto "Fortalecer las capacidades de Uruguay para la adaptación al cambio climático en la zona costera". 52p. [En línea] Consultado: 22 de junio 2021. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/2020-08/Producto%202.pdf>
- Basaraba J. 1966. Effects of vegetable tannins on glucose oxidation by various microorganisms. *Canadian Journal of Microbiology*, 12(4): 787-794. doi:10.1139/m66-106.
- Bavaresco L, Gatti M, Pezzutto S, Fregoni M, Mattivi F. 2008. Effect of leaf removal on grape yield, berry composition, and stilbene concentration. *American Journal of Enology and Viticulture*, 59(3): 292-298.
- Bavaresco L, Petegolli D, Cantù E, Fregoni M, Chiusa G. 1997. Elicitation and accumulation of stilbene phytoalexins in grapevine berries infected by *Botrytis cinerea*. *Vitis*, 36 (2): 77-83.
- Beever RE, Laracy EP, Pak HA. 1989. Strains of *Botrytis cinerea* resistant to dicarboximide and benzimidazole fungicides in New Zealand vineyards. *Plant pathology*, 38(3): 427-437.
- Belly M, Sablayrolles JM, Barre P. 1990. Automatic detection of assimilable nitrogen deficiencies during alcoholic fermentation in oenological conditions. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 70(4): 246-252
- Bergqvist J, Dokoozlian N, Ebisuda N. 2001. Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the Central San Joaquin Valley of California. *American Journal Enology Viticulture*, 52(1):1-7.
- Beslic Z, Todic S, Matijasevic S. 2013. Effect of timing of basal leaf removal on yield components and grape quality of grapevine cvs cabernet sauvignon and prokupac (*Vitis vinifera* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19 (1): 96-102.
- Biais B, Krisa S, Cluzet S, Da Costa G, Waffo-Teguo P, Mérillon JM, Richard T. 2017. Antioxidant and cytoprotective activities of grapevine stilbenes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(24): 4952-4960. doi: 10.1021/acs.jafc.7b01254

- Bisiach M, Minervini G, Salomone MC. 1982. Recherches expérimentales sur la pourriture acide de la grappe et sur rapports avec la pourriture grise. EPPO Bulletin 12: 5-28.
- Bledsoe AM, Kliewer WM, Marois JJ. 1988. Effects of timing and severity of leaf removal on yield and fruit composition of Sauvignon blanc grapevines. American Journal of Enology and Viticulture, 39(1): 49-54.
- Bobeica N, Poni S, Hilbert G, Renaud C, Gomès E, Delrot S, Dai Z. 2015. Differential responses of sugar, organic acids and anthocyanins to source-sink modulation in Cabernet Sauvignon and Sangiovese grapevines. Frontiers in Plant Science, 6, 382. doi:10.3389/fpls.2015.00382
- Bokulich NA, Thorngate JH, Richardson PM, Mills DA. 2014. Microbial biogeography of wine grapes is conditioned by cultivar, vintage, and climate. Proceedings of the National Academy of Sciences. U.S.A. 111, 139-148. doi:/10.1073/pnas.1317377110
- Bravdo B, Hepner Y, Loinger C, Cohen S, Tabacman H. 1985. Effect of crop level and crop load on growth, yield, must and wine composition, and quality of Cabernet Sauvignon. American Journal of Enology and Viticulture, 36:125-131.
- Bregante A. 2003. La viticultura en Uruguay, contribución a su conocimiento. Montevideo, Uruguay. [En línea]. Consultado 15 de enero 2021. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/la_viticultura_en_uruguay_-_junio_2003.pdf
- Briceño EX, Latorre BA. 2008. Characterization of Cladosporium rot in grapevines, a problem of growing importance in Chile. Plant Disease, 92(12): 1635-1642. doi:10.1094/PDIS-92-12-1635
- Brinkmann B, Otteneder H, Eichhorn A, Loch R. 2003. Aktuelle Untersuchungen zur Beschaffenheit von roten und weißen Traubensäften. [En línea]. Consultado: 31 de mayo 2021. Lebensmittelchemie, 57: 119–120. Disponible en: <https://www.edoweb-rlp.de/resource/edoweb:3237437/data..>
- Broome J, English J, Marois J, Latorre A, Aviles J. 1995. Development of an Infection Model for Botrytis Bunch Rot of Grapes based on wetness duration and temperature. Phytopatology, 85(1): 97-102
- Bubola M, Peršurić D, Ganić KK. 2012. Impact of cluster thinning on productive characteristics and wine phenol composition of cv. Merlot. Journal of Food, Agriculture and Environment 9 (1):36-39.

- Buschiazzo M, Merino N, De Mori J, Villarino A, Passadore A, Bertola B, Fasiolo C, Coniberti A, Fasiolo C, Zoppolo R. 2020. [En línea]. Producción Vitícola sustentable. FPTA 353. Revista INIA N° 62: 123-126. Consultado: 25 de mayo 2021. Disponible en: http://fucreea.org/system/comfy/cms/files/files/000/001/426/original/FPTA_353_R_EVISTA_INIA.pdf.
- Buttrose MS. 1974. Climatic factors and fruitfulness in grapevines. Horticultural Abstract, 44: 319-325.
- Buttrose MS. 1970. Fruitfulness in grape vines; the response of different cultivars to light, temperature and daylength. Vitis, 9: 121-125.
- Buttrose MS. 1966. The effect of reducing leaf area on the growth of roots, stems and berries of Gordo grapevines. Vitis, 5: 455-464.
- Cabañes FJ, Accensi F, Bragulat M R, Abarca M L, Castellá G, Minguez S, Pons A. 2002. What is the source of ochratoxin A in wine? International Journal of Food Microbiology, 79 (3): 213-215. doi:10.1016/s0168-1605(02)00087-9
- Cabrera J. 2004. Aplicaciones de calcio pre- cosecha en uva de mesa (*Vitis vinífera* L.) cvs. Moscatel de Hamburgo e Italia para exportación. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 96 p.
- Cameron W, Petrie PR, Barlow E, Howell K, Jarvis C, Fuentes S. 2021. A comparison of the effect of temperature on grapevine phenology between vineyards. OENO One, 55(2): 301–320. doi:10.20870/oeno-one.2021.55.2.4599
- Canessa P, Schumacher J, Hevia MA, Tudzynski P, Larrondo LF. 2013. Assessing the Effects of Light on Differentiation and Virulence of the Plant Pathogen *Botrytis cinerea*: Characterization of the White Collar Complex. PLOS ONE 8(12): e84223. doi: 10.1371/journal.pone.0084223
- Candolfi-Vasconcelos MC, Candolfi MP, Koblet W. 1994. Retranslocation of carbon reserves from the woody storage tissues into the fruit as a response to defoliation stress during the ripening period in *Vitis vinífera* L. Plantae, 192 (4): 567-573. doi:10.1007/BF00203595
- Carbonneau A, Torregrosa L. 2020. Traité de la vigne-3e éd: Physiologie, terroir, culture. Paris, Francia. Dunod. 689 p

- Carbonneau A. 1998. Irrigation, vignoble et produits de la vigne. En : Tiercelin J.R. (ed.) *Traité d'irrigation*. Paris, Lavoisier. 257-276.
- Carbonneau A. 1995. La surface foliaire exposée-guide pour sa mesure. *Le Progrès Agricole Viticole*, 9: 204-212.
- Carbonneau A. 1992. La teneur en sucres du raisin. *Le Progrès Agricole et Viticole*, 109 (22) : 495 – 501.
- Carbonneau A, Moueix A, Leclode N, Renoux J. 1991. Proposition d'une méthode de prélèvement de raisin à partir de l'analyse de l'hétérogénéité de maturation sur un cep. *Bulletin OIV*. 64: 679-690.
- Carbonneau A, Castelarín P, Leclair P. 1978. Attempt to define, by the whole plant biology, essential relationships between natural bioclimate, vine physiology and grape composition. Methodology and first results on training systems. *Annales Amélior Plantes*. 28 (2): 195-221.
- Caspari HW, Lang A. 1996. Carbohydrate supply limits fruit-set in a commercial Sauvignon blanc grapevine. En: *Proceedings of the 4th International Symposium on Cool Climate Enology and Viticulture*. New York State Agriculture Experiment Station: Geneva, NY. Eds. T. Henick-Kling, T.E. Wolf and E.M. Harknes. 9-13.
- Champagnol F. 1984. *Éléments de Physiologie de la Vigne et de Viticulture Générale*. Montpellier, France: Dhean. 351p.
- Ciliberti N, Fermaud M, Roudet J, Rossi V. 2015. Environmental conditions affect *Botrytis cinerea* infection of mature grape berries more than the strain or transposon genotype. *Phytopathology*, 105(8): 1090-1096. doi:10.1094/PHYTO-10-14-0264-R
- Clingeleffer PR. 2010. Plant management research: status and what it can offer to address challenges and limitations. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 16:25-32. doi:10.1111/j.1755-0238.2009.00075.x
- Collins C, Wang X, Lesefko S, De Bei R, Fuentes S. 2020. Effects of canopy management practices on grapevine bud fruitfulness. *OENO One*, 54 (2): 313-325. doi:10.20870/oeno-one.2020.54.2.3016
- Collins C, Dry PR. 2009. Response of fruit-set and other yield components to shoot topping and 2-chlorethyltrimethyl-ammonium chloride application. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 15: 256-267. doi:10.1111/j.1755-0238.2009.00063.x
- Comménil P, Brunet L, Audran JC. 1997. The development of the grape berry cuticle in relation to susceptibility to bunch rot disease. *Journal of Experimental Botany*. 48:1599-1607. doi.org:10.1093/jxb/48.8.1599

- Conde C, Silva P, Fontes N, Dias A, Tavares R, Sousa M, Agasse A, Delrot S, Gerós H. 2007. Biochemical changes throughout grape berry development and fruit and wine quality. [En línea] Food, 1: 1-22. Consultado 2 de febrero 2021. Disponible en: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/6820>
- Coniberti A, Ferrari V, Disegna E, Garcia Petillo M, Lakso AN, 2018a. Under-trellis cover crop and planting density to achieve vine balance in a humid climate. Science Horticulturae. 227: 65–74. doi: 10.1016/j.scienta.2017.09.012
- Coniberti A, Ferrari V, Disegna E, García Petillo M, Lakso AN. 2018b. Complete vineyard floor cover crop to reduce grapevine susceptibility to bunch rot. European Journal of Agronomy, 99: 167–176. doi: 10.1016/j.eja.2018.07.006
- Coniberti A, Ferrari V, Dellacassa E, Boido E, Carrau F, Gepp V, Disegna E. 2013. Kaolin over sun-exposed fruit affects berry temperature, must composition and wine sensory attributes of Sauvignon blanc. European Journal of Agronomy, 50: 75-81. doi: 10.1016/j.eja.2013.06.001
- Coniberti A, Ferrari V, Fariña, L, Carrau F, Dellacassa E, Boido E, Disegna E. 2012. Role of canopy management in controlling high pH in Tannat grapes and wines. American Journal of Enology and Viticulture, 63 (4): 554-558. doi.org:10.5344/ajev.2012.11107
- Coniberti A, Disegna E, Casco N, Fariña L, Dellacassa E, Medina K, Boido E. 2009. Deshojados en combinación con aplicaciones de caolinita (sorround®)-una herramienta de manejo del viñedo, para la obtención de vinos Sauvignon blanc de alta tipicidad e inocuidad en clima subtropical-húmedo. En: XI Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología. Mendoza, Argentina. 218 p.
- Coombe BG. 2001. Ripening berries- a critical issue. Australian Viticulture, 5: 28-34.
- Coombe B, McCarthy M. 2000. Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. Australian Journal of Grape and Wine Research, 6: 131–135. doi:10.1111/j.1755-0238.2000.tb00171.x
- Coombe B. 1995. Growth stages of the grapevine: adoption of a system for identifying grapevine growth stages. Australian Journal of Grape and Wine Research, 1(2): 104- 110. doi:10.1111/j.1755-0238.1995.tb00086.x
- Coombe B. 1992. Research on development and ripening of the grape berry. American Journal of Enology and Viticulture, 43:101-110.

- Coombe B. 1987. Influence of temperature on composition and quality of grapes. *Acta Horticulturae*, 206: 23-47. doi:10.17660/ACTAHORTIC.1987.206.1
- Coombe B. 1976. The development of fleshy fruits. *Annual. Review. Plant Physiology*, 27:207-228. doi:10.1146/annurev. pp27.060176.001231
- Coombe B, Hale C. 1973. The hormone content of ripening grape berries and the effects of growth substance treatments. *Plant Physiology*, 51: 629–634. doi:10.1104/pp.51.4.629
- Coombe B. 1962. The effect of removing leaves, flowers and shoot tips on fruit-set in *Vitis vinifera* L. *Journal of Horticultural Science*, 37: 1-15.
- Corino L, Ruaro P, Renosio G, Rabino M, Malerba, G. 1991. Esperienze di diradamento dei grappoli sul vitigno Barbera in alcuni ambienti del Monferrato. *Vignevini* 7 (8): 51-55.
- Correia MJ, Chaves MMC, Pereira JS. 1990. Afternoon depression in photosynthesis in grapevine leaves—evidence for a high light stress effect. *Journal of Experimental Botany*, 41(4): 417-426. doi:10.1093/jxb/41.4.417
- Daborn PJ, Yen JL, Bogwitz MR, Le Goff G, Feil E, Jeffers S, Wilson TG. 2002. A single P450 allele associated with insecticide resistance in *Drosophila*. *Science*, 297 (5590): 2253-2256. doi:10.1126/science.1074170
- Dai Z, Ollat N, Gomés E, Decroocq S, Tandonnet J, Bordenave L. 2011. Ecophysiological, genetic, and molecular causes of variation in grape berry weight and composition: a review. *American Journal Enology and Viticulture*. 62(4): 413-425. doi:10.5344/ajev.2011.10116
- Davies C, Bottcher C. 2009. Hormonal Control of grape berry ripening. En: Prof. Dr. Kalliopi A. Roubelakis-Angelakis (ed). *Grapevine Molecular Physiology and Biotechnology*, 2nd edn. Commonwealth, Australia. Scientific and Industrial Research Organisation Plant Industry. 229-261.
- Davies C, Robinson SP. 1996. Sugar accumulation in grape berries (cloning of two putative vacuolar invertase cDNAs and their expression in grapevine tissues). *Plant Physiology*, 111(1): 275-283.
- De Lorimier AA. 2000. Alcohol, wine, and health. *The American Journal of Surgery*, 180(5): 357-361. doi:10.1016/S0002-9610(00)00486-4

- Deloire A. 2013. Predicting harvest date using berry sugar accumulation. [En línea] Practical Winery and Vineyard journal, 1-3. Consultado 2 de febrero de 2021. Disponible en: <https://www.vivelys.com/sites/default/files/publications/articles/2013-05%20Predicting%20harvest%20date%20using%20berry%20sugar%20accumulation%20-%20PWV.pdf>
- Deloire A, Carbonneau A, Wang Z, Ojeda H. 2006. Vid y agua. Una breve revisión. Revista Enología. (5): 36-42.
- Deloire A, Vaudour E, Carey V A, Bonnardot V, van Leeuwen C. 2005. Grapevine responses to terroir: a global approach. Oeno One, 39(4): 149-162. doi:10.20870/oenone.2005.39.4.888
- Diago MP, Ayestaran B, Guadalupe Z, Garrido A, Tardáguila J. 2012. Phenolic composition of Tempranillo wines following early defoliation of the vines. Journal of the Science of Food and Agriculture, 92: 925-934. doi:10.1002/jsfa.4671
- Diago MP. 2010. Estudio y desarrollo del deshojado precoz como técnica para el control del rendimiento productivo de la vid (*Vitis vinífera* L.). Efectos sobre el desarrollo vegetativo, los componentes de la producción, así como sobre la composición y la calidad de la uva y del vino. Tesis doctoral. La Rioja, España. Universidad de la Rioja. 328 p.
- Di Rienzo JA, Guzmán AW, Casanoves F. 2002. A multiple-comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree. Journal of agricultural, biological, and environmental statistics, 7(2): 129-142. doi:10.1198/10857110260141193
- Dittrich HH. 1989. Die Veränderungen der Beereninhaltsstoffe und der Weinqualität durch *Botrytis cinerea* – Übersichtsreferat. Die Wein-Wissenschaft, 44: 105–131.
- Dokoozlian NK, Hirschfeld DJ. 1995. The influence of cluster thinning at various stages of fruit development on Flame Seedless Table Grapes. American Journal of Enology and Viticulture, 46:429-436.
- Downey M, Harvey J, Robinson S. 2004 The effect of bunch shading on berry development and flavonoid accumulation in Shiraz grapes. Australian Journal of Grape and Wine Research 10 (1):55–73.
- Downey M, Harvey J, Robinson S. 2003. Synthesis of flavonols and expression of flavonol synthase genes in the developing grape berries of Shiraz and Chardonnay (*Vitis*

- vinifera L.). Australian Journal Grape and Wine Research. 9(2): 110-121. doi:10.1111/j.1755-0238.2003.tb00261.x
- Dry PR, Longbottom ML, McLoughlin S, Johnson TE, Collins C. 2010. Classification of reproductive performance of ten winegrape varieties. Australian Journal of Grape and Wine Research, 16: 47-55. doi:10.1111/j.1755-0238.2009.00085.x
- Duncan RA, Stapleton JJ, Leavitt GM. 1995. Population dynamics of epiphytic mycoflora and occurrence of bunch rots of wine grapes as influenced by leaf removal. Plant Pathology, 44: 956-965. doi:10.1111/j.1365-3059.1995.tb02653.x
- Easlon HM, Bloom AJ. 2014. Easy Leaf Area: Automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area. Applications in plant sciences, 2(7): 1400033. doi:10.3732/apps.1400033
- Echeverría G, Ferrer M, Mirás-Ávalos JM. 2017a. Quantifying the relative impact of physical and human factors on the viticultural expression of terroir. International Journal of Environmental and Agriculture Research 3, (4): 12-24
- Echeverría G, Ferrer M, Mirás-Ávalos J. 2017b. Effects of soil type on vineyard performance and berry composition in the Río de la Plata coast (Uruguay). Oeno One, 51(3):251-261. doi:10.20870/oeno-one.2017.51.2.1829
- Echeverría G. 2017. Adaptación agroecológica de la vid en los terroirs costeros de Uruguay. Tesis Doctorado en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República, Facultad de Agronomía. 220 p.
- Echeverría G, Ferrer M, Alonso-Suárez R, Mirás-Avalos JM. 2016. Spatial and Temporal Distribution of Solar Irradiation in Río de la Plata Coast and Its Relationship with Climate Variables of Interest for Viticultural Production. International Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 3(4): 22-33.
- Echeverría G. 2010. Delimitación de Terroirs vitícola en el entorno de la ciudad de Salto. [En línea]. 86 p. Consultad: 24 de abril del 2021. Disponible en: http://www.sitioftp.com/Stagnari/Informe_Terroir.pdf
- Elad Y, Williamson B, Tudzynski P, Delen N. 2007. Botrytis: biology, pathology and control. Springer Science & Business Media. 412 p.
- Elad Y. 1994. Biological control of grape grey mould by *Trichoderma harzianum*. Crop protection, 13(1): 35-38. doi :10.1016/0261-2194(94)90133-3

- Elerd G. 2010. Estudio de las técnicas culturales en la modificación del microclima de la canopia y el racimo y su influencia sobre la composición de la uva y el mosto en cv. Tannat. Tesis Ingeniero Agrónomo. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 188p.
- Elmer PA, Michailides TJ. 2004. Epidemiology of *Botrytis cinerea* in orchard and vine crops. Pages 243-272. En: Y. Elad, B. Williamson, P. Tudzynski, and N. Delen (eds.). *Botrytis: Biology, Pathology and Control*. The Netherlands. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht 428p.
- English JT, Bledsoe AM, Marois JJ. 1989. Influence of leaf removal from the fruit cluster zone on the components of evaporative potential within grapevine canopies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 31(1): 49-61.
- Escalona JM, Bota J, Medrano H. 2015. Distribution of leaf photosynthesis and transpiration within grapevine canopies under different drought conditions. *Vitis*, 42(2): 57. doi:10.5073/vitis.2003.42.57-64
- Etchebarne F, Ojeda H, Hunter J J. 2010. Leaf: fruit ratio and vine water status effects on Grenache Noir (*Vitis vinifera* L.) berry composition: water, sugar, organic acids and cations. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 31 (2): 106-115.
- Fanzone M, Zamora F, Jofré V, Assof M, Peña-Neira Á. 2011. Phenolic composition of Malbec grape skins and seeds from Valle de Uco (Mendoza, Argentina) during ripening. Effect of cluster thinning. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(11): 6120-6136. doi:10.1021/jf200073k
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2020. FAOSTAT- Producción agrícola [En línea]. Consultado 17 mayo 2021. Disponible en: Page 4 <http://faostat.fao.org/site/636/DesktopDefault.aspx?PageID=636#ancor>.
- Farr DF, Castlebury LA, Rossman AY, Erincik, O. 2001. *Greeneria uvicola*, cause of bitter rot of grapes, belongs to the Diaporthales. *SYDOWIA-HORN-*, 53(2): 185-210.
- Feng H, Yuan F, Skinkis PA, Qian MC. 2015. Influence of cluster zone leaf removal on Pinot noir grape chemical and volatile composition. *Food Chemistry*, 173: 414-423. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.09.149.
- Fermaud M, Valdés-Gómez H, Calonnec A, Roudet J, Gary C. 2008. A multivariate analysis of combined effects of (micro) climate, vegetative and reproductive growth on gray mould incidence in grapevine. *Integrated Protection in Viticulture*, 36: 91-94.

- Ferrer M, Pereyra G, Salvarrey J, Arrillaga L, Fourment M. 2020a. 'Tannat' (*Vitis vinifera* L.) as a model of responses to climate variability. *Vitis: Journal of Grapevine Research*, 59 (1): 41-46. doi:10.5073/vitis.2020.59.41-46
- Ferrer M, Echeverría G, Pereyra G, González-Neves G, Pan D, Mirás-Avalos JM. 2020b. Mapping vineyard vigor using airborne remote sensing: relations with yield, berry composition and sanitary status under humid climate conditions. *Precision Agriculture*, 21(1): 178-197. doi:10.1007/s11119-019-09663-9
- Ferrer M, Echeverría G, Miras-Ávalos JM. 2017. Meteorological conditions: Influence on yield, sanitary status and grape composition. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, 3(8), 16-27.
- Ferrer M, Echeverría G, González-Neves G. 2015. Influence of the microclimate defined by the Training System on the vineyard behaviour and the oenological quality of Merlot Grapes. *International Journal of Agricultural Sciences and Natural resources*, 2(4):95-108. 10.13140/RG.2.1.1828.3366
- Ferrer M, Echeverría G, Carbonneau A. 2014. Effect of berry weight and its components on the contents of sugars and anthocyanins of three varieties of *Vitis vinifera* L. under different water supply conditions. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 35 (1):103-113.
- Ferrer M, González-Neves G, Echeverría G, Camussi G, Avondet R, Salvarrey J, Fourment M. 2011a. Comportamiento agronómico y potencial enológico de la uva Tannat en tres regiones climáticas uruguayas. *Agrociencia Uruguay*, 15(1): 37-49.
- Ferrer M, González-Neves G, Echeverría G, Camussi G, Carbonneau A. 2011b. Influence de la variété, L'architecture de la plante et la méthode de taille d'hiver sur la pourriture de grappe de la vigne. *Progres Agricole et Viticole*, 128(18): 367-371.
- Ferrer M, Camussi G, González-Neves G, Echeverría G, Montaña A. 2009. Condiciones predisponentes para las podredumbres de racimo. *Enología*, 6(4): 46.
- Ferrer M, González-Neves G, Priore E, Montaña A, Carbonneau A. 2008. Los componentes del rendimiento, la expresión vegetativa y los indicadores fisiológicos de *Vitis vinifera* L. cv Merlot en función de la arquitectura de la planta. *Agrociencia Uruguay*, 12 (1): 6-19.
- Ferrer M. 2007. Étude du climat des régions viticoles de l'Uruguay, des variations climatiques et de l'interaction apportée par le microclimat et l'écophysiologie des systèmes de conduite Espalier et Lyre sur Merlot. PhD Thesis, École Nationale Supérieure Agronomique Université de Montpellier II, France. 385p.

- Ferrer M, González-Neves G. 2002. Resultados enológicos y productivos de la aplicación de diversas alternativas de raleo de racimos y distintas intensidades de poda invernal en *Vitis vinifera* L. cv. Tannat. *Agrociencia Uruguay*, 6(1): 53-62.
- Ferrer M, González-Neves G, Burgueño J, Gabard Z, Camussi G. 1997. Influencia de la intensidad de la poda y el raleo de racimos sobre la relación fuente-fosa en *Vitis vinifera* L. cv. Tannat. En: *Congreso Mundial de la Viña y el Vino*. (22º, 1997, Buenos aires, Argentina). *Actas.OIV*. Buenos Aires- Argentina. 427p.
- Ferrer M, González Neves G, García L, Gabard Z. 1995.Efecto de diferentes técnicas de manejo de la planta en la composición de mostos y vinos del cv. Tannat. En: *Congreso Mundial de la Viña y el Vino* (21º,1995, Punta del Este, Montevideo). *Actas.OIV*. Punta del Este, Uruguay. Ed OIV.430p.
- Figari B, Manuel, J. 1999. Efecto de aplicaciones foliares de calcio y magnesio sobre la condición y calidad en fruta uva de mesa (*Vitis vinifera*) cv. Thompson seedless. INIA F471. Chile. 56p
- Flanzy C. 2003. *Enología: Fundamentos científicos y tecnológicos*. 2ª ed. Madrid, España: Mundi-Prensa Libros. 219 p.
- Forbes SL, Cohen DA, Cullen R, Wratten SD, Fountain J, 2009. Consumer attitudes regarding environmentally sustainable wine: an exploratory study of the New Zealand marketplace. *Journal of Cleaner Production*, 17: 1195-1199. doi: 10.1016/j.jclepro.2009.04.008
- Fourment M, Ferrer M, Barbeau G, Quénot H. 2020. Local Perceptions, Vulnerability and Adaptive Responses to Climate Change and Variability in a Winegrowing Region in Uruguay. *Environmental Management*, 66(4) : 590-599. doi :10.1007/s00267-020-01330-4.
- Fourment M, Ferrer M, Quénot H. 2013. *Vitis vinifera* L. cv. Tannat: respuesta a la variabilidad climática. *Agrociencia Uruguay*, 17(2): 45-54.
- Fraga H, Malheiro AC, Moutinho-Pereira J, Santos JA. 2012. An overview of climate change impacts on European viticulture. *Food and Energy Security*, 1(2): 94-110. doi:10.1002/fes3.14
- Fremont L. 2000. Biological effects of resveratrol. *Life sciences*, 66(8): 663-673. doi:10.1016/S0024-3205(99)00410-5

- Frioni T, Acimovic D, Tombesi S, Sivilotti P, Palliotti A, Poni S, Sabbatini, P. 2018. Changes in within-shoot carbon partitioning in Pinot noir grapevines subjected to early basal leaf removal. *Frontiers in Plant Science*, 9: 11-22. doi:10.3389/fpls.2018.01122
- Frioni T, Zhuang S, Palliotti A, Sivilotti P, Falchi R, Sabbatini P. 2017. Leaf removal and cluster thinning efficiencies are highly modulated by environmental conditions in cool climate viticulture. *American Journal of Enology and Viticulture*, 68(3): 325-335. doi:10.5344/ajev.2017.16098
- Gallet P. 1977. Les maladies et les parasites de la vigne. Tome I. Montpellier. Du paysan du midi. 871p.
- Garde-Cerdán T, Gutiérrez-Gamboa G, Fernández-Novales J, Pérez-Álvarez EP, Diago MP. 2018. Towards the definition of optimal grape harvest time in Grenache grapevines : Nitrogenous maturity. *Scientia Horticulturae*, 239: 9-16. doi: 10.1016/j.scienta.2018.05.014
- Garmendia G, Vero S. 2016. Occurrence and biodiversity of *Aspergillus* section *Nigri* on 'Tannat'grapes in Uruguay. *International Journal of Food Microbiology*, 216: 31-39. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2015.08.020
- Gatti M, Bernizzoni F, Civardi S, Poni S. 2012. Effects of cluster thinning and pre-flowering leaf removal on growth and grape composition in cv. Sangiovese. *American Journal of Enology and Viticulture*, 63 (3): 335-332. doi:0.5344/ajev.2012.11118.
- Gepp V, Vero S, Cassanello ME, Romero G, Silvera E, González P, Bentancur O. 2012. Resistencia a fungicidas en *Botrytis cinerea* en el Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 16(1): 97-107.
- Gil JM, Gracia A, Sánchez M. 2000. Market segmentation and willingness to pay for organic products in Spain. *International Food and Agribusiness Management Review*, 3: 207-226.
- Gil M, Pilar y Knopp, D. 2020. Acciones para una vitivinicultura sustentable e inocua [En línea]. Consultado: 8 abril 2021. Santiago: Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/31183>.
- Gil M, Pascual O, Gómez-Alonso S, García-Romero E, Hermosín-Gutiérrez I, Zamora F, Canals JM. 2015. Influence of berry size on red wine colour and composition. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 21: 200-212. doi:10.1111/ajgw.12123

- Giménez A, Castaño JP, Baethgen W, Lanfranco B. 2009. Cambio climático en Uruguay, posibles impactos y medidas de adaptación en el sector agropecuario. [En línea] línea (No. 929-2016-74306). Consultado 14 enero 2021. Disponible en: <https://ageconsearch.umn.edu/record/198303/>
- Glories Y, Augustin M. 1993. Maturité phénolique du raisin, conséquences technologiques : application aux millésimes 1991 et 1992 (Phenolic maturity of grapes, technological consequences : Application to 1991 and 1992 vintages). En: *Proceedings of the journée technique. CIVB, Bordeaux, France*. 56-61.
- Glories Y. 1984. La couleur des vins rouges. 1re partie : les équilibres des anthocyanes et des tanins. *OENO One*, 18(3): 195–217. doi:10.20870/oeno-one.1984.18.3.1751
- Golan R, Gepner Y, Shai I. 2019. Wine and health–new evidence. *European Journal of Clinical Nutrition*, 72(1): 55-59. doi:10.1038/s41430-018-0309-5
- Gómez del Campo M, Ruiz C, Baeza P, Lissarrague JR. 2003. Drought adaptation strategies of four grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.): modification of the properties of the leaf area. *OENO One*, 37(3): 131-143. doi:10.20870/oeno-one.2003.37.3.950
- González-Neves G, Ferrer M. 2008. Efectos del sistema de conducción y del raleo de racimos en la composición de uvas Merlot. *Agrociencia Uruguay*, 12 (2): 10-18.
- González-Neves G. 2005. Etude de la composition polyphénolique des raisins et des vins des cépages Merlot, Cabernet-Sauvignon et Tannat provenant de vignes conduites en Lyre et en Espalier dans le sud de l'Uruguay. Thèse doctorat. Montpellier. Ecole nationale supérieure agronomique. 281 p.
- González-Neves G, Charamelo D, Balado J, Barreiro L, Bochicchio R, Gatto G, Moutounet M. 2004. Phenolic potential of Tannat, Cabernet-Sauvignon and Merlot grapes and their correspondence with wine composition. *Analytica Chimica Acta*, 513(1): 191-196. doi: 10.1016/j.aca.2003.11.042
- González-Neves G, Gil G, Ferrer M. 2002. Effect of different vineyard treatments on the phenolic contents in Tannat (*Vitis vinifera* L.) grapes and their respective wines. *Food Science Technology International*. 8 (5): 315-317. doi:10.1106/108201302031115
- González-Neves G, González-San José ML, Contreras MJ, Barreiro L, Bochicchio R, Gatto G, Gil G, Tessore A. 1998. Estudio comparado de parámetros cromáticos y composición fenólica en vinos tintos de Uruguay y de la D.O. Ribera del Duero

- (España). En: *Compte Rendu de Enología del XXIII*. Lisboa: Congreso Mundial de la Viña y el Vino, 397-404.
- González V, Tello ML. 2011. The endophytic mycota associate with *Vitis vinifera* in central Spain. *Fungal Diversity*, 47: 29-42. doi :10.1007/s13225-010-0073-x
- González-San José ML, Díez C. 1993. Caracterización varietal en función de la composición antocianica de la uva: análisis discriminante. *Agrochimica*, 37 (2): 86-92.
- Greer DH. 2013. The impact of high temperatures on *Vitis vinifera* cv. Semillon grapevine performance and berry ripening. *Frontiers in Plant Science*, 4, 491. doi:10.3389/fpls.2013.00491
- Greer DH, Weedon MM. 2012. Modelling photosynthetic responses to temperature of grapevine (*Vitis vinifera* cv. Semillon) leaves on vines grown in a hot climate. *Plant, Cell and Environment*, 35(6): 1050-1064. doi:10.1111/j.1365-3040.2011.02471.x
- Greer DH, Weston C, 2010. Heat stress affects flowering, berry growth, sugar accumulation and photosynthesis of *Vitis vinifera* cv. Semillon grapevines grown in a controlled environment. *Functional Plant Biology*, 37: 206-214. doi:10.1071/FP09209
- Gubler WD, Bettiga LJ, Heil D. 1991. Comparisons of hand and machine leaf removal for the control of Botrytis bunch rot. *American Journal of Enology and Viticulture*, 42(3): 233-236.
- Gubler WD, Marois JJ, Bledsoe AM, Bettiga LJ. 1987. Control of Botrytis bunch rot of grapes with canopy management. *Plant Disease*, 7: 599 - 601.
- Guerzoni E, Marchetti R. 1987. Analysis of yeast flora associated with grape sour rot and of the chemical disease markers. *Applied and Environmental Microbiology*, 53 (3): 571-576. doi:10.1128/aem.53.3.571-576.1987
- Guidoni S, Oggero G, Cravero S, Rabino M, Cravero MC, Balsari P. 2008. Manual and mechanical leaf removal in the bunch zone (*Vitis vinifera* L., cv Barbera): effects on berry composition, health, yield and wine quality, in a warm temperate area. *OENO One*, 42(1): 49-58. doi:10.20870/oeno-one.2008.42.1.831
- Guidoni S, Allara P, Schubert A. 2002 Effect of cluster thinning on berry skin anthocyanin composition of *Vitis vinifera* cv. Nebbiolo. *American Journal of Enology and Viticulture* 53: 224-226.
- Guilford JM, Pezzuto JM. 2011. Wine and health: A review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 62 (4): 471-486. doi:10.5344/ajev.2011.11013

- Guilpart N, Metay A, Gary C. 2014. Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. *European Journal of Agronomy*, 54, 9-20.
- Gullino ML, Kuijpers LAM. 1994 Social and political implications of managing plant diseases with restricted fungicides in Europe. *Annual Review of Phytopathology*, 32: 559–581.
- Hale C. 1977. Relation between potassium and the malate and tartrate contents of grape berries. *Vitis*, 16: 9–19.
- Hale C, Weaver R. 1962. The effect of developmental stage on direction of translocation of photosynthate in *Vitis vinifera*. *Hilgardia*, 33(3): 89-131. doi: 10.3733/hilgv33n03p039
- Hall ME, Loeb GM, Cadle-Davidson L, Evans K J, Wilcox WF. 2018a. Grape sour rot: a four-way interaction involving the host, yeast, acetic acid bacteria, and insects. *Phytopathology*, 108(12): 1429-1442. doi:10.1094/PHYTO-03-18-0098-R
- Hall ME, Loeb GM, Wilcox WF. 2018b. Control of sour rot using chemical and canopy management techniques. *American Journal of Enology and Viticulture*, 69(4): 342-350.
- Hed B, Ngugi HK, Travis JW. 2015. Short-and long-term effects of leaf removal and gibberellin on Chardonnay grapes in the Lake Erie region of Pennsylvania. *American Journal of Enology and Viticulture*, 66(1): 22-29. doi:10.5344/ajev.2014.14034
- Hed B, Ngugi HK, Travis JW. 2009. Relationship between cluster compactness and bunch rot in Vignoles grapes. *Plant disease*, 93(11): 1195-1201. doi:10.1094/PDIS-93-11-1195
- Hernández-Hierro JM, Quijada-Morín N, Martínez-Lapuente L, Guadalupe Z, Ayestarán B, Rivas-Gonzalo JC, Escribano-Bailón M T. 2014. Relationship between skin cell wall composition and anthocyanin extractability of *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo at different grape ripeness degree. *Food Chemistry*, 146: 41-47. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.09.037
- Hilbert G, Soyer JP, Giraudon J, Milin S, Gaudillère JP. 2003. Effects of nitrogen supply on must quality and anthocyanin accumulation in berries of cv. Merlot. *Vitis*, 42(2), 69-76. doi:10.5073/vitis.2003.42.69-76

- Holz G, Coertze S, Williamson B. 2007. The ecology of Botrytis on plant surfaces. En: Botrytis: Biology, pathology and control Springer, Dordrecht. pp. 9-27.
- Howell GS. 2001. Sustainable grape productivity and the growth-yield relationship: A review. American Journal of Enology and Viticulture, 52(3): 165-174.
- Howell GS, Candolfi-Vasconcelos M C, Koblet W. 1994. Response of Pinot noir grapevine growth, yield, and fruit composition to defoliation the previous growing season. American Journal of Enology and Viticulture, 45(2): 188-191.
- Huglin P, Schneider C. 1998. Biologie et e'cologie de la vigne. Paris: Tech and Doc, Lavoisier eds.370p.
- Huglin P. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. 1978. En : *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, Académie d'agriculture de France. pp.1117-1126.
- Hunter JJ, Tarricone L, Volschenk C, Giacalone C, Melo MS, Zorer R. 2020. Grapevine physiological response to row orientation-induced spatial radiation and microclimate changes. OENO One, 54(2): 411-433. doi:10.20870/oeno-one.2020.54.2.3100
- Hunter JJ. 2000 Implication of seasonal canopy management and growth compensation in grapevine. South African Journal of Enology and Viticulture, 21 (2):81-91. doi:10.21548/21-2-2215
- Hunter JJ, Ruffner HP, Volschenk CG, Le Roux DJ. 1995. Partial defoliation of Vitis vinifera L. cv. Cabernet Sauvignon/99 Richter: effect on root growth, canopy efficiency; grape composition, and wine quality. American Journal of Enology and Viticulture, 46(3):306-314.
- Hunter JJ, Visser JH. 1990. The Effect of Partial Defoliation on Growth Characteristics of Vitis vinifera L. cv. Cabernet Sauvignon II Reproductive Growth. South African Journal of Enology and Viticulture, 11(1): 26-32.
- Hunter JJ, Visser JH. 1989. The Effect of Partial Defoliation, Leaf Position and Developmental Stage of the Vine on Leaf Chlorophyll Concentration in Relation to the Photosynthetic Activity and Light Intensity in the Canopy of Vitis vinifera L. cv. Cabernet Sauvignon. South African Journal of Enology and Viticulture, 10(2): 67-73.
- Iacono F, Bertamini M, Porro D, Stefanini M. 1991. Rapporto tra i livelli di variabilità della struttura vegeto-produttiva della vite e risultati quanti-qualitativi del diradamento. Vignevini 10: 49-54.
- IARC (International Agency for Research on Cancer). 1993. Some naturally occurring substances: food items and constituents, heterocyclic aromatic amines and

- mycotoxins. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans vol. 56. IARC, Lyon.
- Intrieri C, Filippetti I, Allegro G, Centinari M, Poni S. 2008. Early defoliation (hand vs mechanical) for improved crop control and grape composition in Sangiovese (*Vitis vinifera* L.). *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 14 : 25–32. doi:10.1111/j.1755-0238.2008.00004.x
- Ipach R, Huber B, Hofmann H, Baus O, 2005. *Richtlinie zur Prüfung von Wachstumsregulatoren zur Auflockerung der Traubenstruktur und zur Vermeidung von Fäulnis an Trauben*. Outline for an EPPO guideline.
- Jackson DI, Lombard PB. 1993 Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality-a review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 44(4): 409-430.
- Jaspers MV, Seyb AM, Trought, MC, Balasubramaniam R. 2016. Necrotic grapevine material from the current season is a source of *Botrytis cinerea* inoculum. *European Journal of Plant Pathology*, 144(4): 811-820. doi:10.1007/s10658-015-0726-4
- Jean D, Lapointe L. 2001. Limited carbohydrate availability as a potential cause of fruit abortion in *Rubus chamaemorus*. *Physiology Plant*, 112:379–387
- Jermi M, Blaise P, Gessler C. 2010. Quantitative effect of leaf damage caused by downy mildew (*Plasmopara viticola*) on growth and yield quality of grapevine 'Merlot' (*Vitis vinifera*). *Vitis*, 49(2): 77-85. doi:10.5073/vitis.2010.49.77-85.
- Jones GV. 2018 The Climate Component of Terroir. *Elements*, 14 (3): 167–172. doi: 10.2138/gselements.14.3.167
- Kader AA. 1994. Regulation of fruit physiology by controlled/modified atmospheres. *Acta Horticulturae*, 398: 59-70.
- Kaps ML, Cahoon GA. 1989. Berry thinning and cluster thinning influence vegetative growth, yield, fruit composition, and net photosynthesis of Seyval blanc grapes. *Journal of the American Society for Horticultural Science (USA)*, 114:20-24.
- Keller M, 2015. *The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology*, second edition. Washington. Academic Press Ed. 509 p.
- Keller M, Smithyman RP, Mills LJ. 2008. Interactive effects of deficit irrigation and crop load on Cabernet Sauvignon in an arid climate. *American Journal of Enology and Viticulture*, 59(3): 221-234.

- Keller M, Mills LJ, Wample RL, Spayd SE. 2005. Cluster thinning effects on three deficit-irrigated *Vitis vinifera* cultivars. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56 (2): 91-103.
- Keller M, Viret O, Cole M. 2003. Botrytis cinerea infection in grape flowers: Defence reaction, latency and disease expression. *Phytopathology*:316-322. doi:10.1094/PHYTO.2003.93.3.316
- Keller M, Steel CC, Creasy GL. 2000. Stilbene accumulation in grapevine tissues: developmental and environmental effects. *Acta Horticulturae*, 514: 275-286 doi:10.17660/actahortic.2000.514.33
- Kennedy J. 2002. Understanding grape berry development. *Practical winery & vineyard*, 4: 1-5.
- Kliewer M, Dokoozlian N K, 2005. Leaf area/crop weight ratios of grapevines: influence on fruit composition and wine quality. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56: 170–181.
- Kliewer M, Smart RE. 1989. Canopy manipulation for optimizing vine microclimate, crop yield and composition of grapes. In: Wright, C.J. (Ed.), *Manipulation of Fruiting*. Butterworth & Co. Publishers, 275–291 pp.
- Kliewer M, Bledsoe A. 1986. Influence of hedging and leaf removal on canopy microclimate, grape composition, and wine quality under California conditions. *Acta Horticulturae*, 206: 157-168.
- Kliewer M, Weaver J. 1971. Effect of crop level and leaf area on growth, composition and coloration of 'Tokay' grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 22:172-177.
- Kliewer M. 1970. Effect of time and severity of defoliation on growth and composition of Thompson Seedless grapes. *American Journal of Enology and Viticulture* 21: 37-47.
- Kliewer M, Antcliff AJ. 1970. Influence of defoliation, leaf darkening, and cluster shading on the growth and composition of Sultana grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 21(1): 26-36.
- Kliewer M, Lider A. 1970. Effects of day temperature and light intensity on growth and composition of *Vitis vinifera* L. fruits. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 95: 766-9.
- Kliewer M. 1967. Concentration of tartrates, malates, glucose and fructose in the fruits of the genus *Vitis*. *American Journal of Enology and Viticulture*. 18: 87–96.

- Kliewer M, Schultz HB. 1964 Influence of environment on metabolism of organic acids and carbohydrates in *Vitis vinifera*. II. Light. American Journal of Enology and Viticulture 15, 119-129.
- Koblet W, Candolfi-Vasconcelos MC, Zweifel W, Howell GS. 1994. Influence of leaf removal, rootstock, and training system on yield and fruit composition of Pinot noir grapevines. American Journal of Enology and Viticulture, 45(2): 181-187.
- Kotseridis Y, Georgiadou A, Tikos P, Kallithraka S, Koundouras, S. 2012. Effects of severity of post-flowering leaf removal on berry growth and composition of three red *Vitis vinifera* L. cultivars grown under semiarid conditions. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60(23): 6000-6010. doi:10.1021/jf300605j
- Kriedemann P. 1968. Photosynthesis in vine leaves as function of light intensity, temperature, and leaf age. Vitis 7: 213-220. doi:10.5073/vitis.1968.7.213-220
- Kuhn N, Guan L, Dai Z W, Wu B H, Lauvergeat V, Gomès E, Li S H, Godoy F, Johnson P, Delrot S, 2014. Berry ripening: recently heard through the grapevine. Journal of Experimental Botany, 65: 4543–4559. doi:10.1093/jxb/ert395
- Ky I, Lorrain B, Jourdes M, Pasquier G, Fermaud M, Geny L, Rey P, Doneche B, Teissedre P L. 2012 Assessment of grey mold (*Botrytis cinerea*) impact on phenolic and sensory quality of Bordeaux grapes, musts and wines for two consecutive vintages. Australian Journal of Grape and Wine Research, 18: 215–226.
- Lamela CSP, Rezemini F, Bacino MF, Malgarim MB, Herter FG, da Silveira Pasa M. 2020. Dormancy dynamics of 'Tannat' grapes in warm-winter climate conditions. Agricultural and Forest Meteorology, 288, e108016.
- Latorre B, Elfar Aedo KD, Ferrada EE. 2016. Gray mold caused by *Botrytis cinerea* limits grape production in Chile. Ciencia e Investigación Agraria, 42 (3): 305-330.
- Latorre BA, Briceño EX, Torres R. 2011. Increase in *Cladosporium* spp. populations and rot of wine grapes associated with leaf removal. Crop Protection, 30:52-56.
- Latorre BA, Rioja ME. 2002. Efecto de la temperatura y de la humedad relativa sobre la germinación de conidias de *Botrytis cinerea*. Ciencia e Investigación. Agraria, 29:67-72.
- Lavee S. 2000. Grapevine (*Vitis Vinifera*) Growth and Performance in Warm Climates. En: Erez A. (eds) Temperate Fruit Crops in Warm Climates. Springer, Dordrecht. doi:10.1007/978-94-017-3215-4_12

- Lebon G, Wojnarowicz G, Holzapfel B, Fontaine F, Vaillant-Gaveau N, Clément C. 2008. Sugars and flowering in the grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Experimental Botany*, 59(10): 2565-2578. doi:10.1093/jxb/ern135
- Lebon G, Duchêne E, Brun O, Magné C, Clément C. 2004. Flower abscission and inflorescence carbohydrates in sensitive and non-sensitive cultivars of grapevine. *Sexual Plant Reproduction*, 17(2): 71-79. doi:10.1007/s00497-004-0217-9
- Lee SH, Seo MJ, Riu M, Cotta JP, Block DE, Dokoozlian NK, Ebeler SE. 2007. Vine microclimate and norisoprenoid concentration in Cabernet Sauvignon grapes and wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 58(3): 291-301.
- Lee J, Steenwerth KL. 2011. Rootstock and vineyard floor management influence on 'Cabernet Sauvignon' grape yeast assimilable nitrogen (YAN). *Food chemistry*, 127(3): 926-933. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.01.060
- Leighton FC, Castro C, Barriga E, Urquiaga I. 1997. Vino y Salud. Estudios epidemiológicos y posibles mecanismos de los efectos protectores. *Revista Medica de Chile* 125:483-491.
- Leroux P. 2004. Chemical control of Botrytis and its resistance to chemical fungicides. Pages 195- 222. In: Y. Elad, B. Williamson, P. Tudzynski, and N. Delen (eds.). *Botrytis: Biology, Pathology and Control*. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands: Dordrecht. 428 p.
- Liang Z, Wu B, Fan P, Yang C, Duan W, Zheng X, Li S. 2008. Anthocyanin composition and content in grape berry skin in *Vitis* germplasm. *Food Chemistry*, 111(4): 837-844. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.04.069
- Liu D, Howell K. 2021. Community succession of the grapevine fungal microbiome in the annual growth cycle. *Environmental Microbiology*, 23(4): 1842-1857.
- Liu D, Zhang P, Chen D, Howell K. 2019. From the vineyard to the winery: how microbial ecology drives regional distinctiveness of wine. *Frontiers in microbiology*, 10: 2679. doi:10.1111/1462-2920.15172
- Lohitnavy N, Bastian S, Collins C. 2010. Berry sensory attributes correlate with compositional changes under different viticultural management of Semillon (*Vitis vinifera* L.). *Food Quality and Preference*, 21(7): 711-719. doi: 10.1016/j.foodqual.2010.05.015.

- Loureiro ML, McCluskey JJ, Mittelhammer RC. 2002. Will consumers pay a premium for Eco-labelled apples? *Journal of Consumers Affairs*, 36 (2): 203-219.
- Marchetti R, Guerzoni E, Gentile M 1984. Research on the etiology of a new disease of grapes: sour rot. *Vitis*, 23:55–65
- Marois JJ, Nelson JK, Morrison JC, Lile LS, Bledsoe AM. 1986. The influence of berry contact within grape clusters on the development of *Botrytis cinerea* and epicuticular wax. *American Journal of Enology and Viticulture*, 37(4): 293-296.
- May P. 2004. Development and fertilization. En: *Flowering and Fruitset in Grapevines*. Adelaide, Australia. (Ed.) Lythrum Press, 63-72.
- Mayer AM, Staples RC. 2002. Laccase: new functions for an old enzyme. *Phytochemistry*, 60: 551–565.
- McGrew JR, Still GW. 1972. Control of grape apparently are involved. diseases and insects in the eastern United States. U.S. When the leaf wetness duration-temperature Dep. Agric., *Farmer's Bull.* 1893. 24 p.
- McCarthy M, Weight. 1999. Weight loss from ripening berries of Shiraz grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. Shiraz). *Australian Journal of Grape Wine Research*. 5:10-6. doi:10.1111/j.1755-0238.1999.tb00145.x
- McCullagh P, Nelder JA. 1989. Binary data. In: *Generalized linear models*. Springer US. 98-148.
- McEachern MG, McClean P. 2002. Organic purchasing motivations and attitudes: are they ethical? *International Journal of Consumers Studies*, 27 (2): 85-92.
- Medina-Albaladejo FJ, Martínez-Carrión JM, Ramon-Muñoz JM. 2014. El mercado mundial de vino y la competitividad de los países del hemisferio sur, 1961-2010. *América Latina en la historia económica*, 21(2): 40-83.
- Medrano H, Bota J, Cifre J, Flexas J, Ribas-Carbó M, Gulías J. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *España. Investigaciones geográficas* (43): 63-84.
- Miras-Ávalos JM, Buesa I, Yeves A, Perez D, Risco D, Castel JR, Intrigliolo D S. 2019. Unravelling the effects of berry size on 'tempranillo' grapes under different field practices. *Ciencia e Técnica Vitivinícola*, 34(1): 1-14.

- Mikota Gabler FM, Smilanick JL, Mansour M, Ramming DW, Mackey BE. 2003. Correlations of morphological, anatomical, and chemical features of grape berries with resistance to *Botrytis cinerea*. *Phytopathology* 93:1263-1273. doi.10.1094/PHYTO.2003.93.10.1263.
- Molitor D, Baus O, Hoffmann L, Beyer M. 2016. Meteorological conditions determine the thermal-temporal position of the annual *Botrytis* bunch rot epidemic on *Vitis vinifera* L. cv. Riesling grapes. *Oeno One*, 50(4): 231-244. doi.org. 10.20870/oeno-one.2016.50.4.36
- Molitor D, Behr M, Fischer S, Hoffmann L, Evers D. 2011. Timing of cluster-zone leaf removal and its impact on canopy morphology, cluster structure and bunch rot susceptibility of grapes. *OENO One*, 45(3): 149-159. doi.10.20870/oeno-one.2011.45.3.1495
- Molfino JH, Califra A. 2001. Agua disponible de las tierras del Uruguay. Segunda aproximación. División Suelos y Aguas. [En línea]. Dirección General de Recursos Naturales Renovables Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Consultado: 20 de diciembre 2020. Disponible en: http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/publicaciones/rec_nat/agua_disp_uru.pdf.
- Moreno D, Vilanova de la Torre MDM, Uriarte D, Mancha LA, Prieto M H, Valdés E. 2019. Efecto del deshojado precoz en la composición nitrogenada de la variedad Tempranillo cultivado en zona semiárida. [En línea] En: 3º Jornadas del Grupo de Viticultura. 94-98. Consultado 15 de abril 2021. Disponible en: https://digital.csic.es/bitstream/10261/175116/1/Vilanova_Efecto_deshojado...pdf.
- Mori K, Goto-Yamamoto N, Kitayama M, Hashizume K. 2007. Effect of high temperature on anthocyanin composition and transcription of flavonoid hydroxylase genes in 'Pinot noir' grapes (*Vitis vinifera*). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82(2): 199-206.
- Mori K, Sugaya S, Gemma H. 2005. Decreased anthocyanin biosynthesis in grape berries grown under elevated night temperature condition. *Scientia horticulturae*, 105(3): 319-330.
- Morrison-Whittle P, Goddard M. 2017. Fungal communities are differentially affected by conventional and biodynamic agricultural management approaches in vineyard ecosystems. *Agricultural Ecosystem Environmental*, 246: 306–313.

- Mota RVD, Souza CRD, Silva CPC, Freitas GDF, Shiga TM, Purgatto E, Regina MDA. 2010. Biochemical and agronomical responses of grapevines to alteration of source-sink ratio by cluster thinning and shoot trimming. *Bragantia*, 69(1): 17-25. doi:10.1590/s0006-87052010000100004
- Mundy DC. 2008. A review of the direct and indirect effects of nitrogen on botrytis bunch rot in wine grapes. *New Zealand Plant Protection*, 61: 306-310. doi:10.30843/nzpp.2008.61.6841
- Murray R, Candan A, Vazquez E. 2019. Manual de poscosecha de frutas. Manejo integrado de patógenos. Buenos Aires. INTA ediciones. 58 p.
- Myers BJ. 1988. Water stress integral a link between short-term stress and long-term growth. *Tree Physiology*. 4: 315-323.
- Nair NG, Guilbaud-Oulton S, Barchia I, Emmett R. 1995. Significance of carry over inoculum, flower infection and latency on the incidence of *Botrytis cinerea* in berries of grapevines at harvest in New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 35(8): 1177-1180. doi:10.1071/EA9951177
- Nair NG, Allen RN. 1993. Infection of grape flowers and berries by *Botrytis cinerea* as a function of time and temperature. *Mycological Research*, 97(8): 1012-1014. doi:10.1016/S0953-7562(09)80871-X
- Navarrete F, Abreo E, Bettucci L, Martínez S, Lupo S. 2009. First report of *Greeneria uvicola* as cause of grapevine dead-arm dieback in Uruguay. *Australasian Plant Disease Notes*, 4(1) : 117-119. doi:10.1071/DN09048
- Nguyen DK, Slater SF. 2010. Hitting the sustainability sweet spot: having it all, *Journal of Business Strategy*, 31(3): 5-11. doi:10.1108/02756661011036655
- Nogueira WV, de Oliveira FK, Garcia S, Sibaja KVM, Tesser MB, Garda Buffon J. 2020. Sources, quantification techniques, associated hazards, and control measures of mycotoxin contamination of aquafeed. *Critical reviews in microbiology*, 46(1): 26-37. doi:10.1080/1040841X.2020.1716681

- Nowak L, Thach L, Olsen JE. 2006. Wowing the millennials: creating brand equity in the wine industry. *Journal of Product and Brand Management*. 15 (5): 316-323. doi:10.1108/10610420610685712
- OIV (Office International de la Vigne et du Vin). 2014. Recueil des méthodes internationales d'analyse des vins et des moûts. París, Francia. OIV. 930p.
- Ojeda H, Deloire A, Wang Z, Carbonneau A. 2008. Determinación y control del estado hídrico de la vid. Efectos morfológicos y fisiológicos de la restricción hídrica en vides. *Viticultura/ Enología Professional*, 90: 27-43.
- Ojeda H, Andary C, Kraeva E, Carbonneau A, Deloire A. 2002. Influence of pre- and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. *American Journal of Enology and Viticulture*. 53: 261–267.
- Ojeda H, Deloire A, Carbonneau A, Ageorges A, Romieu C. 1999. Berry development of grapevines: relations between the growth of berries and their DNA content indicate cell multiplication and enlargement. *Vitis*, 38(4): 145-150. doi :10.5073/vitis.1999.38.145-150
- Ollat N, Carde JP, Gaudillère JP, Barrieu F, Diakou-Verdin P, Moing A. 2002. Grape berry development : a review. *Oeno One*, 36(3): 109-131.
- Ortega-Regules A, Romero-Cascales I, Ros-García JM, López-Roca JM, Gómez-Plaza E. 2006. A first approach towards the relationship between grape skin cell-wall composition and anthocyanin extractability. *Analytica Chimica Acta*, 563(1-2):26-32.
- Pallioti A, Gatti M, Poni S. 2011. Early leaf removal to improve vineyard efficiency: gas exchange, source-to-sink balance, and reserve storage responses. *American Journal of Enology and Viticulture*, 62(2): 219-228.
- Pallioti A, Cartechini A. 2001. Photosynthetic light response curves in relation to illumination of adaxial and abaxial surfaces of sun and shade leaves of *Vitis vinifera* L. *Vitis*, 40(4): 175-177. doi:10.5073/vitis.2001.40.175-177
- Pallioti A, Cartechini A. 1998. Cluster thinning effects on yield and grape composition in different grapevine cultivars. *Acta Horticulturae* 512, 111-120 doi:10.17660/ActaHortic.2000.512.11
- Pañitur De La Fuente C, Valdés-Gómez H, Roudet J, Acevedo-Opazo C, Verdugo-Vásquez N, Araya-Alman M, Fermaud M. 2018. Classification of winegrape cultivars in Chile and France according to their susceptibility to *Botrytis cinerea* related to fruit

- maturity. Australian journal of grape and wine research, 24(2): 145-157. doi:10.1111/ajgw.12315
- Pastore C, Zenoni S, Torielli GB, Allegro G, Dal Santo S, Valentini G, Intrieri C, Pezzotti M, Filippetti I. 2011. Increasing the source/sink ratio in *Vitis vinifera* (cv Sangiovese) induces extensive transcriptome reprogramming and modifies berry ripening. BMC Genomics, 12(1): 631. doi:10.1186/1471-2164-12-631
- Pavan FG, Bigot E, Cargnus P, Zandigiacomo G. 2014. Influence of the carpophagous generations of the European grapevine moth *Lobesia botrana* on grape bunch rots. Phytoparasitica 42:61–69. doi:10.1007/s12600-013-0338-5
- Pearcy RW. 1991. Radiation and light measurements En: R.W. Pearcy, J. Ehleringer, H.A. Mooney, and P.W. Rundel. (eds.). Plant physiological ecology: Field methods and instrumentation., New York, USA, Chapman and Hall. 97-116
- Percival DC, Fisher KH, Sullivan J A. 1994. Use of fruit zone leaf removal with *Vitis vinifera* L. cv. Riesling grapevines. II. Effect on fruit composition, yield, and occurrence of bunch rot (*Botrytis cinerea* Pers.: Fr.). American Journal of Enology and Viticulture. 45: 133–139.
- Petrie PR, Trought MC, Howell GS, Buchan GD. 2003. The effect of leaf removal and canopy height on whole-vine gas exchange and fruit development of *Vitis vinifera* L. Sauvignon Blanc. Functional plant biology, 30(6): 711-717.
- Petrovic G, Kidd M, Buica A. 2019. A statistical exploration of data to identify the role of cultivar and origin in the concentration and composition of yeast assimilable nitrogen. Food Chemistry, 276: 528-537. doi :10.1016/j.foodchem.2018.10.063
- Peynaud E. 1947. Étude sur les acides organiques du raisin et du vin. Bulletin de l'OIV, Paris, 20(191):34-51.
- Piccardo D. 2008. Estudio de la incidencia del microclima y de la gestión del follaje sobre el crecimiento vegetativo, la maduración y la sanidad de *Vitis vinífera*, cv. Tannat. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 120 p
- Poni S, Gatti M, Palliotti A, Dai Z, Duchêne E, Truong TT, Tombesi S. 2018. Grapevine quality: A multiple choice issue. Scientia horticulturae, 234: 445-462. doi: 10.1016/j.scienta.2017.12.035

- Poni S, Bernizzoni F, Civardi S, Libelli N. 2009. Effects of pre-bloom leaf removal on growth of berry tissues and must composition in two red *Vitis vinifera* L. cultivars. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 15(2): 185-193. doi:10.1111/j.1755-0238.2008.00044.x
- Poni S, Bernizzoni F, Civardi S, 2008. The effect of early leaf removal on whole canopy gas exchange and vine performance of *Vitis vinifera* L. cv. Sangiovese. *Vitis*, 47: 1–6. doi:10.5073/vitis.2008.47.1-6
- Poni S, Casalini L, Bernizzoni F, Civardi S, Intrieri C, 2006. Effects of early defoliation on shoot photosynthesis, yield components, and grape quality. *American Journal of Enology and Viticulture*. 57. 397-407.
- Poni S, Intrieri C, Silvestroni O, 1994. Interaction of leaf age, fruiting, and exogenous cytokinins in Sangiovese grapevines under non-irrigated conditions. I. Gas Exchange. *American Journal of Enology and Viticulture*, 45: 71-78.
- Possner DRE, Kliewer W M. 1985. Localization of acid, sugar, potassium and calcium in developing grape berries. *Vitis*, 24:229-240. doi:10.5073/vitis.1985.24.229-240.
- Porter ME, Van der Linde C. 1995. Green and competitive: ending the stalemate. *Harvard Business Review*, 72(3): 97-118.
- Portillo MDC, Franquès J, Araque I, Reguant C, Bordon A. 2016. Bacterial diversity of grenache and carignan grape surface from different vineyards at Priorat wine region (Catalonia, Spain). *International Journal of Food Microbiology*, 219: 56-63. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2015.12.002
- Pouget R. 1968. Nouvelle conception du seuil de croissance chez la vigne. *Vitis* (7) :201-205.
- Prendes LP, Merín MG, Andreoni MA, Ramirez M, Morata de Ambrosini VI. 2015. Mycobiota and toxicogenic *Alternaria* spp. strains in Malbec wine grapes from DOC San Rafael, Mendoza, Argentina. *Food Control*, 57: 122- 128. doi: 10.1016/j.foodcont.2015.03.041
- Preszler T, Schmit TM, Heuvel JEV. 2013. Cluster thinning reduces the economic sustainability of Riesling production. *American journal of Enology and Viticulture*, 64(3): 333-341. doi: 10.5344/ajev.2013.12123
- Ravaz L. 1909. Sur l'apoplexie de la vigne. *Progrès agricole et viticole*, 30 (45) : 547-579.

- Rebucci B, Poni S, Intrieri C, Magnanini E, Lakso AN. 1997. Effects of manipulated grape berry transpiration on post-veraison sugar accumulation. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 3(2): 57-65. doi:10.1111/j.1755-0238. 1997.tb00116.x
- Reynier A. 2005. *Manual de viticultura*. España, Mundipresna. 520 p
- Reynolds AG, Schlosser J, Sorokowsky D, Roberts R, Willwerth J, de Savigny C. 2007. Magnitude of viticultural and enological effects: II. Relative impacts of cluster thinning and yeast strain on composition and sensory attributes of Cardonnay Musqué. *American Journal of Enology and Viticulture*, 58: 25–41.
- Ribéreau-Gayon J, Riberau-Gayon P, Seguin G., 1980. Botrytis cinerea in enology. In: Coley-Smith, J.R., Verhoeff, K., Jarvis, W.R. (Eds.), *The biology of Botrytis*, edited by Academic Press., pp. 251-274.
- Ribéreau-Gayon J, Peynaud E, Ribéreau-Gayon P, Sudraud P. 1975. *Traité d'œnologie Sciences et techniques de la vigne. Caractères des vins, maturation du raisin, levures et bactéries*. Paris, Francia. Offset-Aubin. Vol 2. 556 p.
- Ribéreau-Gayon P, Dubourdieu D, Donèche B, Lonvaud A. 2006a. *Handbook of enology. Volume 1: The microbiology of wine and vinifications (2nd ed.)*. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.
- Ribéreau-Gayon P, Glories Y, Maujean, A, Dubourdieu, D. 2006b. *Handbook of enology. Volume 2: The chemistry of wine; stabilization and treatments (2nd ed.)*. West Sussex: John Wiley and Sons, Ltd.
- Ribéreau-Gayon P. 1982. Incidences œnologiques de la pourriture du raisin¹. *EPPO Bulletin*, 12(2) : 201-214.
- Ribéreau-Gayon P. 1968. *Les Composés phénoliques des végétaux*. Paris : Dunod. 254 p.
- Ribéreau-Gayon P, Stonestreet E. 1965. Determination of anthocyanins in red wine. *Bulletin de la Societe chimique de France*, 9: 2649-2652.
- Rienth M, Torregrosa L, Sarah G, Ardisson M, Brillouet JM, Romieu, C. 2016. Temperature desynchronizes sugar and organic acid metabolism in ripening grapevine fruits and remodels their transcriptome. *BMC Plant Biology*, 16(1): 1-23. doi :10.1186/s12870-016-0850-0
- Riou Ch, Pieri P, Le Clechz B. 1994 Consommation d'eau de la vigne en conditions hydriques non limitantes. *Formulation simplifies de la transpiration*. *Vitis* 33: 109-115.

- Risco D, Pérez D, Yeves A, Castel JR, Intrigliolo DS. 2013. Early defoliation in a temperate warm and semi-arid Tempranillo vineyard: vine performance and grape composition. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 20(1): 111-122. doi:10.1111/ajgw.12049
- Robinson AL, Boss PK, Solomon PS, Trengove RD, Heymann H, Ebeler SE. 2014. Origins of grape and wine aroma. Part 1. Chemical components and viticultural impacts. *American Journal of Enology and Viticulture*, 65(1), 1-24. doi:10.5344/ajev.2013.12070
- Roby G, Harbertson JF, Douglas AA, Matthews MA. 2004. Berry size and vine water deficits as factors in wine grape composition: Anthocyanins and tannins. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10: 100-107. doi:10.1111/j.1755-0238.2004.tb00012.x
- Rodríguez-Rajo FJ, Seijo-Coello MC, Jato-Rodríguez MV. 2002. Estudio de los niveles de los principales fitopatógenos para la optimización de cosechas de *Vitis vinifera* en Valdeorras, Ourense (1998). *Botanica Complutensis* 26:121- 135.
- Rogiers SY, Hatfield JM, Jaudzems VG, White RG, Keller M. 2004. Grape berry cv. Shiraz epicuticular wax and transpiration during ripening and preharvest weight loss. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55(2): 121-127.
- Rooney-Latham S, Janousek C N, Eskalen A, Gubler WD. 2008. First report of *Aspergillus carbonarius* causing sour rot of table grapes (*Vitis vinifera*) in California. *Plant disease*, 92(4): 651-651. doi:10.1094/PDIS-92-4-0651A
- Rosa CAR, Magnoli CE, Fraga ME, Dalcero AM, Santana DMN. 2004. Occurrence of ochratoxin A in wine and grape juice marketed in Rio de Janeiro, Brazil. *Food additives and contaminants*, 21(4): 358-364. doi:10.1080/02652030310001639549
- Rubio JC, Montes A, Castro C, Alvarez B, Olmedo M, Muñoz E, Tapia F, Reyes M, Ortega E, Sánchez M, Miccono L, Dalla Costa L, Martinelli M, Malnoy H, Prieto F. 2015. Genetically engineered Thompson Seedless grapevine plants designed for fungal tolerance: selection and characterization of the best performing individuals in a field trial. *Transgenic Research*. 24:43–60.
- Ruffner HP. 1982. Metabolism of tartaric and malic acid in *Vitis*. *Vitis*, 21, 247-259.

- Rustioni L, Rocchi L, Guffanti E, Cola G, Failla O. 2014. Characterization of grape (*Vitis vinifera* L.) berry sunburn symptoms by reflectance. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(14): 3043-3046. doi:10.1021/jf405772f
- Rustioni L, Rossoni M, Calatroni M, Failla O. 2011. Influence of bunch exposure on anthocyanins extractability from grapes skins (*Vitis vinifera* L.). *Vitis*, 50(4): 137-143.
- Sabate J, Cano J, Esteve-Zarzoso B, Guillamón JM. 2002. Isolation and identification of yeasts associated with vineyard and winery by RFLP analysis of ribosomal genes and mitochondrial DNA. *Microbiology Research*. 157: 267-274. doi:10.1078/0944-5013-00163
- Sabbatini P, Howell GS. 2010. Effects of Early Defoliation on Yield, Fruit Composition, and Harvest Season Cluster Rot Complex of Grapevines. *Horticultural Science*, 45 (12): 1804-1808. doi :10.21273/HORTSCI.45.12.1804
- Sadras VO, Petrie PR, Moran MA. 2013a. Effects of elevated temperature in grapevine. II juice pH, titratable acidity and wine sensory attributes. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 19(1): 107-115. doi:10.1111/ajgw.12001
- Sadras VO, Moran MA, Bonada M. 2013b. Effects of elevated temperature in grapevine: I. Berry sensory traits. *Australian. Journal of Grape and Wine Research*. 19: 95-106. doi:10.1111/ajgw.12007
- Salvarrey MJ. 2016. Relación fuente-fosa en *Vitis vinifera* L. cv. Tannat en respuesta a dos técnicas de cultivo. Tesis Magister en Ciencias Agrarias. Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay. 149 p.
- Sánchez LA, Dokoozlian NK. 2005. Bud microclimate and fruitfulness in *Vitis vinifera* L. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56(4): 319-329.
- Sanchez de Miguel P, Centeno A, Baeza P, Lissarrague JR. 2004. Photosynthetic response to light of 'tempranillo' leaves in the field: effects of leaf age, position and water potential. En: VII International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology, 689: 357-364.
- Schreiner RP, Scagel CF, Lee J. 2014. N, P, and K supply to Pinot noir grapevines: impact on berry phenolics and free amino acids. *American Journal of Enology and Viticulture*, 65 (1): 43-49. doi:10.5344/ajev.2013.13037
- Schildberger B, Faltis C, Arnold M, Eder R. 2011. Effects of prohexadione-calcium on grape cluster structure and susceptibility to bunch rot (*Botrytis cinerea*) in cv. grüner veltliner. *Journal of Plant Pathology*, S33-S37.

- Scholander PF, Hammel HT, Bradstreet ED, Hemmingsen EA. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148 (3668): 339-346.
- Scholefield P, Morison J. 2010 Assessment of economic cost of endemic pests and diseases on the Australian grape and wine industry. Grape and Wine Research and Development Corporation, No. GWR 08/04. [En línea]. Consultado 2 de marzo de 2021 Disponible en: <https://www.wineaustralia.com/research/projects/assessment-of-economic-cost-of-endemic-p>.
- Seguin G. 1986. 'Terroirs' and pedology of wine growing. *Experientia*, 42(8): 861-873.
- Senthilkumar S, Vijayakumar R M, Soorianathasundaram K, Devi DD. 2015. Effect of Pruning Severity on Vegetative, Physiological, Yield and Quality Attributes in Grape (*Vitis Vinifera* L.)-A Review. *Current Agriculture Research Journal*, 3(1): 42. doi:10.12944/CARJ.3.1.06
- Serra R, Braga A, Venâncio A. 2005. Mycotoxin producing and other fungi isolated from grapes for wine production, with particular emphasis on ochratoxin A. *Research in Microbiology*, 156 (4): 515-521. doi: 10.1016/j.resmic.2004.12.005
- Silva A, Docampo R, Camejo C, Barboza C. 2018. Inventario de suelos bajo viña y principales características edafológicas de los viñedos uruguayos. INIA (Instituto Nacional de Investigación agropecuaria). ISBNN. 478-9974-38-411-8. 166 p.
- Silva A, Noronha H, Dai Z, Delrot S, Gerós H. 2017. Low source–sink ratio reduces reserve starch in grapevine woody canes and modulates sugar transport and metabolism at transcriptional and enzyme activity levels. *Planta*, 246(3): 525-535. doi:10.1007/s00425-017-2708-6
- Sivilotti P, Herrera JC, Lisjak K, Baša Česnik H, Peterlunger E, Castellarin SD. 2016. Impact of Leaf Removal, Applied Before and After Flowering, on Anthocyanin, Tannin, and Methoxypyrazine Concentrations in 'Merlot' (*Vitis vinifera* L.) Grapes and Wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2016 64 (22): 4487-4496 doi: 10.1021/acs.jafc.6b01013
- Singleton VL. 1987. Oxygen with phenols and related reactions in musts, wines, and model systems: observations and practical implications. *American Journal of Enology and Viticulture*. 38: 69–77.
- Shiraishi M. 1993. Three descriptors for sugars to evaluate grape germplasm. *Euphytica*, 71(1-2): 99- 106. doi:10.1007/BF00023472.
- Smart RE, Robinson JB, 1991. Sunlight into wine. Adelaide. Ed. Ministry of Agriculture and Fisheries. 88 p.

- Smart RE, Robinson JB, Due GR, Brien CJ. 1985 Canopy microclimate modification for the cultivar Shiraz. II. Effects on must and wine composition. *Vitis* 24:119-128.
- Smart RE. 1985. Some aspects of climate, canopy microclimate, vine physiology, and wine quality. En: The International Symposium on Cool Climate Viticulture and Enology (3º 1985, Oregon). Proceedings. Oregon. Eds. Oregon state University. 1-17.
- Smith S, Codrington I C, Robertson M, Smart RE. 1988. Viticultural and oenological implications of leaf removal for New Zealand vineyards. En: Symposium for Cool Climate Viticulture and Oenology (2º, 1988, Auckland). Proceedings. Auckland. Eds. Viticulture and Oenology. 127-133.
- Spayd SE, Tarara JM, Mee DL, Ferguson JC. 2002 Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *American Journal of Enology and Viticulture* 53: 171– 182
- Srinivasan C, Mullins MG. 1981. Physiology of flowering in the grapevine—a review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 32(1): 47-63.
- Steel CC, Schwarz LJ, Qiu Y, Schueuermann C, Blackman JW, Clark AC, Schmidtke LM. 2020. Thresholds for Botrytis bunch rot contamination of Chardonnay grapes based on the measurement of the fungal sterol, ergosterol. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 26(1): 79-89. doi:10.1111/ajgw.12417
- Steel CC, Blackman JW, Schmidtke LM. 2013. Grapevine bunch rots: impacts on wine composition, quality, and potential procedures for the removal of wine faults. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(22): 5189-5206. doi:10.1021/jf400641r
- Steel CC, Greer LA, Savocchia S, Samuelian S K. 2011. Effect of temperature on Botrytis cinerea, Colletotrichum acutatum and Greeneria uvicola mixed fungal infection of Vitis vinifera grape berries. *Vitis*, 50(2): 69-71.
- Steel CC, Greer LA, Savocchia S. 2007. Studies on Colletotrichum acutatum and Greeneria uvicola: Two fungi associated with bunch rot of grapes in sub-tropical Australia. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 13(1): 23-29. doi:10.1111/j.1755-0238.2007.tb00068.x
- Steel CC. 2004. Fruit rot control in Hunter Vineyards. Providing growers with tools to stop the rot. [En línea]. Consultado: 10 setiembre 2019 En: Regional innovation and technology adoption (rita) project. Disponible en: www.wineaustralia.com

- Stepalska D, Wolek J. 2005. Variation in fungal spore concentrations of selected taxa associated to weather conditions in Cracow, Poland, in 1997. *Aerobiología*, 21:43-52. doi:10.1007/s10453-004-5877-2
- Sternad Lemut M, Sivilotti P, Butinar L, Laganis J, Vrhovsek U. 2015. Pre-flowering leaf removal alters grape microbial population and offers good potential for a more sustainable and cost-effective management of a Pinot Noir vineyard. *Australian journal of grape and wine research*, 21(3): 439-450. doi:10.1111/ajgw.12148
- Tach EC, Olsen JE. 2006, Market segmentation analysis to target young adult wine drinkers, *Agribusiness*, 22 (3): 307-322. <https://doi.org/10.1002/agr.20088>.
- Tarara JM, Lee J, Spayd SE, Scagel CF. 2008. Berry temperature and solar radiation alter acylation, proportion, and concentration of anthocyanin in Merlot grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 59(3): 235-247.
- Tardáguila J, Martínez de Toda F, Poni S, Diago MP. 2010. Impact of early leaf removal on yield and fruit and wine composition of *Vitis vinifera* L. Graciano and Carignan. *American Journal of Enology and Viticulture*. 61: 372-381.
- Tardáguila J. 2009. La cepa y sus formas. Técnicas de manejo de viñedo. En: La Rioja, sus viñas y su vino. Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Gobierno de la Rioja. La Rioja. Ed. Logroño. 99-109 pp.
- Tardáguila J, Petrie PR, Poni S, Diago MP, De Toda FM. 2008. Effects of mechanical thinning on yield and fruit composition of Tempranillo and Grenache grapes trained to a vertical shoot-positioned canopy. *American Journal of Enology and Viticulture*, 59(4): 412-417.
- Teagle J, Mueller S, Lockshin, L. 2010. How do millennials' wine attitudes and behaviour differ from other generations? En línea: Consultado 25 de Febrero 2021. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Larry-Lockshin/publication/282914812_How_do_millennials%27_wine_attitudes_and_behaviour_differ_from_other_generations/links/56b3e2f308ae1f8aa45357a2/How-do-millennials-wine-attitudes-and-behaviour-differ-from-other-generations.pdf.
- Tello J, Ibáñez J. 2018. What do we know about grapevine bunch compactness? A state-of-the-art review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 24 (1): 6-23. doi :10.1111/ajgw.12310

- Terrier N, Poncet-Legrand C, Cheynier V. 2009. Flavanols, Flavonols and Dihydroflavonols. En: M.V. Moreno-Arribas, M. C. Polo (Eds). New York, USA. Wine Chemistry and Biochemistry. Ed:Springer: 463-496.
- Teixeira A, Eiras-Dias J, Castellarin SD, Gerós H. 2013. Berry phenolics of grapevine under challenging environments. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(9): 18711-18739.
- Tiscornia G, Cal A, Giménez A. 2016. Análisis y caracterización de la variabilidad climática en algunas regiones de Uruguay. Gerencia de Comunicación e Imagen Institucional, DNA SICC, INTA. 41 (1): 66-71. doi:10.3390/ijms140918711
- Tonietto J, Carbonneau A. 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124(1-2): 81-97. doi: 10.1016/j.agrformet.2003.06.001
- Tonietto J. 1999. Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mésoclimat sur la typicité de la Syrah et du Muscat de Hambourg dans le sud de la France : méthodologie de caractérisation. Thèse Doctorat. Montpellier. Ecole Nationale Supérieure Agronomique. 233 p.
- Torres N, Martínez-Lüscher J, Porte E, Kurtural SK. 2020. Optimal Ranges and Thresholds of Grape Berry Solar Radiation for Flavonoid Biosynthesis in Warm Climates. *Frontiers in Plant Science*, 11:0-15. doi:10.3389/fpls.2020.00931
- Townsend GR, Heuberger J W. 1943. Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. *Plant Disease Report*, 24: 340-343.
- Tyerman SD, Tilbrook J, Pardo C, 2004. Direct measurement of hydraulic properties in developing berries of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz and Chardonnay. *Australian Journal of Grape Wine Research*. 10:170-81. doi:10.1111/j.1755-0238.2004.tb00020.x
- Uruguay. Poder Legislativo. 2019. Ley 19.717. Ley de Agroecología. [En línea]. Consultado el 12 marzo del 2021. Disponible en: <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/19717-2018#:~:text=Decl%C3%A1rase%20de%20inter%C3%A9s%20general%20la,ambiente%2C%20de%20manera%20de%20generar>
- Vail ME, Marois JJ. 1991. Grape cluster architecture and the susceptibility of berries to *Botrytis cinerea*. *Phytopathology*, 81(2) : 188-191. doi :10.1094/PHYTO-81-188

- Vaillant-Gaveau N, Wojnarowiez G, Petit AN, Jacquens L, Panigai L, Clement C, Fontaine F. 2014. Relationships between carbohydrates and reproductive development in Chardonnay grapevine: impact of defoliation and fruit removal treatments during four successive growing seasons. *OENO one*, 48 (4): 219-229. doi:10.20870/oenone.2014.48.4.1694
- Valdés-Gómez H, Fermaud M, Roudet J, Calonnec A, Gary C. 2008. Grey mould incidence is reduced on grapevines with lower vegetative and reproductive growth. *Crop Protection*, 27(8): 1174-1186.
- VanderWeide J, Gottschalk C, Schultze SR, Nasrollahiazar E, Poni S, Sabbatini P. 2021. Impacts of pre-bloom leaf removal on wine grape production and quality parameters: A systematic review and meta-analysis. [En línea]. Consultado: 5 de marzo 2021. *Frontiers in Plant Science*, 11. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.621585/full>
- van Leeuwen C, Roby JP, Rességuier L. 2018. Soil-related terroir factors: a review. *OENO one*, 52(2): 173-188. doi:10.20870/oenone.2018.52.2.2208
- van Leeuwen C, Trégoat O, Choné X, Bois B, Pernet D, Gaudillère JP. 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? *Oeno One*, 43(3): 121-134. doi:10.20870/oenone.2009.43.3.798
- van Leeuwen C, Garnier C, Agut C, Baculat B, Barbeau G, Besnard E, Trambouze W. 2008. Heat requirements for grapevine varieties is essential information to adapt plant material in a changing climate. En : 7. Congrès International des Terroirs Viticoles.
- van Leeuwen C, Seguin G. 2006. The concept of terroir in viticulture. *Journal of wine research*, 17(1): 1-10. doi:10.1080/09571260600633135
- van Leeuwen C, Friant P, Choné X, Tregoat O, Koundouras S, Dubourdieu D. 2004. Influence of climate, soil, and cultivar on terroir. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55(3): 207-217.

- Vasconcelos MC, Greven M, Winefield C S, Trought M C, Raw V. 2009. The flowering process of *Vitis vinifera*: a review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 60(4), 411-434.
- Vasconcelos MC, Castagnoli S. 2000. Leaf canopy structure and vine performance. *American Journal of Enology and Viticulture*. 51 (4): 390-396.
- Verdenal T, Dienes-Nagy Á, Spangenberg J E, Zufferey V, Spring J L, Viret O, van Leeuwen C. 2021. Understanding and managing nitrogen nutrition in grapevine: a review. *OENO One*, 55 (1): 1-43. doi:10.20870/oenone.2021.55.1.3866
- Verdenal T, Zufferey V, Burgos S, Rösti J, Lorenzini, F, Dienes-Nagy A, Viret, O. 2020. The pedoclimatic conditions impact the yeast assimilable nitrogen concentration in the grapevine must. [En línea]. Consultado 23 de enero 2021. Disponible en: <https://www.infowine.com/intranet/libretti/0/17244-1710-11thTerroirCongress-11-verdenal-arEN.pdf>
- Verdenal T, Zufferey V, Dienes-Nagy A, Bourdin G, Gindro K, Viret O, Spring J L. 2019. Timing and intensity of grapevine defoliation: an extensive overview on five cultivars in Switzerland. *American Journal of Enology and Viticulture*, 70(4): 427-434. doi:10.5344/ajev.2019.19002
- Verdenal T, Zufferey V, Dienes-Nagy A, Belcher S, Lorenzini F, Rösti J, Spring J L. 2018. Intensity and timing of defoliation on white cultivar Chasselas under the temperate climate of Switzerland. *Oeno One*, 52 (2): 93-104. doi:10.20870/oenone.2018.52.2.2158
- Verdenal T, Zufferey V, Dienes-Nagy A, Gindro K, Belcher S, Lorenzini F, Viret O. 2017. Pre-flowering defoliation affects berry structure and enhances wine sensory parameters. *Oeno One*, 51(3): 263-275. doi:10.20870/oenone.2017.51.2.1808
- Verdenal T, Spangenberg JE, Zufferey V, Lorenzini F, Dienes A, Gindro K, Viret O. 2016. Leaf-to-fruit ratio affects the impact of foliar-applied nitrogen on N accumulation in the grape must. *OENO One*, 50(1): 23-33. doi:10.20870/oenone.2016.50.1.55
- Verdenal T, Zufferey V, Spring JL, Viret O. 2013. Conséquences physiologiques de l'effeuillage de la vigne : Revue de littérature [En línea]. *Revue suisse de viticulture, arboriculture et horticulture*, 45(3) : 148-155. Consultado : 25 enero 2021. Disponible

en :https://www.academia.edu/17594486/Physiological_consequences_of_vine_defoliation_a_review

- Vigentini I, De Lorenzis G, Fabrizio V, Valdetara F, Faccincani M, Panont C A. 2015. The vintage effect overcomes the terroir effect: a three-year survey on the wine yeast biodiversity in Franciacorta and Oltrepò Pavese, two northern Italian vine-growing areas. *Microbiology* 161: 362–373. doi.org/10.1099/mic.0.000004
- Vila H, Paladino S, Nazarala J. Lucero C. 2010. Manual de calidad de uva. Guía práctica para conocer y evaluar la calidad de la uva para vino. Mendoza, Argentina. Ediciones INTA. 99 p.
- Wang Y, He YN, Chen W K, He F, Chen W, Cai X D, Duan CQ, Wang J. 2018. Effects of cluster thinning on vine photosynthesis, berry ripeness and flavonoid composition of Cabernet-Sauvignon. *Food Chemistry*, 248: 101-110. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.12.021
- Wheeler S, Loveys B, Ford C, Davies C. 2009. The relationship between the expression of abscisic acid biosynthesis genes, accumulation of abscisic acid and the promotion of *Vitis vinifera* L. berry ripening by abscisic acid. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 15: 195–204. doi:10.1111/j.1755-0238.2008.00045.x
- Whitelaw-Weckert MA, Curtin SJ, Huang R, Steel CC, Blanchard CL, Roffey PE. 2007. Phylogenetic relationships and pathogenicity of *Colletotrichum acutatum* isolates from grape in subtropical Australia. *Plant Pathology* 56:448–463.
- Winkler AJ, Cook J, Kliever WM, Lider LA. 1974. General viticulture. Los Angeles: University of California. Press. Berkeley. 710p.
- Wolf TK, Baudoin A, Martinez Ochoa N. 1997. Effect of floral debris removal from fruit clusters on *Botrytis* bunch rot of Chardonnay grapes. *Vitis* 36:27-33.
- Yan JY, Jayawardena MMRS, Goonasekara ID, Wang Y, Zhang W, Liu M, Li X. H. 2015. Diverse species of *Colletotrichum* associated with grapevine anthracnose in China. *Fungal diversity*, 71(1): 233-246. doi.10.1007/s13225-014-0310-9
- Zamboni M, Iacono F, Frascini P, Parenti A. 1991. Influenza della carica di gemme e della lunghezza di potatura sulla produttività e sulla agostamento del vitigno Croatia. *Vignevini* 12: 51-55.
- Zhang H, Godana EA, Sui Y, Yang Q, Zhang X, Zhao, L. 2020. Biological control as an alternative to synthetic fungicides for the management of grey and blue mould

diseases of table grapes: a review. *Critical Reviews in Microbiology*, 46(4): 450-462.
doi:10.1080/1040841X.2020.1794793

Zhang ZW, Zhang BY, Tong H F, Fang L. 2010. Photosynthetic LCP and LSP of different grapevine cultivars. *Journal of Northwest Forestry University*, 25(1): 24-29.

Zoecklein BW, Williams JM, Duncan SE. 2001. Effect of sour rot on the composition of white riesling (*Vitis vinifera* L.) grapes. *Small Fruits Review*, 1(1): 63-77.
doi:10.1300/J301v01n01_08

Zoecklein BW, Hackney CH, Duncan SE, Marcy JE, 1999. Effect of fermentation, aging and thermal storage on total glycosides, phenol-free glycosides and volatile compounds of White Riesling (*Vitis vinifera* L.) wines. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 22: 100–107.

Zoecklein BW, Wolf TK, Duncan NW, Judge JM, Cook MK, 1992. Effects of fruit zone leaf removal on yield: fruit composition and fruit rot incidence of Chardonnay and White Riesling (*Vitis vinifera* L.) grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*. 43: 139–148.

Zufferey V, Murisier F, Belcher S, Lorenzini F, Vivin P, Spring JL, Viret O. 2015. Nitrogen and carbohydrate reserves in the grapevine (*Vitis vinifera* L. 'Chasselas'): the influence of the leaf to fruit ratio. *Vitis*, 54(4): 183-188. doi:10.5073/vitis.2015.54.183-188

7. ANEXOS

7.1. ARTÍCULO PUBLICADO³

Received: 8 February 2021 | Accepted: 21 April 2021 | Published: 17 May 2021
DOI:10.20870/oeno-one.2021.55.2.4613



Response of Tannat (*Vitis vinifera* L.) to pre-flowering leaf removal in a humid climate

Leandro Arrillaga¹, Gerardo Echeverría¹, Bruno Izquierdo¹, Juan José Rey¹, Alejandra Pallante¹ and Milka Ferrer¹

¹ Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Vegetal, Cátedra de Viticultura, Garzón 780, CP 11800 Montevideo, Uruguay

*corresponding author: larillaga@fagro.edu.uy

Associate editor: Jorge Queiroz

ABSTRACT

The aim of this study was to test the effect of pre-flowering leaf removal (PFD) on grape sanitary status, yield, source-sink balance and berry composition. A completely random block design experiment was conducted over four seasons in a commercial vineyard of the Tannat/SO4 combination located in the south of Uruguay (34° 35' 30" S, 56° 15' 23" O). The PFD treatment was compared with a commercial defoliation (CC) comprising partial leaf removal between the fruit set and cluster closure stages (four leaves from the first node), a traditional practice carried out by winegrowers. Both treatments received equal phytosanitary management during the study. The results were conditioned by seasonal meteorological conditions, particularly rainfall, temperature and evapotranspiration. The seasonal effect was significant for yield components, berry composition and source-sink balance. The PFD treatment resulted in the lowest yields in all four years and modified the primary and secondary composition of berries. It also showed a higher anthocyanin potential in 2016, 2017 and 2019, related to a higher percentage of exposed clusters, lower yield and/or higher leaf to fruit ratio. In 2017, environmental conditions were more favourable for the development of bunch rot, and lower values of incidence (3 %) were recorded for the PFD treatment compared to CC (22 %), due to greater exposure of bunches and less compact bunches. The PFD vines showed a steady reduction in dry matter production capacity, mainly explained by the steady reduction in yields. The Tannat variety showed a differential response to PFD depending on the weather during the growth cycle. Under humid climate conditions, pre-flowering defoliation proved to be effective for yield control, by reducing bunch rot incidence, and for improving some attributes in terms of grape composition. This work provides useful information for grape growers in humid regions on how to improve the sanitary status and quality of their production.

KEYWORDS

leaf removal, season effect, yield, bunch rot, source-sink, grape composition

³ Artículo publicado en OenoOne.

INTRODUCTION

In viticultural regions with humid and sub-humid climate, canopy management is a determining factor for the quality and sanitary status of the harvest (Smart *et al.*, 1985; Zoecklein *et al.*, 1992). In this context, excessive vegetative growth can result in the generation of a microclimate within the bunch zone which can have a negative effect on the development of grape quality attributes. Dense canopies decrease light interception and modify its distribution, thus reducing photosynthetic activity and negatively impacting yield and grape composition (Smart and Robinson, 1991; Zoecklein *et al.*, 1992). In addition, high relative humidity and poor airflow within the canopy can increase the risk of bunch rot incidence, such as the grey mould caused by *Botrytis cinerea* (English *et al.*, 1989).

Leaf removal is a useful technique for ensuring good grape quality at harvest. In cases of excessive vigour, this technique can improve the ripening process while contributing to reducing rot incidence on clusters (Smart and Robinson, 1991; Molitor *et al.*, 2011). Timing and intensity are two important factors which influence the impact of leaf removal on plant response (Verdenal *et al.*, 2018). Early leaf removal has been proved to be a suitable technique for improving grape quality and reducing sanitary risks in many wine regions of the northern hemisphere (Poni *et al.*, 2006; Tardaguila *et al.*, 2010; Gatti *et al.*, 2012; Risco *et al.*, 2013).

Pre-flowering leaf removal (PFD) has been evaluated by several researchers for its potential as an alternative to cluster thinning for yield control and improving grape quality (Poni *et al.*, 2006; Tardaguila *et al.*, 2010; Sabbatini and Howell, 2010; Gatti *et al.*, 2012; Risco *et al.*, 2013; Verdenal *et al.*, 2017). Leaf removal at the blooming stage is associated with an increase in the abscission rate of flowers and/or reproductive structures like ovules, thereby notoriously affecting fruit set, as well as yield (Candolfi-Vasconcelos *et al.*, 1994; Caspari and Lang, 1996). Moreover, undesirable effects can arise when leaf removal is practiced at an early stage of the growth cycle, including: sunburn, excessive yield reduction in the current and the following season, and plant vigour decline (Sabbatini and Howell, 2010; Risco *et al.*, 2013). Modifications on grape composition have been linked to higher leaf/fruit balance, higher skin/pulp ratio, modifications to the microclimate caused by a higher proportion of clusters exposed to sunlight, and greater photosynthetic efficiency

of the remaining leaves (Poni *et al.*, 2006; Poni *et al.*, 2008; Palliotti *et al.*, 2011; Risco *et al.*, 2013).

Increased exposure of bunches to sunlight, together with the possible reduction of their compactness through pre-flowering leaf removal, creates an unfavourable microclimate for the development of rot-causing fungi, such as *Botrytis cinerea*, thereby improving the effectiveness of chemical control (Molitor *et al.*, 2015; Sternad Lemut *et al.*, 2015). Furthermore, the best sunlight exposition of the bunches could promote a modification to berry thickness and favour the biosynthesis of phytoalexins, which can lead to a better resistance to sunburn damage and infections caused by *B. cinerea* and other fungi (Percival *et al.*, 1994; Verdenal *et al.*, 2017).

Leaf removal induces modifications to the source-sink balance, which can result in important changes to the main physiological responses of vine in the short- and medium-term, thus affecting grape composition (Kheir and Dokoozlian, 2005), reserves (Vaillant-Gaveau *et al.*, 2014), root growth (Hunter *et al.*, 1995), photosynthesis (Poni *et al.*, 2008; Palliotti *et al.*, 2011) and water use (Medrano *et al.*, 2007).

Tannat grafted on SO4 is the most implanted combination in Uruguayan viticulture (INAVI, 2019) – (<http://www.inavi.com.uy/estadisticas/>). Tannat is a red grape cultivar with medium-high vigour and high yield potential, which is susceptible to *Botrytis* rot (Ferrer *et al.*, 2009). From an oenological point of view, its grapes have a high sugar accumulation potential, good phenolic richness and moderate acidity levels (González-Neves *et al.*, 2004). According to the Köppen-Geiger classification, Uruguay has a temperate-humid and moderately rainy climate Cfa, with weather conditions of high interannual variability (Tiscornia *et al.*, 2016). Climate change scenarios have indicated a possible increase in this variability, as well as in rainfall during spring and summer (Giménez *et al.*, 2009). This could lead to an increase in phytosanitary risks, such as cluster rot incidence, which may limit yield and grape quality under Uruguayan conditions. In this context, pre-flowering leaf removal could be a useful viticultural technique for cluster rot management, yield control and additional improvements to grape composition. Therefore, the main objective of this work was to assess the PFD effects on the Tannat variety (*Vitis vinifera* L.) in terms of cluster rot incidence, yield, vegetative growth, grape composition and physiological balance indicators.

MATERIALS AND METHODS

1. Plant material, soil and weather data

The experiment was carried out in a commercial non-irrigated vineyard in the Juanico locality (34° 35' 30 S, 56° 15' 23 W) from 2016 to 2019. The vineyard comprises a combination of the Tannat variety (clone 398) grafted onto SO4 rootstock (*V. berlandieri* x *V. riparia*), and trellised using vertical shoot positioning (VSP) and a double Guyot pruning system. The vineyard was 18 years old at the beginning of the experiment. The vines were spaced 1.25 m between plants and 2.5 m between rows and orientated towards the NW-SE. Spontaneous vegetation in the inter-row space was mechanically removed, while within-row vegetation was controlled by applying herbicide. Soil water availability was calculated on a monthly basis using a hydric balance according to MCC (Multicriterial Classification System) methodology adapted to Uruguay conditions (Ferrer *et al.*, 2007). The soil at this site is typical Argiudoll with a slope of less than 3 % and 110 mm of maximum water availability (Silva *et al.*, 2018). Both treatments received equal phytosanitary management during the study. Weather data were obtained from the INIA Gras platform (<http://www.inia.uy/gras/>) from INIA Las Brujas meteorological station located 11 km from the experimental site.

2. Experimental design and treatments

The randomised experimental design comprised three complete blocks with two treatments: commercial defoliation (CC), comprising the removal of 4 basal leaves between fruit set and bunch closure, and a pre-flowering leaf removal treatment (PFD) performed at stage 17 (Coombe, 1995). PFD was carried out by hand: 6-8 leaves were removed from the base to the top of the shoot, and the secondary shoot was also removed when present. Leaf removal in CC was carried out by the winegrower in all years of the evaluation. The treatments were replicated three times (blocks) on seven plants per experimental unit ($n = 7$). This experiment was carried out consecutively during the 2015-2016 (first) and 2016-2017 (second) seasons. For administrative purposes it was necessary to change the plants in 2018. Therefore, a new consecutive evaluation was carried out in the 2017-2018 (third) and 2018-2019 (fourth) seasons.

3. Canopy measurements and microclimate evaluation

Potential exposed leaf area (SA) was assessed at veraison according to Carbonneau (1995). Three plants per block and treatment were measured and photographed. The porosity of the canopy was estimated using the free software CobCal[®]. In addition, the percentage of exposed clusters and number of leaf layers was determined at veraison in the bunch zone on four plants per block (stage 35, Coombe, 1995) using the Point Quadrat method (Smart and Robinson, 1991). In 2016-2017, the microclimate was assessed using sensors. Photosynthetically active radiation (PAR) was calculated from light intensity recordings using a HOBO Pendant[®] 8K Data Logger UA-002-08; one sensor per treatment was placed in the bunch zone on a representative plant of the same experimental block. Hourly temperature and relative humidity within the canopy were recorded using a sensor HOBO[®] U23 ProV2 in each block. The average hourly readings of three sensors were calculated from bunch closure until harvest. Each sensor was positioned in the bunch zone, on one representative plant of each treatment and block.

4. Yield components, cluster compactness and cluster rot incidence

All plants from both treatments were harvested on the same date, which was chosen based on STT, acidity and pH values as proposed by González-Neves *et al.* (2004). At harvest, yield per vine (including rotten bunches), number of bunches per vine and berry weight were determined. Cluster rot incidence was evaluated based on the proportion of rotten bunches (%). Cluster compactness was assessed on ten clusters randomly sampled from each replication during pre-harvest. The density index of Ipach *et al.* (2005) was used to classify individual clusters according to their compactness. The average density index was calculated and compared between treatments. In addition, the mode of each treatment was calculated (DI. m). Bud fertility was evaluated the year after treatment by counting the number of inflorescences in principal shoot in all plants per block, this evaluation was made between 19-27 of Eichhorn y Lorenz modified system (Coombe, 1995).

5. Physiological indexes

In winter, the pruning weight was determined for all plants and the following physiological

indices were calculated. Ravaz index (RI; Equation 1) (Ravaz, 1909). According to Ferrer *et al.* (1997), RI values from 7 to 10 are considered the equilibrium for the Tannat variety in Uruguayan environmental conditions. Leaf to fruit ratio (LF) is an important balance indicator for the relationship between leaf area and yield per vine. In our study we used exposed leaf area (SA, m²/vine) to yield (kg/vine) as an indicator (Equation 2). According to Carbonneau and Cargnello (2003), the dry matter partitioning coefficients (DMPC) give a good estimation of the total renewable dry matter produced by the plant, as long as there is a good relationship between aboveground and belowground development. DMPC is therefore a good indicator of the plant's physiology and represents the basic level of metabolic activity achieved by the whole plant to ensure its development and consumption. DMPC is measured by the sum of the weight of pruning wood multiplied by 0.5, a coefficient that expresses the average percentage of dry matter in the wood, and the harvest weight multiplied by 0.2, a coefficient that expresses the average percentage of dry matter in the bunches. The relationship between the SA and DMPC (PB) is a good estimator of the plant's potential for investing energy in the primary and secondary metabolism processes during the crop cycle (Gómez del Campo *et al.*, 2002).

► RI = Yield/pruning weight
[Equation N°1]

► LF = SA (m²)/Fruit weight (kg)
[Equation N°2]

► DMPC = Pruning weight (kg) * 0.5 +
Yield (kg) * 0.2
[Equation N°3]

► PB (m²/kg dry matter) = SA (m²)/DMPC (kg)
[Equation N°4]

6. Grape composition

From veraison (stage 35 E and L modified) until harvest (stage 38 E and L modified), 250 berries per replication were collected on a weekly basis according to the protocol by Carbonneau *et al.* (1991). Juice from each sample was obtained with an electric blender (HR2290, Phillips, Amsterdam, The Netherlands). Following official methods (OIV, 2009), sugar content (TSS) was measured using a refractometer (Atago® N1, Atago®, Tokyo, Japan) and then transformed to sugar per litre of must using an equivalence table. The amount of sugar and anthocyanin was

calculated on a per berry basis, according to Vila *et al.* (2010):

► g sugar per berry (S per berry): soluble solids (g/L) per berry weight (g)/(0.0046 x Brix + 0.9927)/1000
[Equation N° 5]

► g anthocyanin per berry (A*b): anthocyanin ApH1 (mg/L) per berry weight (g)/(0.0046 x Brix + 0.9927)/1000
[Equation N° 6]

pH was determined with a potentiometer (HI8521, Hanna Instruments®, Villafranca Padovana, Italy) and acidity was measured by titration, expressed as g tartaric/L of juice. Organic acids (tartaric and malic) were determined at harvest by high performance liquid chromatography (HPLC) using a Shimadzu L-10ADvp pump and photodiode array detector (DAD). After harvest, the phenolic potential of a 250-berried sample per replication was evaluated. Anthocyanin potential, phenolic richness and extractability were assessed according to Glories and Augustin, 1993. The dilution factor was calculated for each mash from the percentage of pulp in each sample according to González-Neves *et al.* (2004). A random sample of 50 berries per experimental unit from which the skin, pulp and seeds were separated (data not shown). The skin and seeds were weighed to obtain the pulp weight by difference, from that data the percentage of pulp was calculated. The must volume of each sample was considered for the concentration calculations of anthocyanin content. The must density was calculated using the Brix data. The anthocyanin content was determined by absorption spectrophotometry at 520 nm using an Unico®, S-2150 equipment (New Jersey, USA), and the values of concentration of pigments were expressed as milligram of equivalent of malvidin glucoside (EMG) per litre according to González-Neves *et al.* (2004).

► Dilution factor: (50 mL of solution + must volume)/must volume
[Equation N° 7]

► Must volume: (50 g of macerate* pulp percentage)/must density
[Equation N° 8]

7. Statistical analyses

One way ANOVA was carried out for the comparison of the treatment effect within the season. Two-way ANOVA was applied using

the treatment and year, and their interaction, as factors. The mean comparison was carried out with an LSD Fisher test at 5 % significance for the *post hoc* test. Factorial analyses were performed with three levels of significance: 0.1 (*); 0.05 (**); 0.01 (***). Tests were performed to demonstrate compliance with the assumptions of the model (linearity, homoscedasticity, independence and normality). Non-linear regression was used for modelling the relationship between anthocyanin content and agronomical variables, such as yield and leaf to fruit ratio. The average value of each block and all years was taken into account for non-linear and linear regression analyses. The T-test was performed at 5 % significance level for the parameters of the models. Statistical analyses were carried out using the InfoStat 2018® and Origin Pro Lab 2019 b® software.

RESULTS

1. Meteorological conditions

The amount of rainfall and its distribution showed high interannual variability. Thus, the second and fourth seasons were characterised by high rainfall and an atmospheric demand below the historical records. In both seasons, the soil water availability was high during all the months of the growth cycle (Figure 1). The highest rainfall was recorded during the ripening period (January and February) of the second season, and in December and January of the fourth season. Conversely, the lowest rainfall was recorded during the growth cycle of the first and third seasons (Table 1). The first season was the driest, which can be explained mostly by low rainfall in January and February and atmospheric demand higher than historic values.

TABLE 1. Weather conditions during the experimental period.

Year	Season	Month	ETP (mm)	Var H	Rainfall (mm)	Var H	Tm (°C)	Var H	TM (°C)	Var H	T min (°C)	Var H
2015	1st	September	81	+8	19	-64	12.2	-0.8	17.7	-0.7	7.0	-1.1
2015		October	108	-2	59	-51	14.4	-1.6	18.1	-3.5	9.9	-0.9
2015		November	146	+5	72	-36	18.1	-0.6	24.1	-0.4	12.2	-0.8
2015		December	177	+4	121	+38	21.8	+0.5	27.9	+0.4	15.6	+0.5
2016		January	187	+7	11	-96	23.4	+0.3	29.8	+0.6	17.2	+0.1
2016	2nd	February	158	+27	71	-39	24.2	+2.0	30.5	+2.5	18.3	+1.3
2016		September	62	-11	64	-19	12.4	-0.7	17.5	-1.0	7.9	-0.1
2016		October	90	-19	84	-27	16.0	-0.1	21.2	-0.4	11.3	+0.5
2016		November	123	-19	80	-29	18.7	-0.0	24.9	+0.3	12.5	-0.5
2016		December	150	-23	104	+21	22.2	+0.9	28.9	+1.2	15.8	+0.7
2017	3rd	January	141	-39	148	+42	23.2	+0.1	29.7	+0.5	17.3	+0.3
2017		February	111	-20	100	-12	23.8	+1.6	29.9	+2.0	19.0	+2.0
2017		September	64	-9	130	47	14.7	+1.6	19.7	+1.2	10.5	+2.4
2017		October	107	-3	98	-13	16.1	+0.0	21.6	0.0	10.5	-0.3
2017		November	142	0	34	-74	17.7	-1.0	24.5	0.0	11.3	-1.7
2018	4th	December	173	-1	76	-7	22.0	+1.0	28.7	+1.3	15.4	+0.3
2018		January	170	-11	76	-30	23.3	+0.3	30.2	+1.0	17.0	+0.0
2018		February	139	+8	30	-82	22.4	+0.3	29.4	+1.5	16.2	-0.7
2018		September	72	-2	104	+21	15.3	+2.2	21.1	+2.6	10.8	+2.8
2018		October	101	-9	15	-96	15.6	-0.5	21.3	-0.3	9.7	-1.0
2018	4th	November	131	-11	84	-24	19.3	+0.6	25.3	+0.7	13.8	+0.8
2018		December	146	-27	286	+202	20.0	-1.2	25.7	-1.7	14.4	-0.7
2019		January	138	-43	184	+77	22.9	-0.2	28.0	-1.1	17.9	+0.8
2019		February	122	-9	52	-60	21.7	-0.4	27.1	-0.1	15.9	-1.0

ETP = potential evapotranspiration (Penman), Tm = average air temperature, TM = average maximum air temperature, T min: average minimum air temperature. Period: 1st September to 28 February. Var H = variation with respect to historic records (1984-2014). Source: Plataforma INIA Gras

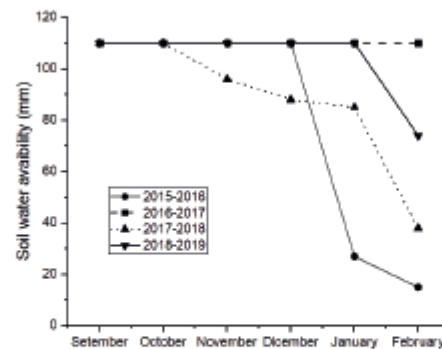


FIGURE 1. Estimation of monthly water storage in the soil according to season. Period: 1st September to 28 February. Maximum water storage capacity: 110 mm. Soil depth: 120 cm (Silva et al., 2018).

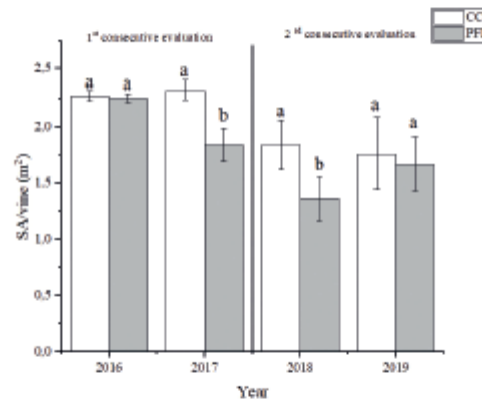


FIGURE 2. Potential exposed leaf area per vine (SA) according to treatment.

CC = Commercial control, PFD = Pre-flowering leaf removal in each year. Different letters on the columns for a given year indicate mean comparison by LSD Fisher for *post hoc* test (p -value ≤ 0.05). The vertical line indicates a change of plants. Each panel represents a consecutive evaluation on the same plants. Means $\pm$ S.E.

This explains a large drop in soil water availability during the summer months as shown in Figure 1. The period 2017-2018 was dry too, with rainfall below historic records being recorded from October to January, causing a gradual decrease in water storage levels in the soil from October to harvest. In terms of temperature, with the exception of the fourth season, average air temperature was higher than historic values during the summer months, and the same trend was observed in terms of maximum average temperature.

2. Vegetative growth and microclimate conditions

During the first season in which PFD was carried out, the vines were able to recover leaf area as shown by exposed leaf area (SA) for each treatment and season (Figure 2). During the second season of consecutive leaf removal, PFD grapevines showed a significantly lower SA in comparison with CC vines. In the third season, there was lower SA on new plants subject to PFD than on the CC vines, and they did not recover leaf area.

TABLE 2. Percentage of cluster exposure and number of leaf layers in bunch zone for control (CC) and pre-flowering leaf removal (PFD) Tannat grapevines in the 4 studied seasons.

Year	Treatment	Bunch exposure (%)	Number of leaf layers
2016	CC	75 b	1.7 a
	PFD	85 a	0.4 b
2017	CC	43 b	2.0 a
	PFD	88 a	0.5 b
2018	CC	52 b	2.8 a
	PFD	76 a	1.7 b
2019	CC	60 b	1.3 a
	PFD	81 a	1.5 a

Different letters for a given season indicate significant differences between treatments according to the LSD Fisher for *post hoc* test (p -value ≤ 0.05).

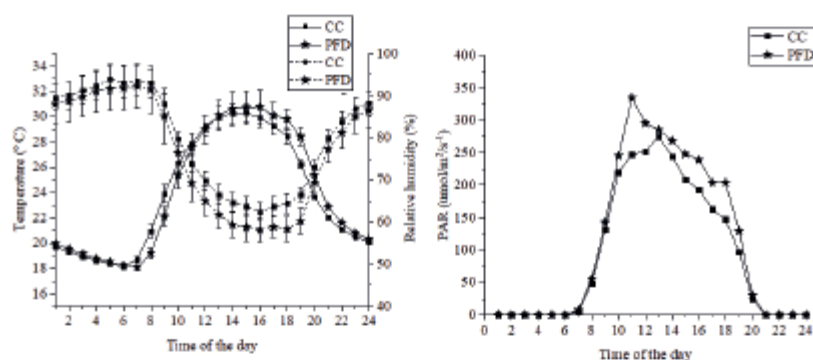


FIGURE 3. Microclimate conditions according to treatment during the 2016-2017 season.

A: Temperature (solid line) and relative humidity (dashed line) at bunch zone. B: Photosynthetic Active Radiation intercepted at bunch zone according to treatment, each dot represents average time of day. Each dot represents the hourly average from bunch closure to harvest. 90 days. Each dot represents hourly mean of three sensors $\pm$ D.E.

During the second consecutive application (2018-2019), PFD vines recovered leaf area. Cluster exposure was improved by PFD in all years of the study (Table 2) and PFD decreased the number of leaf layers in three out of the four years. During the second season, the microclimate was assessed and the highest temperature was recorded in the PFD canopy during early morning and afternoon hours. Relative humidity within the canopy decreased for PFD vines, while the light interception in the bunch zone increased as a result of early leaf removal (Figure 3).

2. Yield components, cluster rot incidence and cluster compactness

The lowest yields per vine were recorded for the PFD treatments in all four seasons of the study (Table 3). In the 2016 and 2017 vintages, the yield of PFD vines decreased significantly in comparison with CC: from 20 to 26 % respectively. In 2018 and 2019, the yields from PFD vines were 11 % (2018) to 39 % (2019) lower than those from CC vines. The PFD treatment mainly affected berry number per bunch, thus affecting bunch

TABLE 3. Yield components, bud fertility and cluster compactness for Tannat grapevines subjected to control (CC) and pre-flowering leaf removal (PFD) in all seasons.

Year	Treatment	Yield (Kg/vine)	Bunch rot incidence (%)	Number of bunches	Bunch Weight (g)	Number of berries per bunch	Berry weight (g)	Density Index (average)	Density Index (mode)	Bud Fertility
2016	CC	7.5 a	0	21	403 a	233 a	1.7	3.8	3	1.4 a
	PFD	5.8 b	0	21	315 b	178 b	1.8	4.2	4	1.6 b
2017	CC	7.0 a	22.6 a	23	333 a	182 a	1.8	4.8 a	4	1.7
	PFD	5.2 b	3.2 b	24	245 b	130 b	1.9	3.8 b	3	1.7
Treatment		**	***	ns	***	***	ns	ns	-	**
Year		ns	**	**	***	***	ns	ns	-	ns
Y x T		ns	**	ns	ns	ns	ns	*	-	ns
2018	CC	5.3 a	3.9 a	19	254 a	145 a	1.8	3.5	4	1.7
	PFD	4.7 b	0 b	19	219 b	122 b	1.8	3.2	3	1.7
2019	CC	3.9 a	1.4	14	284 a	157 a	1.8 a	3.8	4	1.7 b
	PFD	2.3 b	0.8	12	201 b	101 b	2.0 b	3.6	3	1.9 a
Treatment		**	ns	*	**	**	ns	ns	-	*
Year		***	ns	***	ns	ns	*	*	-	ns
Y x T		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	ns

Density index: 1 (loose cluster) to 5 (high compactness of cluster) (Ipach et al., 2005). Different letters for a given year indicate significant differences between treatments *post hoc* test by Fisher; no letters indicate absence of significance (p -value ≤ 0.05). Factorial analysis: treatment, year, T x Y: treatment per year at p -values ≤ 0.10 (*), 0.05 (**), 0.01 (***), ns: no significance. Different factorial ANOVA correspond to different vineyard sites.

weight, since berry weight only differed between treatments in 2019 and was greater for PFD. During the fourth season, a spring incidence of mildew caused by *Plasmopara viticola* was recorded (27 %), affecting the final number of clusters and, consequently, final yield per vine. With the exception of first year the mode value of the density index (D.I. m) observed for PFD plants was 3, whereas it was 4 for CC vines. Significant differences between treatments regarding the average values of the density index were only registered during the second season. According to the factorial analysis, the results on bunch compactness were not consistent. Bud fertility was increased by the PFD treatment in the first and fourth seasons (Table 3). The meteorological conditions of the 2017, 2018 and 2019 were favourable for grey mould incidence, with the highest absolute values of rot incidence being recorded during the 2017 vintage (Table 3). PFD decreased the bunch rot incidence in the second and third seasons. In the second season, the incidence level was negatively correlated with the percentage of cluster exposure ($r = -0.81$, p -value = 0.0002) and positively related to cluster compactness ($r = 0.63$, p -value = 0.08).

3. Physiological indexes

The PFD vines produced less dry matter (DMPC) than the CC vines in all the study years (Table 4). Taking into account the two pairs of seasons, DMPC decreased on average by 15 % in PFD vines compared to CC for the first leaf removal, while for the second it decreased by 29 %. Wood production was negatively affected by PFD. In 2017 and 2018, PFD vines showed lower pruning weight values than CC vines (Table 4), which was related to SA ($r = 0.51$, $p < 0.001$). Physiological behaviour (PB) was the highest for PFD plants in the two-consecutive evaluation. In the last two study years, the seasonal effect was significant for all the indices considered. In 2017-2018 the lowest vigour expression was found, as reflected by PW, RI and DMPC. The season per treatment interaction was significant for LF during second consecutive evaluation. Vines with a higher LF ratio showed a logarithmic response in terms of anthocyanin content per berry ($R^2 = 0.77$, p -value < 0.001), a particularly good association for PFD vines, which showed a highly significant linear relationship ($R^2 = 0.81$, p -value < 0.001).

TABLE 4. Physiological indexes for the Tamnat variety subjected to control (CC) and pre-flowering leaf removal (PFD) over all seasons.

Year	Treatment	Ravaz Index	Pruning weight (kg/vine)	Leaf to fruit ratio (m ² /kg)	Dry matter production coefficient (kg/vine)	Physiological behaviour (m ² of SA/kg of dry matter)
2016	CC	10.1	0.78	0.32 b	1.87 a	1.23 b
	PFD	8.9	0.73	0.40 a	1.58 b	1.52 a
2017	CC	8.8	1.00 a	0.37	2.17 a	1.18
	PFD	7.4	0.80 b	0.31	1.52 b	1.34
Treatment		ns	**	*	***	***
Year		**	***	ns	***	ns
T x Y		ns	ns	ns	ns	ns
2018	CC	11.7	0.49 a	0.33	1.32 a	1.31
	PFD	14.8	0.38 b	0.33	1.14 b	1.30
2019	CC	5.7	0.70	0.60 b	1.11 a	1.86 b
	PFD	4.2	0.65	0.86 a	0.81 b	2.36 a
Treatment		ns	**	*	***	***
Year		***	***	***	***	***
T x Y		*	ns	***	**	ns

Different letters for a given year indicate significant differences between treatments *post hoc* test by Fisher; no letters indicate absence of significance (p-value ≤ 0.05). Factorial analysis: treatment, year, T x Y: treatment per year at p-values ≤ 0.10 (*), 0.05 (**), 0.01 (***), ns: no significance. Different factorial ANOVA correspond to different vineyard sites.

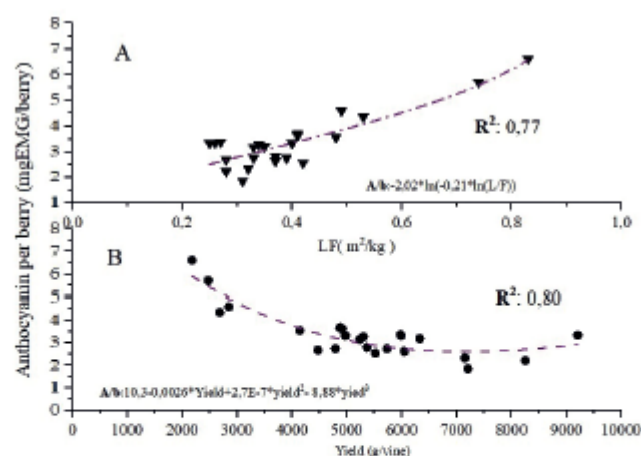


FIGURE 4. Anthocyanin grape potential (mg/berry) as a function of yield per vine and leaf to fruit ratio.

EMG: equivalent malvidin glucoside. Non-linear-regression and linear polynomial model were fitted.

A: anthocyanin potential in berry (A/berry) as a function of leaf to fruit ratio.

B: anthocyanin potential in berry (A/berry) as a function of yield per vine

TABLE 5. Composition of primary metabolites at harvest for the Tannat variety subjected to control (CC) and pre-flowering leaf removal (PFD) over all seasons.

Year	Treatment	Sugar per berry (mg/berry)	Total Soluble Solids (g/L)	Titrateable acidity (g/L)	pH	Tartaric acid (g/L)	Malic acid (g/L)	M/T
2015	CC	331 a	226 b	6.4	3.60	4.89 a	7.70 a	1.57
	PFD	383 b	239 a	6.2	3.64	4.55 b	7.46 b	1.63
2017	CC	353	212 b	6.4	3.32	n/d	n/d	n/d
	PFD	391	232 a	6.2	3.30	n/d	n/d	n/d
Treatment		**	***	ns	ns	**	**	ns
Year		ns	ns	ns	***	-	-	-
T x Y		ns	ns	ns	ns	-	-	-
2018	CC	372	234	7.7	3.27	4.18	8.54	2.04 a
	PFD	381	235	8.1	3.34	4.50	8.45	1.87 b
2019	CC	357 b	217 b	7.7	3.32	3.32 b	7.76 b	2.33 a
	PFD	416 a	228 a	7.6	3.41	4.01 a	8.44 a	2.10 b
Treatment		**	ns	ns	**	***	ns	**
Year		ns	**	ns	**	***	**	**
T x Y		ns	ns	ns	ns	ns	**	ns

Titrateable acidity = g of tartaric acid per litre, M/T = malic to tartaric acid ratio. Different letters for a given year indicate significant differences between treatments *post hoc* test by Fisher; no letters indicate absence of significance (p -value ≥ 0.05). Factorial analysis: treatment, season, T x Y : treatment per year at p -values ≤ 0.10 (*), 0.05 (**), 0.01 (***), ns: no significance. Different factorial ANOVA correspond to different vineyard sites.

TABLE 6. Composition of secondary metabolites at harvest for the Tannat variety subjected to control (CC) and pre-flowering leaf removal (PFD) over all seasons.

Year	Treatment	Anthocyanin Potential (mg EMG/L ⁻¹)	Anthocyanin Potential extractable (mg EMG/L)	Polyphenol Total Index (A280)	Extractability (%)
2016	CC	1339 b	661 b	44 b	50
	PFD	1638 a	830 a	54 a	52
2017	CC	1877 b	862 b	49 b	54 a
	PFD	1989 a	974 a	60 a	50 b
Treatment		***	***	**	ns
Year		***	***	**	ns
T x Y		ns	ns	ns	*
2018	CC	2059 a	948 a	62	53 b
	PFD	1792 b	681 b	62	59 a
2019	CC	1979 b	909 b	-	52
	PFD	3051 a	1361 a	-	55
Treatment		ns	ns	-	*
Year		***	**	-	**
T x Y		***	***	-	ns

EA (%) = extractability of anthocyanin, n/d = non data. Different letters for a given year indicate significant differences between treatments *post hoc* test by Fisher; no letters indicate absence of significance (p -value ≥ 0.05). Factorial analysis: treatment, year, T x Y: treatment per year at p -values ≤ 0.10 (*), 0.05 (**), 0.01 (***), ns: no significance. Different factorial ANOVA correspond to different vineyard sites.

The relationships between evaluated physiological indices and other variables linked to primary metabolism like SST, pH and total acidity were not significant in our study (data not presented).

4. Grape composition at harvest

PFD always increased sugar content on a per berry basis (Table 5). The concentration of TSS in musts was improved by PFD in the first pair of years and in 2019. Titratable acidity was not affected by PFD and season. The tartaric and malic acid content were seasonal dependent. During 2016, CC obtained a higher malic and tartaric acid content, and the opposite response was observed for the 2019 harvest. In terms of anthocyanin concentration, the seasonal effect was clear, with a significant interaction between treatment and season being detected in the second consecutive evaluation (p -value < 0.01). In the first consecutive evaluation, PFD increased the phenolic richness and the anthocyanin potential of grapes. However, a different response was observed in the second consecutive evaluation. In 2018 harvest, the CC treatment obtained the highest value for anthocyanin potential and no difference in phenolic richness was detected. In 2019, PFD vines achieved higher anthocyanin potential (Table 6), and it was the year with the highest concentration of these compounds in the grape. Anthocyanin per berry content show a weak linear correlation with sugars per berry (R^2 : 0.09, p -value: 0.03). The potential of extractable anthocyanin was improved in 2017 and 2019. In 2017, the highest extractability (EA %) was detected in the PFD treatment, while the highest extractability was detected in 2018 in the CC treatment; the results of the factorial analysis did not show a consistent response in terms of this variable.

DISCUSSION

The weather conditions varied highly from year to year, which is common in Uruguay (Tiscornia *et al.*, 2016). The amount of rainfall during the cycle, and its distribution and thermal conditions during the different phenological periods, largely explain the yearly differences in yield, vegetative growth, sanitary status of harvest and grape composition (Ferrer *et al.*, 2020).

The highest levels in cluster rot incidence occurred in 2017, due to weather conditions (high rainfall during the ripening period) being favourable for grey mould development. During 2019, the largest amount of rainfall

occurred between the 31st and 34th stages (Coombe, 1995), when the efficiency of the defence mechanisms of the berries was high, preventing *Botrytis cinerea* infections (Nair and Hill, 1992).

The incidence of bunch rot was notably reduced by PFD, in agreement with previous reports (Tardaguila *et al.*, 2010; Molitor *et al.*, 2011; Sternad Lemut *et al.*, 2015). The increased bunch exposure and decreased compactness in 2017 were negatively related to rot incidence levels, which is also in agreement with previous studies (Poni *et al.*, 2006; Molitor *et al.*, 2011). In general, decreasing bunch compactness caused by PFD was not consistent. According to Tello and Ibáñez (2018), the environmental conditions during the growth cycle are widely known to modulate this characteristic. A trend of increasing berry weight for the PFD treatment was observed, with differences only found in the last season; this could be due to an increase in bunch compactness and, consequently, in cluster rot susceptibility. Conversely, increased bunch exposure generated less favourable microclimatic conditions for the development of bunch rot (Table 2). Relative humidity levels were reduced during certain hours of the day; this was likely due to the higher incidence of solar radiation, resulting in an increase in temperature and in vapour pressure deficit within the bunch zone, thus decreasing the periods of wet tissue after a rain event (Figure 3). In addition, increased exposure improves airflow and the effectiveness of phytosanitary control (English *et al.*, 1989; Molitor *et al.*, 2015; Sternad Lemut *et al.*, 2015).

Rainfall amount and distribution determined vine vegetative growth capacity and recovery of leaf area losses caused by PFD (Figure 2), which occurred in the 2016 and 2019, as previously reported by Poni *et al.* (2006). Despite the conditions in the first season being the driest, the PFD vines were able to recover their leaf area. 74 % of the rainfall occurred during the first stages of vine development, a critical period for leaf area establishment (Champagnol, 1984). Furthermore, the water storage capacity of the soil was high until January, and it probably fulfilled the vine water requirements during the first stages of the growth cycle (Figure 1). In the second season, the absence of regrowth can be mainly explained by the continuity of PFD, the consecutive application inducing the carryover effect of a larger decrease in yield and low vigour, as confirmed by a decrease in DMPC and

PW values (Table 4). In a regime of continuous PFD, it is possible that reserves are mobilised from perennial parts to make up for deficiencies caused by early leaf losses, leading to a significant decrease in yield and vigour across the seasons, as suggested by Candolfi-Vasconcelos *et al.* (1994) and Risco *et al.* (2013). Regarding the new plants in 2018, the absence of vegetative regrowth on PFD vines and lower vegetative expression can be explained by October to February rainfall being below historic values, affecting secondary shoot development. In the fourth season, low yields per plant and high water availability were both recorded from October until February, likely causing a shift in physiological balance towards the observed vegetative expression. In our study, the capacity for Tannat grapevines exposed to severe leaf removal in the early stages of the growth cycle to recover leaf area was conditioned by the interaction of prevailing environmental conditions during critical periods for leaf area establishment (particularly rainfall during the spring months) and vine capacity as expressed by the DMPC.

The drop in yield of PFD plants varied between 11 and 39 % when compared to control vines, which agrees with previous studies by Poni *et al.* (2006), Tardaguila *et al.* (2010), Risco *et al.* (2013) and Verdenal *et al.* (2018). The yield was mainly affected in terms of number of berries per cluster, thus having an impact on bunch weight ($R^2=0.88$, p -value <0.001); this result is in accordance with previous studies (Poni *et al.*, 2006; Palliotti *et al.*, 2011; Gatti *et al.*, 2012). According to the results of the factorial analysis, PFD did not differ in berry weight from CC; this variable only differed statistically in the fourth season, when it was greater than CC. This result is different from studies carried out in a semi-arid climate where a decrease in berry weight was observed (Poni *et al.*, 2006; Risco *et al.*, 2013; Gatti *et al.*, 2012). The result observed in the fourth season could be due to a lower number of berries per bunch that promote cell division in the mesocarp during the herbaceous growth stage of berries, and when there is no water restriction (which was the case); this can result in compensatory growth of the berries during the ripening stage (Ojeda *et al.*, 2002). There was always a greater drop in yield from PFD vines after continuous PFD had been carried out for the second time; this can be explained by the carryover effect of removing leaves in the preceding season, which adds to the effect of PFD in the current season, as suggested by Risco *et al.* (2013). Reduction in leaf area due to PFD affects fruit set, yield and vine capacity expressed as

DMPC. In such a situation, this could imply a re-translocation of carbohydrate reserves to other sink organs like berry during maturity, thus reducing available stocks for the next cycle (Candolfi-Vasconcelos *et al.*, 1994; Gómez del Campo *et al.*, 2002). PFD did not result in decreased bud fertility the following year (Table 3), which is consistent with Poni *et al.* (2006) and Verdenal *et al.* (2018), but contrasts with results of studies by Sabbatini and Howell (2010) and Risco *et al.* (2013). Slight increases in bud fruitfulness were recorded depending on the year, which can probably be explained by the impact of an increase in light intensity and temperature (known to be particularly important in induction and differentiation processes) on the first buds of the shoot (Figure 3), which could have resulted from the leaf removal in this variety at this stage (Buttrose, 1970; Collins *et al.*, 2020). Our results confirm the potential to use PFD as a yield management practice as an alternative to traditional bunch thinning (Poni *et al.*, 2006), the latter being a common practice in the production of quality wines in many viticultural regions, including in Uruguay. Manual cluster thinning is an expensive practice, which does not always have the desired results. In addition, pre-veraison cluster thinning in Tannat has been reported to result in yield compensation due to an increase in bunch weight, which also increases compactness and susceptibility to rot (Ferrer and González-Neves, 2002). PFD did not involve any yield compensation and it also improved the microclimate in the bunch zone, reducing humidity levels within the canopy (Table 2 and Figure 3) and improving the sanitary status of the harvest (Table 3). Regarding the interannual variability of the yield from both treatments, the most affected component was the number of bunches per vine, which is also influenced by the environmental conditions during floral induction in the previous season, mildew incidence in the current season, and level of vigour in vines (Vaillant-Gaveau *et al.*, 2014; Ferrer *et al.*, 2017).

The weather conditions contributed to modulating the physiological balance of the plants across the seasons, which is in agreement with Echeverría (2017). While the Ravaz index was different between years, similar values were obtained in the two first seasons, indicating equilibrium situations (Ferrer *et al.*, 1997). The third and fourth seasons, however, were completely different. In 2018, the balance shifted towards grape production, while in the fourth season

it shifted towards wood production, due to the low yield and high-water availability during the whole growth cycle (Table 4 and Figure 1). The ranges of leaf to fruit ratio values recorded in this study (Table 4) are in agreement with those reported by Echeverría (2017), who studied the same variety in the same conditions. Without any restrictions on vegetative growth, higher leaf to fruit ratio values were obtained for the PDF vines, which is in accordance with previous studies (Poni *et al.*, 2006; Tardaguila *et al.*, 2010). PB (SA/dry matter) was also higher in PFD vines, explained by the lower fruit set and, consequently, the lower yield; when plants regained leaf area after early leaf removal this translated into a higher dry matter production capacity per leaf area unit. This could at least partially explain the improvement of some oenological attributes, such as sugar concentration in must and grape anthocyanin potential. Furthermore, PDF vines are likely to develop a more efficient canopy, due to having less internal leaves (Table 2) and younger leaves from secondary shoots, which contribute to improving microclimatic conditions for photosynthesis (Smart and Robinson, 1991; Poni *et al.*, 2006).

In terms of grape composition, the concentration of sugars in the must was higher for PFD vines in three out of the four years of evaluation. The decrease in yield observed in the present study produced a greater capacity for the remaining berries to accumulate sugars, as was suggested by Kliewer (1970); this is supported by the fact that the number of berries per bunch correlated negatively ($R^2 = -0.53$, p -value < 0.001) with the amount of sugar per berry. Despite the absence of differences in LF ratio in 2017, the early defoliated plants achieved a higher concentration of total soluble solids. This may be due to a lower number of berries per bunch ($< 29\%$ when compared to CC), a greater exposure of bunches to sunlight ($> 104\%$ when compared to CC), and differences in the canopy structure (Table 2), improving microclimatic conditions for photosynthesis and ripening (Figure 3). PFD did not induce any consistent changes in titratable acidity or pH, in accordance with Poni *et al.* (2006), Tardaguila *et al.* (2010), Gatti *et al.* (2012) and Mirás-Avalos *et al.* (2019). Lower M/T ratios in PFD must were recorded during the 2018 and 2019 vintages, and can be mostly explained by higher tartaric contents. The higher amount of light intercepted by a PFD canopy could lead to a large amount of CO_2 being used in tartaric biosynthesis (Kliewer and Schults, 1964). The fact that there were fewer

shaded adult leaves on PDF plants meant that a higher amount of tartaric acid was produced and subsequently exported to the berry. This process could mitigate the presumed increase in malic acid catabolism caused by the high sun exposition of bunches, keeping acidity levels stable, as suggested by Gatti *et al.* (2012). In 2019, the high-water availability during pre-veraison and post-veraison promoted vegetative growth at the expense of sugar concentration. The quantity of sugar per berry was higher in PFD, this variable was related to berry weight ($R^2 = 0.67$, p -value $= 0.001$), in accordance with previous studies (Dai *et al.*, 2011; Gil *et al.*, 2015; Mirás-Avalos *et al.*, 2019). The capacity for accumulating solutes was not restricted like in other studies under semi-arid conditions (Mirás-Avalos *et al.*, 2019). The increase in sugar concentration observed in PFD must during the “unfavourable” seasons (2017 and 2019) could result in winegrowers receiving a higher price for the grape.

Values for anthocyanin potential, extractable anthocyanin, phenolic richness and extractability in Tannat grapes were in agreement with those reported by González-Neves *et al.* (2004). Seasonal environmental conditions had an effect on how PFD influenced grape anthocyanin potential (Table 6). Anthocyanin concentration was not improved by PFD when both rainfall was lacking during the critical period for regaining leaf area after leaf removal and yield per vine was high (which occurred in 2018). LF explained a high proportion of variability in anthocyanin content per berry (Figure 4). Consequently, vine yield also influenced anthocyanin content per berry. However, it is widely known that other factors during ripening, such as bunch light exposure, water status and temperature conditions, have an influence on the synthesis and degradation of these compounds (Smart and Robinson, 1991). The data collected here support other studies on the influence of yield and leaf to fruit ratio on the accumulation of secondary metabolites in the grape berry (Howell, 2001; Kliewer and Dokoozlian, 2005; Tardaguila *et al.*, 2010; Echeverría, 2017; Mirás-Avalos *et al.*, 2019). Despite the fourth season being unfavourable for the accumulation of sugars in the berry, the concentration of anthocyanins was exceptionally high. A lower linear relation between sugar quantity and anthocyanin quantity in the berries was found ($R^2 = 0.09$, p -value $= 0.03$), which indicates a multifactorial control of anthocyanin biosynthesis in grape.

CONCLUSION

Carrying out PFD on the Tannat variety in a location with a humid climate had different effects depending on the seasonal weather conditions. PFD proved to be a suitable technique for yield control, where declines in yield were accumulative in a continuous application regime. Yield per vine was reduced by 11 to 39 % with respect to CC. In a year with favourable conditions for bunch rot, the technique showed a notable effectiveness for improving the sanitary status of the grapes and contributed to the improvement of some oenological attributes, such as sugar concentration, total polyphenols and anthocyanin content. However, these improvements were relative and appear to depend on the capacity for the recovery of vegetative growth, yield per vine, weather conditions and their partial interaction. PFD could be useful for correcting excess of vigour in grapevines. However, factors limiting vegetative growth, such as water supply during the critical stages of leaf area establishment, could lead to undesirable effects on grape composition and vine life. Despite these possible drawbacks, our study showed PFD to be a promising technique for vigorous grapevine varieties, like Tannat under humid climate conditions.

Acknowledgments: This work was supported by CSIC VUSP project "Study of the cluster rot complex and application of techniques for its control" and CSIC 330 "Study of the plant environmental interaction according to climatic regions to determine the yield, composition and typicity of Tannat grapes". The authors are grateful to professor José Manuel Miras Ávalos for his contribution to improving this article, and to Establecimiento Juanico for allowing us to set up the trials in their commercial vineyards.

REFERENCES

Buttrose, M. S., (1970). Fruitfulness in grape vines; the response of different cultivars to light, temperature and daylength. *Vitis*, 9, 121-125.

Candolfi-Vasconcelos, M. C., Candolfi, M. P. & Koblet, W. (1994). Retranslocation of carbon reserves from the woody storage tissues into the fruit as a response to defoliation stress during the ripening period in *Vitis vinifera* L. *Planta*, 192 (4), 567-573. <https://doi.org/10.1007/BF00203595>

Carbonneau, A. (1995). La surface foliaire exposée – guide pour sa mesure. *Le Progrès Agricole et Viticole*, 9, 204-212.

Carbonneau, A., Moueix, A., Leclode, & N., Renoux, J. (1991). Proposition d'une méthode de prélèvement de raisin à partir de l'analyse de l'hétérogénéité de maturation sur un cep. *Bulletin OIV*, 64, 679-690.

Carbonneau, A. & Cargnello, G. (2003). *Architectures de la vigne et systèmes de conduite*. Ed. Lavigne Dumond, Paris. 187p.

Caspari, H. W. & Lang, A. (1996). *Carbohydrate supply limits fruit-set in a commercial Sauvignon blanc grapevine*. In: *Proceedings of the 4th International Symposium on Cool Climate Enology and Viticulture*. Eds. T. Henick-Kling, T.E. Wolf and E.M. Harknes (New York: State Agriculture Experiments Station: Geneva, NY) pp. II. 9-13.

Champagnol, F. (1984). *Éléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale*. Montpellier, Dehan. 351 p.

Collins, C., Wang, X., Lesefko, S., De Bei, R., & Fuentes, S. (2020). Effects of canopy management practices on grapevine bud fruitfulness. *OENO One*, 54 (2), 313-325. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.2.3016>

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

Dai, Z. W., Ollat, N., Gomès, E.; Decroocq, S., Tandonnet, J.P., Bodenave, L., Pieri, P., Hilbert, G., Kappel, C., van Leeuwen, C., Vivin, P., & Delrot, S. (2011). Ecophysiological, genetic, and molecular causes of variation in grape berry weight and composition: a review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 62, 413-425. <https://doi.org/10.5344/ajev.2011.10116>

Echeverría, G. (2017). *Adaptación agroecológica de la vid en los territorios costeros de Uruguay. Tesis Doctorado en Ciencias Agrarias*. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República, Facultad de Agronomía. 220 p.

English, J. T., Marois, J. J., & Gable, W. D. (1989). Microclimate of grapevine canopies associated with leaf removal and control of Botrytis bunch rot. *Phytopathology*, 79, 395-401. <https://doi.org/10.1094/phyto-79-395>

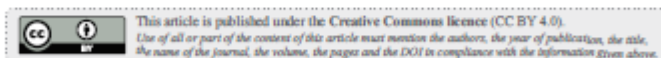
Ferrer, M., Camussi, G., González-Neves, G., Echeverría, G., & Montaña, A. (2009). Condiciones predisponentes para las podredumbres de racimo. Clima, variedad y técnicas de cultivo. *Enología*, 6(4): 46

Ferrer, M., Echeverría, G. & Miras-Avalos, J. M., (2017). Meteorological conditions: Influence on yield, sanitary status and grape composition. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, 3 (8), 16-27. <https://doi.org/10.25125/ajournal-IJOEAR-AUG-2017-3>

Ferrer, M. & González-Neves, G. (2002). Resultados enológicos y productivos de la aplicación de diversas alternativas de raleo de racimos y distintas intensidades de poda invernal en *Vitis vinifera* L. cv. Tannat. *Agrociencia*, 6 (1), 53-62.

- Ferrer, M., Pedocchi, R., Michelazzo, M., González-Neves, G., & Carbonneau, A. (2007). Delimitación y descripción de regiones vitícolas del Uruguay en base al método de clasificación climática multicriterio utilizando índices bioclimáticos adaptados a las condiciones del cultivo. *Agrociencia*, 11(1), 47-56.
- Ferrer, M., González-Neves, G., Bargueño, J., Gabard, Z., & Camussi, G. (1997). *Influencia de la intensidad de la poda y el raleo de racimos sobre la relación fuente fosa en Vitis vinifera L. cv. Tannat*. In: Congres Mundial de la Vigne et du Vin (22ème, 1997, Buenos Aires, Argentina). In: actas. Buenos Aires, Argentina, Corradi, s.p.
- Ferrer, M., Pereyra, G., Salvarrey, J., Arrillaga, L., & Fourment, M. (2020). "Tannat" (*Vitis vinifera* L.) as a model of response to climate variability. *Vitis*, 59 (1), 41-46. <https://doi.org/10.5073/vitis.2020.59.41-46>
- Gatti, M., Bernizzoni, F., Civardi, S., & Poni, S. (2012). Effects of cluster thinning and pre-flowering leaf removal on growth and grape composition in cv. Sangiovese. *American Journal of Enology and Viticulture*, 63, (3), 335-332. <https://doi.org/10.5344/ajev.2012.11118>
- Gil, M., Pascual, O., Gómez-Alonso, S., García-Romero, E., Hermosín-Gutiérrez, I., Zamora, F., & Canals, J.M. (2015). Influence of berry size on red wine colour and composition. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 21, 200-212. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12123>
- Giménez, A., Castaño, J. P., Baethgen, W., & Lanfranco, B. (2009). *Cambio climático en Uruguay, posibles impactos y medidas de adaptación en el sector agropecuario*. No. 929-2016, 74, 57 p.
- Glories, Y., & Augustin, M. (1993). *Maturation phenology of the grape, consequences technological: application aux millésimes 1991 et 1992*. Compte Rendu Colloque Journée Techn. CIVB, Bordeaux, pp. 56-61.
- González-Neves, G., Charamelo, D., Balado, J., Barreiro, L., Boichicchio, R., & Gatto, G. (2004). Phenolic potential of Tannat, Cabernet-Sauvignon and Merlot grapes and their correspondence with wine composition. *Analytica Chimica Acta*, 51 (1), 191-196. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2003.11.042>
- Gómez del Campo, M., Constatino, R., & Lissarrague, J. R. (2002). Effects of water stress on leaf area development, photosynthesis, and productivity in Chardonnay and Airén grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture* 53(2):138-143
- Howell, G.S. (2001). Sustainable grape productivity and the growth-yield relationship: a review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 52 (3), 165-174.
- Hunter, J. J., Ruffner, H. P., Volschenk, C. G., & Le Roux, D. J. (1995). Partial defoliation of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon/99 Richter: effect on root growth, canopy efficiency, grape composition, and wine quality. *American Journal of Enology and Viticulture*, 46 (3), 306-314.
- Ipach, R., Huber, B., Hofmann, H., & Baus, O. (2005). *Richtlinie zur Prüfung von Wachstumsregulatoren zur Auflockerung der Traubenstruktur und zur Vermeidung von Fäulnis an Trauben*. Outline for an EPPO guideline.
- INAVI (2019). *Estadística de viñedos: datos nacionales*. 2019. 65 p.
- Kliewer, W. M., & Dokoozlian, N. K. (2005). Leaf area/crop weight ratios of grapevines: influence on fruit composition and wine quality. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56 (2), 170-181.
- Kliewer, W. M. & Schultz, H. B. (1964). Influence of environment on metabolism of organic acids and carbohydrates in *Vitis vinifera*. II. Light. *American Journal of Enology and Viticulture*, 15, 119-129. <https://doi.org/10.1104/jpp.39.6.869>
- Kliewer, W. M. (1970). Effect of time and severity of defoliation on growth and composition of Thompson Seedless grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 21 (1), 37-47.
- Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas-Carbo, M., & Gulías, J. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones geográficas*, (43), 63-84. <https://doi.org/10.14198/INGEO2007.43.04>
- Mirás-Avalos, J. M., Buesa, I., Yeves, A., Pérez, D., Risco, D., Castel, J. R. & Intrigliolo, D. S. (2019). Unravelling the effects of berry size on 'Tempranillo' grapes under different field practices. *Ciencia y Técnica Vitivinícola*, 34 (1), 1-14. <https://doi.org/10.1051/civ/20193401001>
- Molitor, D., Behr, M., Fischer, S., Hoffman, L. & Evers, D. (2011). Timing of cluster zone leaf removal and its impact on canopy morphology, cluster structure and bunch rot susceptibility of grapes. *OENO One*, 45 (3), 149-159. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2011.45.3.1495>
- Molitor, D., Rothmeir, M., Behr, M., Fischer, S., Hoffman, L. & Evers, D. (2015). Crop cultural and chemical methods to control grey mould on grapes. *Vitis*, 50, (2), 81-87.
- Nair, N.G. & Hill, G.K. (1992). *Bunch rot of grapes caused by Botrytis cinerea. In Plant disease of international importance*. Eds. J. Kumar, Chaube, H.S., U.S. Singh, and A.N. Mukhopadhyay. Prentice Hall, New Jersey. 147-169.
- Ojeda, H., Andary, C., Kraeva, E., Carbonneau, A. & Deloire, A. (2002). Influence of pre- and post-veraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53, (4), 261-267.
- OIV (2009). *Racueil des méthodes internationales d'analyse des vins et des moûts*. Paris. Organisation Internationale de la Vigne et du Vin

- Pallott, A., Gatti, M., & Poni, S. (2011). Early leaf removal to improve vineyard efficiency: gas exchange, source-to-sink balance, and reserve storage responses. *American Journal of Enology and Viticulture*, 62 (2), 219-228. <https://doi.org/10.5344/ajev.2011.10094>.
- Percival, D. C., Sullivan, J. A. & Fisher K. H. (1994). Effect of cluster exposure, berry contact and cultivar on cuticular membrane formation and occurrence of bunch rot (*Botrytis cinerea* PERS.: FR.) with 3 *Vitis vinifera* L. cultivars. *Vitis*, 32, 87-97.
- Poni, S., Bernizzoni, F., & Civardi, S. (2008). The effect of early leaf removal on whole- canopy gas exchange and vine performance of *Vitis vinifera* L. Sangiovese. *Vitis*, 47(1), 1-6.
- Poni, S., Casalini, L., Bernizzoni, F., Civardi, S. & Intieri, C. (2006). Effects of early defoliation on shoot photosynthesis, yield components, and grape composition. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(4), 397-407.
- Ravaz, L. (1909). Sur l'apoplexie de la vigne. *Progrès agricole et viticole*, 30, (45), 547-579.
- Risco, D., Pérez, D., Yeves, A., Castel, J. R. & Intrigliolo, D. S. (2013). Early defoliation in a temperate warm and semi-arid Tempranillo vineyard: vine performance and grape composition. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 20 (1), 111-122. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12049>
- Sabbatini, P. & Howell, G. S. (2010). Effects of early defoliation on yield, fruit composition, and harvest season cluster rot complex of grapevines. *Horticultural Science*, 45 (12), 1804-1808. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.12.1804>
- Sternad Lemut, M., Sivlotti, P., Butinar, L., Laganis, J. & Vihovsek, U. (2015). Pre-flowering leaf removal alters grape microbial population and offers good potential for a more sustainable and cost-effective management of a Pinot noir vineyard. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 21, 3, 439-450. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12148>
- Smart, R., Robinson, J. B., Due, G. R. & Brien, C. J. (1985). Canopy microclimate modification for the cultivar Shiraz. I. Definition of canopy microclimate. *Vitis*, 24, 17-31.
- Smart, R. & Robinson, M. (1991). *Sunlight into wine: a handbook for winegrape canopy management*. Adelaide, Winetitles. 88 p.
- Silva, A., Docampo, R., Camejo, C. & Barboza, C. (2018). *Inventario de suelos bajo viña y principales características edafológicas de los viñedos uruguayos*. INIA (Instituto Nacional de Investigación agropecuaria). ISBNN. 478-9974-38-411-8. 166 p.
- Tardaguila, J., Martínez de Toda, F., Poni, S. & Diago, M.P. (2010). Impact of early leaf removal on yield and fruit and wine composition of *Vitis vinifera* L. Graciano and Cariñen. *American Journal of Enology and Viticulture*, 61, 372-381.
- Tello, J., & Ibáñez, J. (2018). What do we know about grapevine bunch compactness? A state-of-the-art review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 24 (1), 6-23. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12310>
- Tiscornia, G., Cal, A. & Giménez, A. (2016). *Análisis y caracterización de la variabilidad climática en algunas regiones de Uruguay*. Gerencia de Comunicación e Imagen Institucional, DNA SICC, INTA. 41 (1), 66-71.
- Verdenal, T., Zufferey, V., Dienes-Nagy, A., Gindro, K., Belcher, S., Lorenzini, F., & Viret, O. (2017). Pre-flowering defoliation affects berry structure and enhances wine sensory parameters. *OENO One*, 51(3), 263-275. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2017.51.2.1808>
- Verdenal, T., Zufferey, V., Dienes-Nagy, A., Belcher, S., Lorenzini, F., Rösti, J. & Spring, J. L. (2018). Intensity and timing of defoliation on white cultivar Chasselas under the temperate climate of Switzerland. *OENO One*, 52 (2), 93-104. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2018.52.2.2158>
- Vila, H., Paladino, S., Nazaraia, J. & Lucero, C. (2010). *Manual de calidad de uva. Guía práctica para conocer y evaluar la calidad de la uva para vino*. Ediciones INTA, Mendoza, Argentina. 99 p.
- Vaillant-Gaveau, N., Wojnarowicz, G., Petit, A. N., Jacquens, L., Panigai, L., Clement, C. & Fontaine, F. (2014). Relationships between carbohydrates and reproductive development in Chardonnay grapevine: impact of defoliation and fruit removal treatments during four successive growing seasons. *OENO one*, 48 (4), 219-229. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2014.48.4.1694>
- Zoecklein, B. W., Wolf, T. K., Duncan, N. W., Judge, J. M. & Cook, M. K., (1992). Effects of fruit zone leaf removal on yield, fruit composition, and fruit rot incidence of Chardonnay and White Riesling (*Vitis vinifera* L.) grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 43, 139-148.



7.2. PRECIPITACIONES ACUMUALDAS EN AMBOS SITIOS DE ESTUDIOS DURANTE EL PERÍODO 1976-2016.

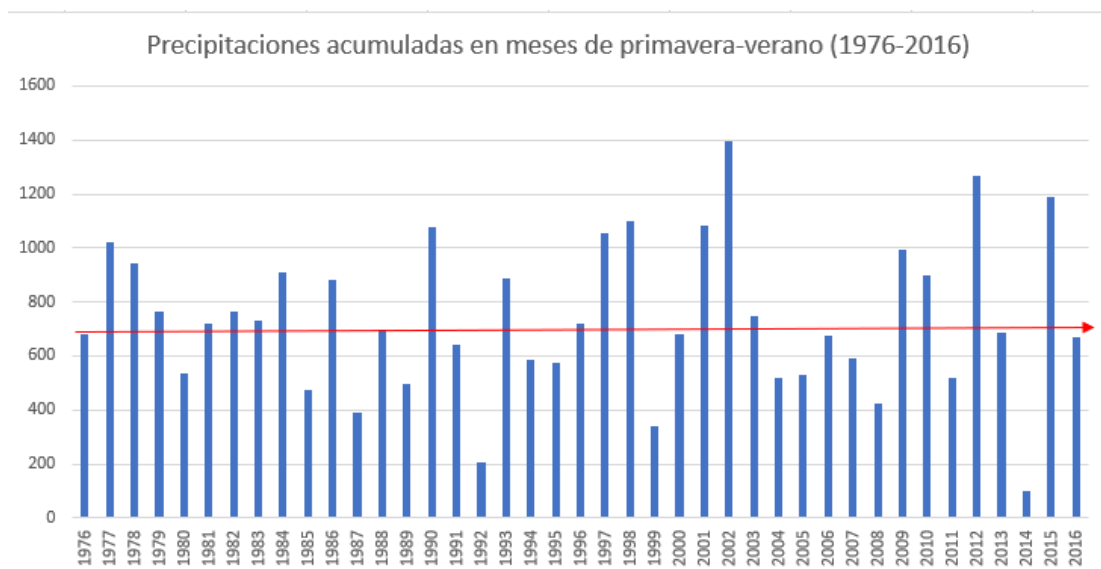


Figura 68. Precipitaciones acumuladas en el período primavera-verano. Salto grande. Línea roja indica media histórica (1976-2016). Fuente: elaboración propia en base a datos del INIA Grass.

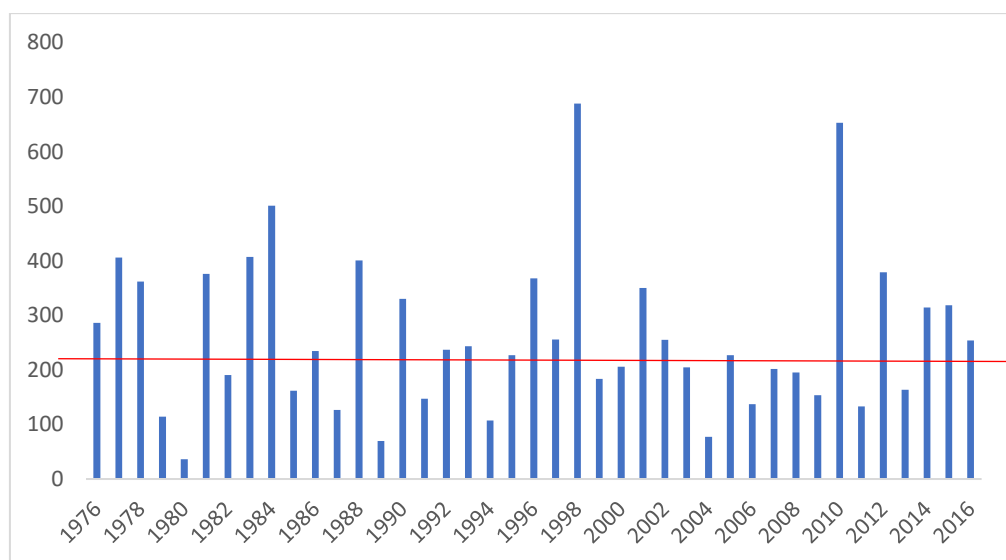


Figura 69. Precipitaciones acumuladas en los meses de enero y febrero. Línea roja representa media histórica (1976-2016). Salto grande. Fuente: Elaboración propia en base a INIA Grass.

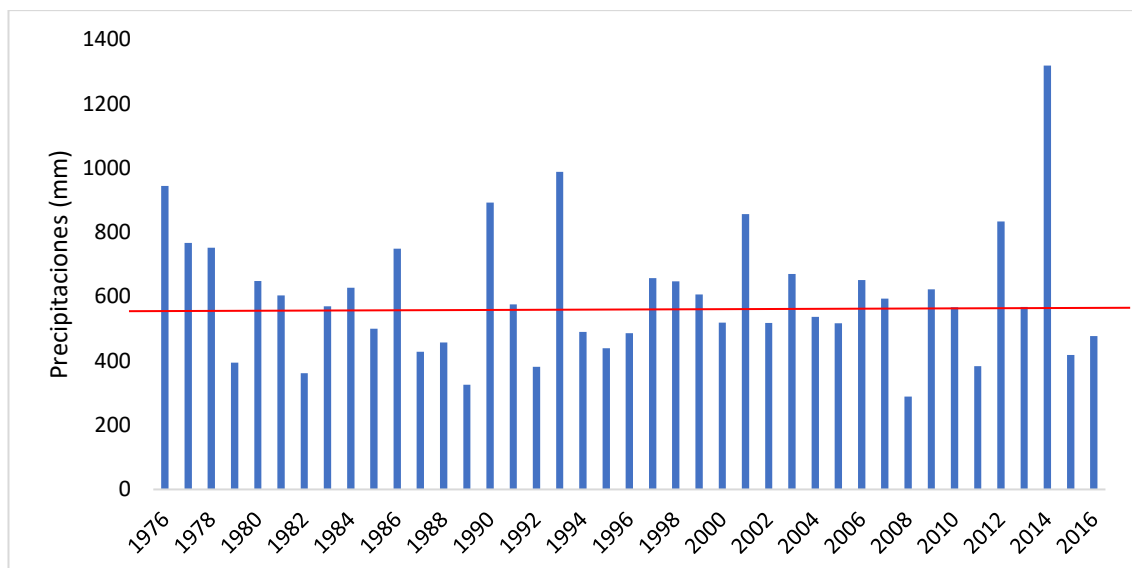


Figura 70. Precipitaciones acumuladas en el período primavera-verano. Línea roja indica media historia (1976-2016).

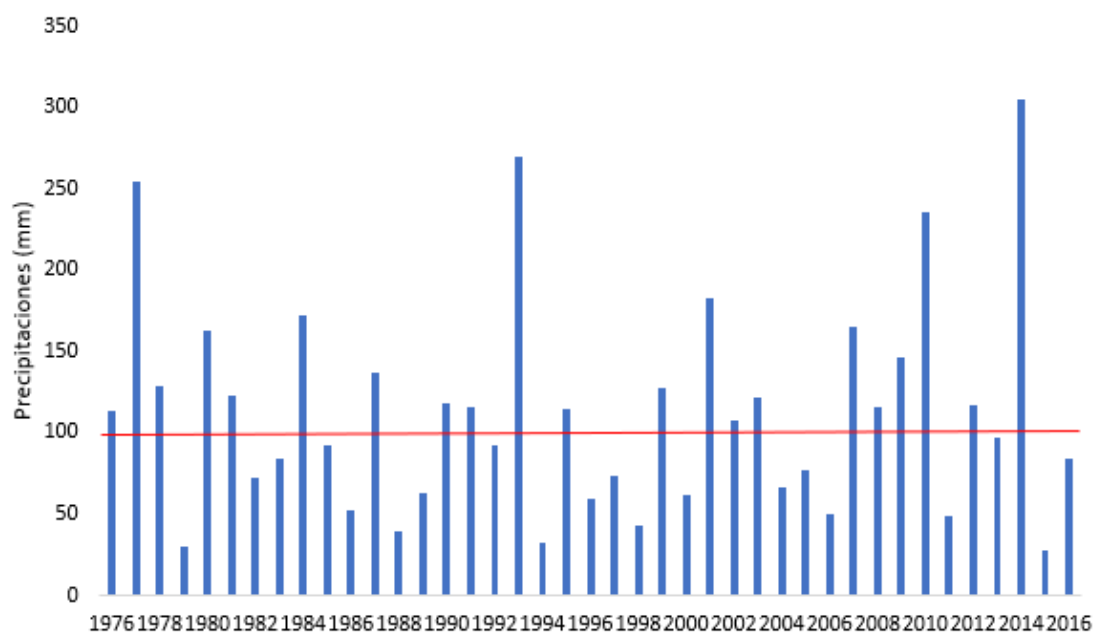


Figura 71. Precipitaciones durante el mes de febrero. Canelones. Línea roja representa media histórica del periodo (1976-2016). Fuente: Elaboración propia en base a datos de INIA Grass.

7.3. TABLAS FACTORIALES PERTENECIENTES A LA SECCIÓN 3.6

Cuadro 22. Contribución relativa de cada factor y sus interacciones sobre la varianza explicada por el modelo factorial sobre el crecimiento vegetativo y a estructura de la canopia.

	SFEp (m²)	No. de capas De hojas	RE (%)
R²	0,86	0,90	0,82
p-valor del modelo	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Porcentaje de la varianza del modelo explicado por cada factor			
Tratamiento	14,2**	58,6***	77,3***
Bloque	0,17ns	0,07ns	0,46ns
Año	30,1***	0,92ns	1,1ns
Sitio	45,8***	0,07ns	1,79ns
Año x Sitio	3,7**	10,8***	4,4**
Año x tratamiento	0,85ns	15,9***	6,9*
Sitio x tratamiento	2,29ns	11,3***	6,2*
Año x sitio x tratamiento	1,13ns	2,0ns	1,72ns

(*) indica nivel de significancia del factor p-valor: $\leq 0,1$; (**) p-valor: $\leq 0,05$; (***) p-valor: $\leq 0,01$. ns:no significativo. Números en negrita indican factores de mayor contribución relativa.

Cuadro 22. Rendimiento y sus componentes. Contribución relativa de cada factor y sus interacciones sobre la varianza explicada por el modelo.

	Rendimiento o por planta (kg)	No. de racimos Por planta	Peso del racimo (g)	No. bayas por Racimo	Peso de la baya (g)
R²	0,92	0,90	0,89	0,58	0,85
P-valor del modelo	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,04	< 0,0001
Porcentaje de la varianza del modelo explicado por cada factor (%)					
Tratamiento	18,2**	47,6***	18**	32,8***	1,49ns
Bloque	0,17ns	2,09ns	0,46ns	3,59ns	1,49ns
Año	1,12ns	0,02ns	11**	16,4ns	26,1***
Sitio	17**	0,25ns	44**	17,1**	53,2***
Año x Sitio	56,04***	41,02***	20**	39,1***	7,43ns
Año x tratamiento	1,57*	0,64	2,48	0,44ns	3,73ns
Sitio x tratamiento	2,39ns	1,94	0,92	1,85ns	6,71**
Año x sitio x tratamiento	2,42ns	6,35	0,92	3,37ns	0,74ns

(*) indica nivel de significancia del factor p-valor: $\leq 0,1$; (**) p-valor: $\leq 0,05$; (***) p-valor: $\leq 0,01$. ns:no significativo. Números en negrita indican factores de mayor contribución relativa.

Cuadro 23. Peso de poda e indicadores fisiológicos. Contribución relativa de cada factor y sus interacciones sobre el peso de poda y los indicadores fisiológicos.

	Peso de poda/ planta (Kg)	Peso del sarmient o(g)	IR	SFEp/kg uva (m ² /kg)
R²	0,79	0,74	0,88	0,77
P-valor	< 0,0001	0,0007	< 0,0001	0,0002
Porcentaje de la varianza del modelo explicado por cada factor				
Tratamiento	8,8**	7,77ns	9,67**	4,3ns
Bloque	18,5**	7,90ns	3,01ns	3,39ns
Año	68,11***	73,5***	6,86ns	3,70ns
Sitio	0,003ns	3,80ns	24,0***	4,6ns
Año x Sitio	0,048**	2,63ns	45,1**	61,7***
Año x tratamiento	2,42ns	2,82ns	0,55*	7,71*
Sitio x tratamiento	0,71ns	0,49ns	3,3*	7,09*
Año x sitio x tratamiento	0,89ns	2,0ns	7,49ns	7,40ns

(*) indica nivel de significancia del factor p-valor: ≤ 0,1; (**) p-valor: ≤ 0,05; (***) p-valor: ≤ 0,01. ns:no significativo. Números en negrita indican factores de mayor contribución relativa.

Cuadro 24. Metabolitos primarios. Contribución relativa de cada factor y sus interacciones sobre la varianza explicada por el modelo.

	° Brix (%)	Acidez total (g H ₂ SO ₄ /l)	pH -Log [H ⁺]	NFA (mg/l)
R²	0,83	0,74	0,80	0,77
p-valor	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0002
Porcentaje de la varianza explicada por cada factor				
Tratamiento	5,17***	0,57ns	0,65ns	1,44ns
Bloque	7,61***	0,34ns	2,5ns	4,0ns
Temporada	65,9***	6,43ns	2,5*	26,9***
Sitio	4,93***	60***	75***	6,0***
Temporada x Sitio	5,38ns	1,37ns	15***	57,8***
Temporada x tratamiento	5,38ns	5,4**	0,09ns	0,88ns
Sitio x tratamiento	0,36ns	10,7***	0,09*	2,72*
temporada x sitio x tratamiento	10,42ns	2,0ns	4,17ns	0,67ns

(*) indica nivel de significancia del factor p-valor: ≤ 0,1; (**) p-valor: ≤ 0,05; (***) p-valor: ≤ 0,01. ns:no significativo. Números en negrita indican factores de mayor contribución relativa.

Cuadro 25. Antocianos y extractabilidad. Contribución relativa de cada factor y sus interacciones sobre la varianza explicada por el modelo factorial.

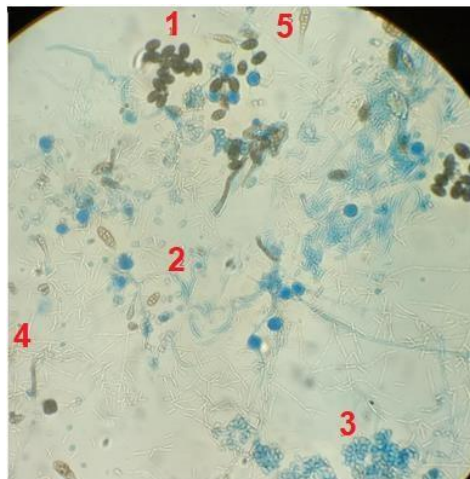
	ApH 1 (mg/l)	ApH 3.2 (mg/l)	EA (%)
R²	0,59	0,78	0,44
P-valor	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Tratamiento	29,7***	6,49**	24,3**
Bloque	5,29***	17,46**	17,46*
Año	16,55***	2,31ns	12,2**
Sitio	9,77***	14,6***	1,71ns
Año x Sitio	10,37***	33,7**	29***
Año x tratamiento	25,3***	15,76**	5ns
Sitio x tratamiento	0,36ns	1,92ns	0,09*
Año x sitio x tratamiento	10,42ns	9,0**	7,8ns

(*) indica nivel de significancia del factor p-valor: $\leq 0,1$; (**) p-valor: $\leq 0,05$; (***) p-valor: $\leq 0,01$. ns:no significativo. Números en negrita indican factores de mayor contribución relativa.

7.4. FOTOGRAFÍAS



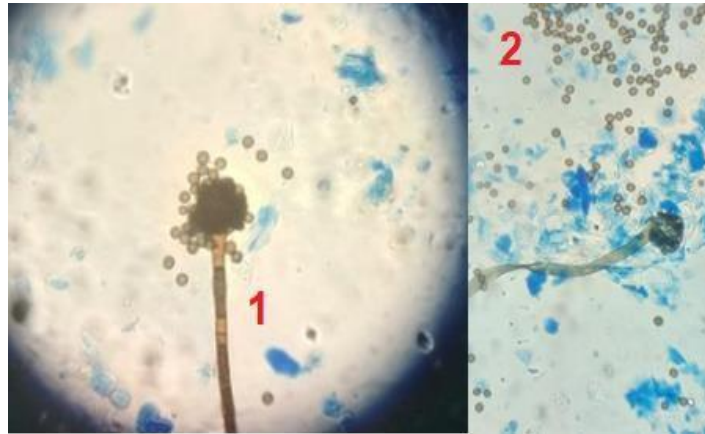
Derecha: tercio superior de la canopia defoliado a. Izquierda: hoja con daño de granizo.
Salto 2017-2018



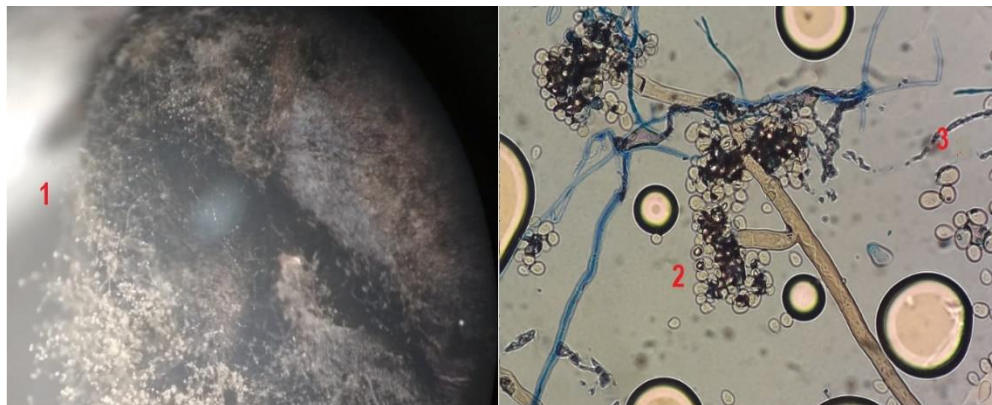
Preparado de restos de uva. Salto 1) Conidios ovales con septotransversales pertenecientes a *Phytomices* sp. Color oscuro. 2) Macroconidios de *Fusarium* sp. 3) Conidios de *Gonatobotryx* sp. 4) Conidios de *Phomopsis* sp. 5) Conidios de *Alternaria* spp. Aumento 100x.



Preparado de restos de madera del año. Salto. 1) Conidios de *Alternaria* spp. 2) Conidios de *Phomopsis* sp. Aumento 40x.



. Restos de uva de Salto. 1) Conidióforo y 2) conidios de *Aspergillus* sp. secc Nigri. Aumento 40x.



Botrytis cinerea en restos de uva. 1) Signo del hongo 2) Conidióforos 3) Conidios. Aumento 100 x.



Podredumbre ácida. Izquierda: bayas afectadas con podredumbre ácida. Derecha: Racimo afectado. Salto 2019.



. Racimos afectados con podredumbre. Izquierda: racimo con signo de *Botrytis cinerea*. Derecha: Racimos afectados con podredumbre gris y podredumbre ácida. Canelones 2019



Cajas de Petri contaminadas. De izquierda a derecha pupas de *Drosophila* sp. e insecto adulto. Placas de Petri con uvas en madurez tecnológica.